



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

THAMIRIS LESSA DA SILVA

**USO E EFICIÊNCIA DE DESSALINIZADORES PARA O ABASTECIMENTO
DE ÁGUA DE POPULAÇÃO DIFUSA DO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Recife, PE

2022



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

THAMIRIS LESSA DA SILVA

**USO E EFICIÊNCIA DE DESSALINIZADORES PARA O ABASTECIMENTO DE
ÁGUA DE POPULAÇÃO DIFUSA DO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof. Dr^a. Simone Rosa da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Willames de Albuquerque
Soares

Recife, PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

S586u Silva, Thamiris Lessa da
Uso e eficiência de dessalinizadores para o abastecimento de água de população difusa do Semiárido de Pernambuco. / Thamiris Lessa da da Silva. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2022.

171 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Simone Rosa da Silva
Co-Orientador: Prof. Dr. Willames de Albuquerque Soares

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

1. Água Salobra. 2. Semiárido Pernambucano. 3. Sistemas de Dessalinização. I. Engenharia Civil - Dissertação. II. Silva, Simone Rosa da (orient.). III. Soares, Willames de Albuquerque (co-orient.). IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

CDD: 690.028

THAMIRIS LESSA DA SILVA

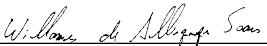
**USO E EFICIÊNCIA DE DESSALINIZADORES PARA O
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE POPULAÇÃO DIFUSA DO
SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

BANCA EXAMINADORA:

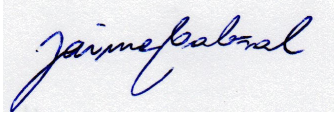
Orientadora

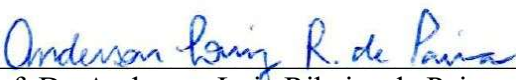
Profa. Dra. Simone Rosa da Silva
Universidade de Pernambuco

Coorientador


Prof. Dr. Willames de Albuquerque Soares
Universidade de Pernambuco

Examinadores


Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Universidade de Pernambuco


Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva
Universidade Federal de Pernambuco

Agradecimentos

Ao Deus gracioso que permitiu a realização desse estudo, bem como de todas as vitórias diárias da minha vida. A ele os meus dias e a minha vida, porque dele, por meio dele e para ele são todas as coisas.

A professora Simone Rosa, por toda parceria, cumplicidade, paciência e dedicação desde a graduação. Ela inspira meus caminhos e a minha vida com todo seu conhecimento e sabedoria.

Ao professor Willames Soares por toda sua contribuição nesse trabalho e em minha formação como um todo. Sua dedicação e empenho em tudo que lhe é entregue, fazem sempre o diferencial.

A Escola Politécnica de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC) pela oportunidade de fazer parte dessa escola e programa, respectivamente, que tanto contribuem na formação e desenvolvimento de transformação da sociedade.

A PFA/UPE pelo fomento que foi de grande valia no desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus pais, por todo apoio, provisão, dedicação e paciência com que acompanham minha trajetória. Obrigada por me permitirem ser quem sou até aqui.

A Lúcia Rosani, por todo carinho e apoio. Serei eternamente grata pela amizade que também me acompanha desde a graduação.

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, especialmente nas disciplinas que cursamos juntos.

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

Aos amigos e companheiros do grupo de pesquisa Aquapoli, por todo crescimento e conhecimento compartilhado.

A Secretaria Executiva de Recursos Hídricos de Pernambuco e todos os seus colaboradores. Em especial ao senhor Assis pelas informações compartilhadas e pelas muitas solicitações atendidas; e ao o senhor Luciano por me acompanhar e auxiliar nas visitas de campo.

Aos gestores e funcionários dos municípios de Cumaru e Riacho das Almas pela disponibilidade e colaboração nas visitas de campo.

A minha amiga e consultora acadêmica Kerolayne, pela disposição de suporte e revisão desse texto.

Aos meus familiares e amigos, pelas orações, pelo escape que foram nos momentos de desespero, pelo apoio, força e torcida de sempre.

A tantos outros que foram direta ou indiretamente responsáveis pela realização de mais esse desafio na minha vida.

Muito obrigada!

“Se mata minha sede

Ou se vai me banhar

Se tá lá na geleira ou no fundo do mar

O meu mundo sem ela viraria pó

Amigo não se engane, a água é uma só!”

(A água é uma só – Bando de Seu Pereira)

RESUMO

A busca contínua por fontes de água para o abastecimento das populações que residem em regiões áridas ou semiáridas conduz a soluções das mais variadas e, em alguns casos, a submissão dessas comunidades ao uso de águas com qualidade muito inferior à recomendada para o consumo humano. A instalação de sistemas de dessalinização para melhorar a qualidade da água salobra de poços é uma das medidas empregadas para atender às comunidades localizadas em áreas de escassez hídrica com água de boa qualidade. Tendo em vista a importância dos sistemas de dessalinização em comunidades sem acesso à água de fontes superficiais, esse estudo objetivou avaliar a eficiência da utilização de sistemas de dessalinização na região semiárida do estado de Pernambuco. Foram analisados também os custos de manutenção do ano de 2019 e estimado o custo por litro de água dessalinizada contando com implantação, manutenção e operação de um sistema. Esse trabalho também buscou propor medidas para maximizar a utilização desses sistemas com um plano de operação, manutenção e, também, para a instalação de novos sistemas. A fim de alcançar os objetivos propostos, foi realizado o diagnóstico e caracterização de dessalinizadores instalados em Pernambuco, analisando os benefícios para as comunidades atendidas e o investimento necessário para o funcionamento de um sistema. Essa pesquisa foi desenvolvida através de consulta aos bancos de dados de instituições atuantes na área e de visitas à campo, em municípios pré-selecionados. A análise dos dados mostrou que cerca de 30 mil famílias que vivem em comunidades difusas do semiárido pernambucano possuem o dessalinizador como forma de obter água potável e que o método adotado tem uma eficiência de remoção de sais média superior a 80%, quando utilizados os dados de condutividade elétrica para análise. Os resultados também indicaram que as principais causas de insucesso do sistema estão ligadas a problemas com bombas e energia elétrica que permitem o funcionamento do sistema e, também, à vazão insuficiente encontrada nos poços. No ano de 2019, os custos com manutenção para cada litro de água dessalinizada produzida foi inferior a R\$ 0,01. A estimativa do custo do litro da água dessalinizada, para a produção anual de um sistema com vazão nominal de 1.200 L/h, incluindo a implantação, é de R\$ 0,12, e quando se trata apenas de manutenção e operação esse custo é reduzido para R\$ 0,02/litro. As medidas propostas buscam dinamizar o uso dos dessalinizadores nas comunidades, fazendo com que os mesmos funcionem com a competência esperada, para que o alto investimento que é feito nesse tipo de solução garanta o abastecimento das comunidades a qual beneficiam.

Palavras-chave: Água salobra; semiárido pernambucano; sistemas de dessalinização.

ABSTRACT

The continuous search for water sources to supply populations residing in arid or semi-arid regions leads to the most varied solutions, and in some cases the submission of these communities to the use of water with a quality much lower than that recommended for human consumption. The installation of desalination systems to improve the quality of brackish water from wells is one of the measures used to serve communities located in areas of water scarcity with good quality water. Considering the importance of desalination systems in communities without access to water from surface sources, this study aimed to evaluate the efficiency of the use of desalination systems in the semiarid region of the state of Pernambuco. Maintenance costs for 2019 were also analyzed and the cost per liter of desalinated water was estimated, including the implementation, maintenance and operation of a system. This work also sought to propose measures to maximize the use of these systems with an operation, maintenance and installation plan for new systems. In order to achieve the proposed objectives, a diagnosis and characterization of desalinators installed in Pernambuco was carried out, analyzing the benefits for the communities served and the investment required for the operation of a system. This research was carried out by consulting the databases of institutions operating in the area and field visits in pre-selected municipalities. Data analysis showed that about 30,000 families living in diffuse communities in the semiarid region of Pernambuco have the desalinator as a way to obtain drinking water and that the method adopted has an average salt removal efficiency greater than 80% when using data from electrical conductivity for analysis. The results also indicated that the main causes of system failure are linked to problems with pumps and electrical energy that allow the system to function and also to the insufficient flow found in the wells. In 2019, maintenance costs for each liter of desalinated water produced was less than R\$ 0.01. The estimated cost of a liter of desalinated water for the annual production of a system with a nominal flow of 1,200 L/h, including implementation, is R\$ 0.12 and when it comes only to maintenance and operation, this cost is reduced for R\$0.02/liter. The proposed measures seek to streamline the use of desalinators in communities, making them work with the expected competence, so that the high investment that is made in this type of solution guarantees the supply of the communities to which they benefit.

Keywords: Brackish water; semiarid pernambucano; desalination systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Risco de escassez hídrica mundial.....	22
Figura 2 - Nível de estresse hídrico dos países em 2040.....	23
Figura 3 - Delimitação do semiárido brasileiro.....	26
Figura 5 - Classificação dos poços subterrâneos do semiárido brasileiro, com relação ao teor de sais dissolvidos.	33
Figura 6 - Tendência do crescimento da capacidade instalada mundial de dessalinização.....	35
Figura 7 - Fases do processo de dessalinização.....	36
Figura 8 - Esquema do processo térmico de Destilação Solar.	38
Figura 9 - Esquema da Destilação MSF.	39
Figura 10 - Processo de Destilação Múltiplo Efeito.....	40
Figura 11 - Processo de Destilação VC.	41
Figura 12 - Dessalinização por eletrodialise.....	42
Figura 13 - Princípio do processo de Osmose Reversa.	43
Figura 14 - Esquema do processo de dessalinização por Osmose Reversa.....	44
Figura 15 - Componentes e fluxo de um dessalinizador.	46
Figura 16 - Componentes principais de um dessalinizador.....	47
Figura 17 - Unidades de Planejamento hídrico de Pernambuco.....	58
Figura 18 - Bacias sedimentares do estado de Pernambuco.....	59
Figura 19 - Sistemas de dessalinização de Pernambuco.....	62
Figura 20 - Dessalinizador de estrutura simples.....	63
Figura 21 - Dessalinizador de estrutura cabinada.....	64
Figura 22 - Índice de Condição de Acesso a Água (ICAA) nos municípios do semiárido brasileiro.....	65
Figura 22 - Localização Cumaru e Riacho das Almas em PE.....	72
Figura 24 - Distância entre as sedes de Cumaru e Riacho das Almas.....	72
Figura 25 - Material usado na coleta de água do sistema de dessalinização.	74
Figura 26 - Sistemas de dessalinização do estado de Pernambuco.	0
Figura 26- Situação dos sistemas de dessalinização de Pernambuco em 2019.....	84
Figura 29 - Quadro de energia, sem ligação, no Sítio Cupim - Ouricuri/PE.....	87
Figura 30 - Equipamento em péssimas condições no Sítio Fazenda do saco II – Serra Talhada/PE.	87

Figura 31 - Equipamento e abrigo em más condições no loteamento Monte Alegre – Iguaraci/PE.	88
Figura 32 - Dessalinizador de estrutura simples no Sítio Gavião I - Cumaru/PE.	89
Figura 33 - Dessalinizador de estrutura cabinada no Assentamento Gavião - Cumaru/PE.	90
Figura 34 - Divisão dos sistemas de dessalinização por tipo de estrutura.	91
Figura 35 - Dessalinizador de estrutura semi cabinada na localidade Cacimbão - Pesqueira/PE.	91
Figura 36 - Situação dos sistemas de dessalinização por funcionamento e tipo de estrutura...	92
Figura 37 - Quantidade de localidades por intervalo de casas usuárias.	94
Figura 38 - Destinação da água salina produzida pelos dessalinizadores do Estado.	97
Figura 39 - Tanque de destinação da água salina no Sítio Bento, em Riacho das Almas-PE. .	98
Figura 40 - Tanque de água salina em más condições no Sítio Ramada, em Riacho das Almas-PE.	99
Figura 41 - Detalhe da manta de PVC que faz a cobertura dos tanques de concentrado.	100
Figura 42 - Destinação inadequada da água salina.	101
Figura 43 - Tanque de concentrado do Sítio Rendeiro 2.	111
Figura 44 - Abrigo do dessalinizador do Sítio Gavião 1	113
Figura 45 - Detalhe do muro de alvenaria do abrigo do Sítio Gavião 1 rachado.	113
Figura 46 - Dessalinizador do Assentamento Gavião.	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das águas com relação ao teor de STD. Erro! Indicador não definido.	
Quadro 2 - Dados da história da dessalinização.....	34
Quadro 3 - Instituições que atuam no saneamento rural em Pernambuco.....	60
Quadro 4 - Custos de manutenção e serviços de operação de um dessalinizador, de acordo com o documento base do PAD (2012).....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos de orçamento e manutenção por tipo de dessalinizador no Ceará.....	54
Tabela 2 - Custos de investimento, operacionais e da água dessalinizada por população.	56
Tabela 3 - Quantidade de localidades com mais de uma visita.	83
Tabela 4 - Causas de não funcionamento dos equipamentos parados.	85
Tabela 5 - Quantidade de sistemas em funcionamento \times quantidade de membranas.....	96
Tabela 7 - Localidades que possuem informações sobre o sistema de abastecimento.....	102
Tabela 8 - Fontes de abastecimento de água (potável ou não) alternativas.....	105
Tabela 9 - Quantidade de água tratada distribuída e meio de distribuição.....	106
Tabela 10 - <i>Status</i> de funcionamento dos dessalinizadores em Riacho das Almas.....	108
Tabela 11 - Volume de água disponibilizado para as famílias em Riacho das Almas.....	110
Tabela 12 - <i>Status</i> de funcionamento dos dessalinizadores em Cumaru.....	111
Tabela 13 - CE das amostras de água das localidades.....	115
Tabela 14 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD) das amostras de água coletadas nas localidades.	116
Tabela 15 - Eficiência na remoção de sais pelos dessalinizadores de OR.	118
Tabela 16 - Eficiência mínima para atingir STD de 500 mg/L.	120
Tabela 17 - Custo de manutenção dos dessalinizadores do Estado de PE, em 2019.....	121
Tabela 18 – Custo anual com a manutenção de um dessalinizador tipo OR.....	124
Tabela 19 - Custos de operação de um dessalinizador tipo OR.	126
Tabela 20 - Resumo de custos com um dessalinizador tipo OR.	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
C	Custo
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto Estado do Ceará
CERB	Companhia de Engenharia Hídrica e Saneamento da Bahia
CE	Custo Efetivo
CI	Custo de Implantação
CM	Custo de Manutenção
CO	Custo de Operação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Cavalo Vapor
CV	Compressão de Vapor
DM	Destilação por Membrana
ED	Eletrodíálise
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNASA	Fundo Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAA	Índice de Condições de Acesso a Água no Semiárido
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
KBH	Kay Bailey Hutchingson
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MED	Destilação Múltiplo Efeito
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MSF	Destilação Flash de Múltiplo estágio
MTA	Membrana de Troca Aniônica
MTC	Membrana de Troca Catiônica
OR	Osmose Reversa
PAD	Programa Água Doce
PERH-PE	Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

PNSB	Programa Nacional de Saneamento Básico
PNSR	Programa Nacional de Saneamento Rural
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SD	Destilação Solar
SDA	Secretaria de Desenvolvimento Agrário
SEINFRA-SERH	Secretaria Estadual de Infraestrutura e Recursos Hídricos – Secretaria Executiva de Recursos Hídricos
SISAR	Sistema Integrado de Saneamento Rural
STD	Sólidos Dissolvidos Totais
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TVC	Compressão de Vapor Térmico
UP	Unidades de Planejamento
VC	Compressão de Vapor
VMP	Valor Máximo Permitido
WRI	Word Resources Institute

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Contextualização	16
1.2	Justificativa	17
1.3	Objetivos	19
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	20
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Distribuição hídrica e escassez no contexto mundial	21
2.2	A situação hídrica do Brasil e a região Nordeste	24
2.3	Saneamento básico e o meio rural	27
2.4	Águas subterrâneas e a salinidade	31
2.5	Sistemas de dessalinização	33
<i>2.5.1</i>	<i>Tipos de dessalinização</i>	36
<i>2.5.2</i>	<i>Partes componentes de um sistema de dessalinização por osmose reversa</i>	44
<i>2.5.3</i>	<i>Água salina: subproduto da dessalinização</i>	48
<i>2.5.4</i>	<i>O uso internacional dos sistemas de dessalinização</i>	49
<i>2.5.5</i>	<i>O uso de dessalinizadores no Brasil</i>	53
2.6	Pernambuco: recursos hídricos, saneamento rural e legislação	57
2.7	Programas e incentivo aos sistemas de dessalinização	64
3	MATERIAIS E MÉTODOS	68
3.1	Levantamento e diagnóstico dos dessalinizadores em Pernambuco	68
3.2	Avaliação de comunidades com estudo prévio referentes ao relatório consolidado dos Sistemas de Saneamento Rural (SSR) do Governo do Estado	69
3.3	Identificação de estudo de caso: os municípios de Riacho das Almas e Cumaru	71
3.4	Avaliação dos custos de manutenção, implantação e operação dos sistemas de dessalinização	75
<i>3.4.1</i>	<i>Custos de manutenção 2019</i>	75
<i>3.4.2</i>	<i>Estimativa de custo de dessalinização</i>	76
3.5	Percepção e recomendações para a operação, manutenção e instalação de novos sistemas	79
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.1	Os sistemas de dessalinização do estado	81

<i>4.1.1 Funcionamento</i>	81
<i>4.1.2 Estrutura dos equipamentos</i>	89
<i>4.1.3 População atendida pelos sistemas</i>	92
<i>4.1.4 Membranas semipermeáveis</i>	94
<i>4.1.5 Destinação da água salina</i>	96
4.2 Características das comunidades com estudo prévio, referente a relatório consolidado dos Sistemas de Saneamento Rural do Governo do Estado	102
<i>4.2.1 Comparação do status de funcionamento em 2018 e 2019</i>	102
<i>4.2.2 Situação das ações de abastecimento de água nas comunidades</i>	104
4.3 Os municípios de Riacho das Almas e Cumaru	107
<i>4.3.1 Riacho das Almas</i>	107
<i>4.3.2 Cumaru</i>	111
<i>4.3.3 Análise das amostras de água coletadas dos dessalinizadores</i>	114
4.4 Custos	120
<i>4.4.1 Custos de manutenção dos sistemas em 2019</i>	121
<i>4.4.2 Composição de Custo (C)</i>	123
4.5 Sugestão de melhora na operação, manutenção e instalação de novos equipamentos	127
<i>4.5.1 Operação</i>	127
<i>4.5.2 Manutenção</i>	130
<i>4.5.3 Instalação de novos sistemas</i>	133
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	136
5.1 Conclusões	136
5.2 Recomendações	140
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
ANEXO A –.....	152
ANEXO B –.....	155
ANEXO C –.....	159
APÊNDICE A -.....	161
APÊNDICE B –.....	163

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A água é, certamente, um bem indispensável para a existência das muitas formas de vida na Terra. Compõe parte do volume do corpo humano, está presente no ar atmosférico, na fotossíntese das plantas, além de ser encontrada nos oceanos, mares, rios, lagos e outros tipos de corpos hídricos. Sabe-se que por muito tempo a água foi considerada como um bem infinito, no entanto, apesar do ciclo de recarga através do qual ela está constantemente sendo renovada, cada dia fica mais evidente a necessidade de cuidados, especialmente devido à disponibilidade espaço-territorial, que é bastante variada.

Diariamente são noticiadas situações de racionamento e falta de água em determinadas regiões do Brasil. A escassez hídrica, percebida principalmente nas áreas mais secas e nas mais populosas, é ocasionada não só pela má distribuição geográfica da água ao longo da extensão do território brasileiro, mas também pela má administração e utilização desse recurso que, embora renovável, é cada dia mais precioso.

Com o passar dos anos e o constante desenvolvimento das cidades, observa-se a crescente demanda por água potável e o conseqüente agravamento da qualidade e redução da disponibilidade de água dos mananciais, na medida em que a população e os níveis de urbanização aumentam. Em contrapartida, a limitação dos recursos hídricos impõe restrições econômicas e ambientais para o aumento da oferta de água potável (REED, 2012).

O abastecimento das grandes sedes municipais, geralmente, é o foco das concessionárias que fazem o abastecimento de água potável à população dos municípios do país. As comunidades rurais, por sua vez, continuam com a busca por fontes rústicas para o abastecimento de água para a realização das suas atividades essenciais e, também, para uso no plantio e na criação de animais, ficando muitas vezes desabastecidas em períodos de estiagem, principalmente nas regiões áridas e semiáridas do Brasil.

Segundo o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR, 2018), quando se analisam as áreas rurais do Brasil, é possível observar um baixo nível de acesso à água tratada encanada e esgotamento sanitário, em todas as regiões do país. A organização ainda afirma que, na maioria dos projetos de saneamento rural existentes no país, há algum déficit, seja por problemas operacionais ou pela má utilização dos mesmos.

Para o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a variabilidade climática na região semiárida do Brasil poderá ocasionar cada vez mais eventos climáticos extremos, com períodos de estiagem mais intensos, que alteram diretamente a disponibilidade hídrica local (BRASIL, 2012). O acesso à água potável, das comunidades localizadas principalmente nessa região, deve ser garantido mesmo em meio ao cenário de mudanças climáticas, fazendo com que medidas de uso sustentável desse recurso sejam cada vez mais aplicadas e difundidas nas esferas estadual e federal.

Roland, Heller e Rezende (2020) afirmam que a ascensão do saneamento rural à agenda de planejamento nacional ocorreu em decorrência de uma época de intensas transições vivenciadas no Brasil. Com a alta taxa de problemas como alta incidência de doenças, migrações da população do campo e baixa cobertura de saneamento nas áreas rurais, evidenciou-se a necessidade de maior atuação, projetos e execução de ações de saneamento básico nas áreas rurais.

1.2 Justificativa

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) sugeriu, em 2008, que a água seja tratada como o centro das políticas públicas do país, envolvendo todas as esferas da sociedade no cuidado com esse recurso para que seja alcançado o desenvolvimento de sucesso dessa área (ANA, 2008).

A escassez hídrica do Brasil, especialmente da Região Nordeste, leva os moradores e as autoridades responsáveis pela população dessa região a buscarem medidas que amenizem a falta de água potável encontrada em fontes superficiais de água doce como rios, lagos e lagoas. A dificuldade de recarga dessas fontes de água está relacionada

com os baixos índices de precipitação pluviométrica anual nos estados que compõem a região Nordeste. Assim, a perfuração de poços na busca por águas subterrâneas se torna uma alternativa necessária.

A região semiárida ocupa uma área correspondente a 60% da Região do Nordeste Brasileiro, o equivalente a cerca de 90 milhões de hectares, e tem clima classificado como seco, ou seja, com as temperaturas médias mensais acima de 18°C e com curta estação das chuvas (ARAÚJO FILHO, 2002). Além disso, grande parte da região nordestina (788 mil km², ou 51% da área total do Nordeste) está situada sobre rochas cristalinas e o contato prolongado, no subsolo, entre a água e esse tipo de rocha, leva a um processo de salinização das águas (SOARES *et al.*, 2006).

Segundo relatado em Pernambuco (2012), Pernambuco é o estado brasileiro com menor disponibilidade hídrica per capita – cerca de 1.320 m³/hab/ano, e o semiárido pernambucano é formado por cursos hídricos superficiais temporários e dependentes das chuvas na região. Assim, a análise das formas de abastecimento hídrico é de grande importância para garantia de sustentabilidade hídrica estadual. No abastecimento de localidades difusas do semiárido, o uso de águas subterrâneas salobras e o processo de potabilizar essas águas – a dessalinização – tem se destacado.

O Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) contou com um investimento de R\$33,2 milhões para a instalação de 170 sistemas de dessalinização no semiárido pernambucano, por meio do Programa Água Doce (PAD), a fim de beneficiar mais de 60 mil pessoas que moram em áreas rurais em 21 municípios e convivem com a escassez de água (BRASIL, 2020a). As obras do programa no Estado foram iniciadas em agosto de 2020 e o MDR em novembro de 2020 concluiu o repasse da verba. Atualmente, as obras encontram-se em plena execução com previsão de término para o fim do próximo ano (BRASIL, 2020b).

Até março de 2021 havia 891 sistemas de dessalinização em funcionamento, fornecendo água potável para comunidades rurais nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe; com capacidade instalada para produzir cerca de 3,5 milhões de litros de água potável e beneficiar 214 mil pessoas diretamente (BRASIL, 2021).

Há critérios de seleção pré-definidos que levam a implantação desses sistemas pelo Governo Federal nos municípios de Pernambuco, assim como nos outros estados do semiárido brasileiro. Esses critérios compõem o Índice de Condição de Acesso a Água (ICAA) que é utilizado em todos os municípios da região, levando em consideração critérios estabelecidos por cada estado, também apoiados nesse índice (BRASIL, 2012).

Contudo, as particularidades de cada localidade dentro de um município devem ser observadas, tanto para o sucesso de um sistema de dessalinização, quanto para o abastecimento de comunidades que convivam com uma situação de escassez de água acentuada e que, por ventura, sejam encobertas pelos critérios do PAD. Os sistemas que são instalados e mantidos pelo Governo do Estado podem, então, prestar assistência a essas comunidades e potencializar o sucesso de uso de sistemas de dessalinização em Pernambuco.

De acordo com Pernambuco (2018), os programas de Saneamento Rural, em vários países, têm sido elaborados na filosofia de participação das comunidades beneficiadas na gestão dos sistemas instalados. Entretanto, a alta taxa de não funcionamento observada tem evoluído essa filosofia da gestão comunitária para abordagens com uma ênfase maior no pós-implantação física, e os agentes que antes eram beneficiários do sistema passam a ser clientes como nas regiões urbanas.

Nesse sentido, o presente estudo pretende investigar o atual estado dos dessalinizadores instalados no Estado de Pernambuco, entender a importância desses sistemas para a população difusa do semiárido pernambucano, analisar uso, benefícios e custos com a utilização dos mesmos, além de buscar soluções para a manutenção e durabilidade dos sistemas em operação.

1.3 Objetivos

Nos itens a seguir, são apresentados os objetivos alcançados com a realização desse estudo.

1.3.1 Objetivo geral

O desenvolvimento dessa pesquisa buscou avaliar a eficiência da utilização de sistemas de dessalinização de água salobra para o abastecimento de comunidades localizadas em municípios do semiárido pernambucano, e sugerir medidas de manutenção para os dessalinizadores do estado.

1.3.2 Objetivos específicos

Os seguintes objetivos específicos foram empregados para alcançar o objetivo acima proposto:

- Caracterizar e diagnosticar a presença e do uso de sistemas de dessalinização no estado.
- Avaliar o desempenho de dessalinizadores em municípios pré-selecionados do semiárido pernambucano.
- Analisar o custo/litro de implantação, manutenção e operação dos sistemas.
- Propor novas soluções na escolha de localidades para a instalação de dessalinizadores e plano de manutenção para os sistemas novos e já existentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo é dedicado à descrição teórica sobre a qual o tema em desenvolvimento está fundamentado, bem como conceitos e o estado da arte acerca do uso de dessalinizadores para garantia do abastecimento de água potável em regiões com água subterrânea salobra.

2.1 Distribuição hídrica e escassez no contexto mundial

Cerca de $\frac{3}{4}$ da superfície do planeta Terra é coberta de água. Shiklomanov (1998) afirma que a hidrosfera terrestre possui cerca de 1.386 milhões de quilômetros cúbicos de água e que esse valor se mantém constante nos últimos milhões de anos, apesar de que, em pequenos intervalos de tempo, como as estações do ano, haja variação da quantidade de água na hidrosfera, dependendo das trocas com os corpos hídricos e a atmosfera.

Essas trocas estão diretamente ligadas com os estados físicos em que uma molécula de água – composta por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio – pode ser encontrada, sendo eles: sólido, líquido ou gasoso. Esses estados são frequentemente encontrados na natureza, uma vez que o ciclo hidrológico é o responsável pela constância da quantidade de água presente no planeta.

O ciclo hidrológico é controlado pela energia solar e pela força gravitacional, onde o calor que incide sobre a terra permite a evaporação de parte do volume dos oceanos, das calotas polares, da superfície da terra e dos volumes de água encontrados abaixo dela. O vapor de água produzido é condensado na atmosfera, dando origem às nuvens, que posteriormente são atraídas pela gravidade, dando origem às diversas formas de precipitação. A água que precipita sobre a Terra é responsável pela recarga de rios, lagos, lagoas, além da umidificação do solo para crescimento de vegetação e recarga dos aquíferos subterrâneos (REBOUÇAS, 2001).

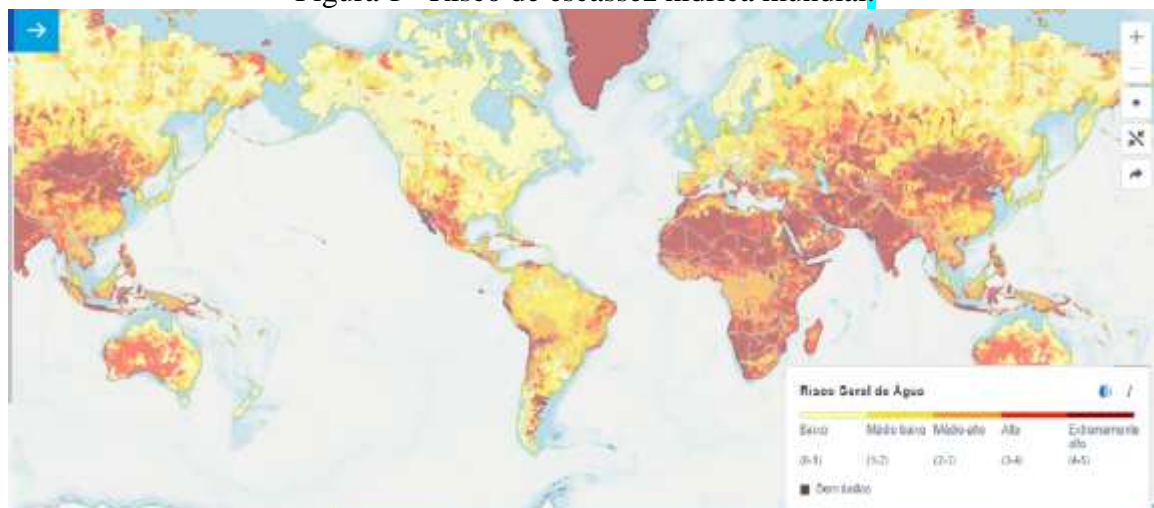
O potencial de recarga dos recursos hídricos mundiais, contudo, não representa garantia na disponibilidade de água com qualidade de consumo para os seres humanos. De acordo com Shiklomanov (1998), cerca de 97,5% da quantidade de água disponível

no planeta é salgada, sendo água doce apenas 2,5%. Do total de água doce, 68,7% constituem as geleiras e calotas polares, 29,9% são de águas subterrâneas, e apenas 0,26% são águas disponíveis em rios, lagos e lagoas, com fácil acesso para atendimento das atividades humanas sociais, econômicas e manutenção de ecossistemas aquáticos (SHIKLOMANOV, 1998).

Rebouças (2003) afirma que o mecanismo natural de transformação das águas dos oceanos em água doce (através da precipitação) confere aos rios do mundo uma média de vazão de cerca de 43 mil km³/ano, descarga que seria mais que suficiente para abastecer toda a população mundial, que tem um consumo da ordem de 6 mil km³/ano.

Para Lima (2001), não existe escassez hídrica a nível global, uma vez que apenas 10% da água disponível para o consumo humano é utilizada, no entanto, a má distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos e a distribuição populacional de alguns locais fazem com que a escassez seja um problema notavelmente percebido em algumas regiões do mundo. A Figura 1 apresenta a atual situação dos recursos hídricos no mundo, ilustrando a distribuição irregular desses recursos.

Figura 1 - Risco de escassez hídrica mundial.



Fonte: WRI - World Resources Institute (2020).

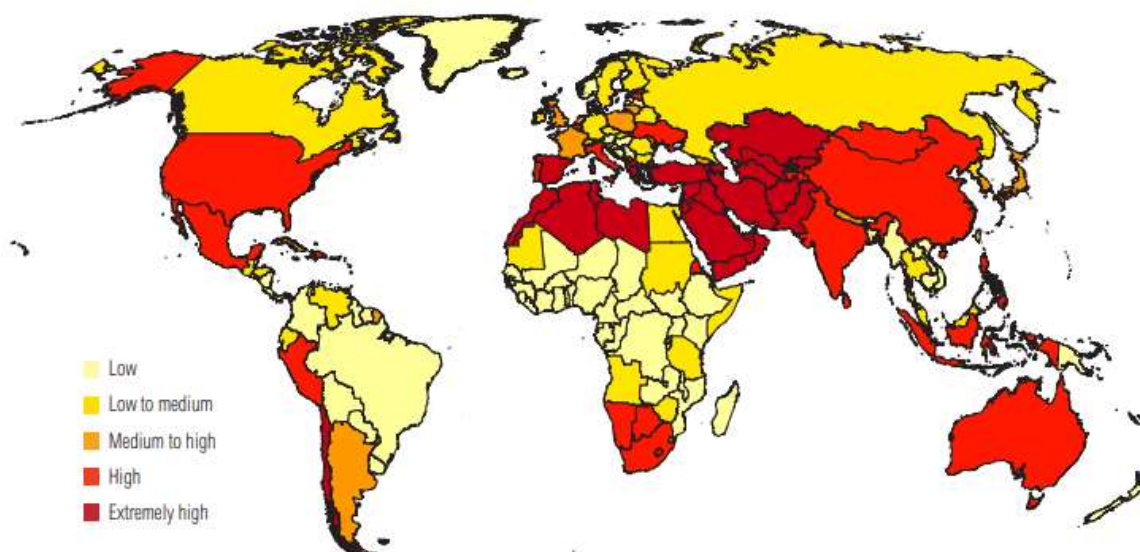
Na Figura 1, quanto mais escura a tonalidade da localidade, maior o seu risco de estresse hídrico. O *score* utilizado na classificação da figura acima é resultado de uma pesquisa publicada pelo WRI sobre a situação do estresse hídrico mundial projetada para os anos 2020, 2030 e 2040, que leva em consideração estimativas de estresse hídrico,

demanda, suprimento e variabilidade sazonal. No estudo, Luo, Young e Reig (2015) definem o estresse hídrico como sendo a razão entre a retirada total de água e as fontes renováveis disponíveis de águas superficiais por sub-bacia hidrográfica.

Os autores supracitados afirmam que essas estimativas são calculadas como sendo valores médios para a nação e que países como Brasil, China e Estados Unidos apresentam variações regionais muito significativas de demanda e suprimento de água. Ainda segundo os autores, essas variações podem estar acima ou abaixo da representação quando relacionados ao nível nacional. Essa classificação também não considera a governança e o investimento nacional no setor de infraestrutura hídrica – a exemplo de Singapura, que é considerado um país de alto risco de estresse, mas é conhecido por um sistema de gerenciamento de água bastante eficiente (LUO; YOUNG; REIG, 2015).

A Figura 2 apresenta o cenário de estresse hídrico mundial para o ano de 2040, que foi realizado para 167 países e mostra que 14 países localizados no Oriente Médio estão entre os 33 com risco extremamente alto de estresse hídrico. O Brasil apresenta risco baixo e está na posição 113; Estados Unidos e China nas posições 47 e 48, respectivamente, possuem risco considerado alto, além da distribuição irregular dos recursos nas diferentes regiões do país (LUO; YOUNG; REIG, 2015).

Figura 2 - Nível de estresse hídrico dos países em 2040.



Fonte: Luo, Young e Reig (2015).

Para resolver o problema de distribuição de água, Sousa (2016) diz que nos países em desenvolvimento, a prioridade atual é expandir as redes de distribuição de água para atender à crescente demanda por água, enquanto os países desenvolvidos estão mais focados na gestão da infraestrutura e na eficiência da água e energia, para fornecer serviços de alta qualidade e sustentáveis.

Contudo, independentemente do nível de desenvolvimento do país, as áreas rurais, em sua grande maioria, não podem ter seus problemas de desabastecimento resolvidos apenas por meio de estratégias de infraestrutura e/ou tecnologia, visto que muitas dessas áreas encontram-se situadas em regiões de recursos hídricos escassos.

Cirilo (2015) afirma que existem dois tipos de escassez de água, a primeira é chamada escassez econômica e ocorre devido à falta de investimento, caracterizando-se pela falha na infraestrutura e distribuição desigual de água. A outra, chamada escassez física, ocorre quando os recursos hídricos não conseguem atender à demanda da população; essa segunda é a que está mais associada a regiões áridas. A área rural das zonas áridas, por sua vez, acaba sendo afligida pelos dois tipos de escassez.

2.2 A situação hídrica do Brasil e a região Nordeste

O Brasil possui 8.547.403,5 km² de território, ocupando 47,7% da área da América do Sul, sendo cortado pela Linha do Equador e pelo Trópico de Capricórnio – o que faz dele um país tropical (REBOUÇAS, 2003). No que tange os recursos hídricos, esse país dispõe de cerca de 12% da água doce superficial disponível no Planeta e 28% da disponibilidade nas Américas, possuindo, também, a maior reserva de água doce subterrânea – o Aquífero Guarani – com 1,2 milhão de quilômetros quadrados (SILVA, 2012).

Hirata *et al.* (2015) avaliam as cinco zonas de gerenciamento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) de acordo com o seu nível de confinamento e consequente renovação e recarga do aquífero. O nível de confinamento das águas desse aquífero faz com que a qualidade da água do aquífero apresente diferença ao longo de sua extensão, apresentando desde água boa para o consumo (em locais de afloramento), até águas

extremamente salinas no território brasileiro e internacional (ROSA FILHO *et al.*, 2006; ZANATTA; ANDRADE; COITINHO, 2008; HIRATA *et al.*, 2015; FREITAS, 2016).

A distribuição desses recursos no território brasileiro é bastante irregular, conferindo ao país realidades bastante distintas em suas regiões. A maior disponibilidade hídrica (80% das descargas de água total dos rios) do Brasil é encontrada onde reside apenas 5% da sua população, na região Norte, enquanto 95% da população deve ser abastecida por apenas 20% das descargas dos rios (REBOUÇAS, 2007).

A irregularidade também é uma característica das chuvas no país – devido a sua configuração geográfica, à extensão territorial, ao relevo e ao clima, o que torna necessária a prática de uma gestão integrada dos recursos hídricos disponíveis, tanto superficiais, quanto subterrâneos, para que problemas que agravam a crise hídrica enfrentada por algumas localidades sejam evitados ou amenizados.

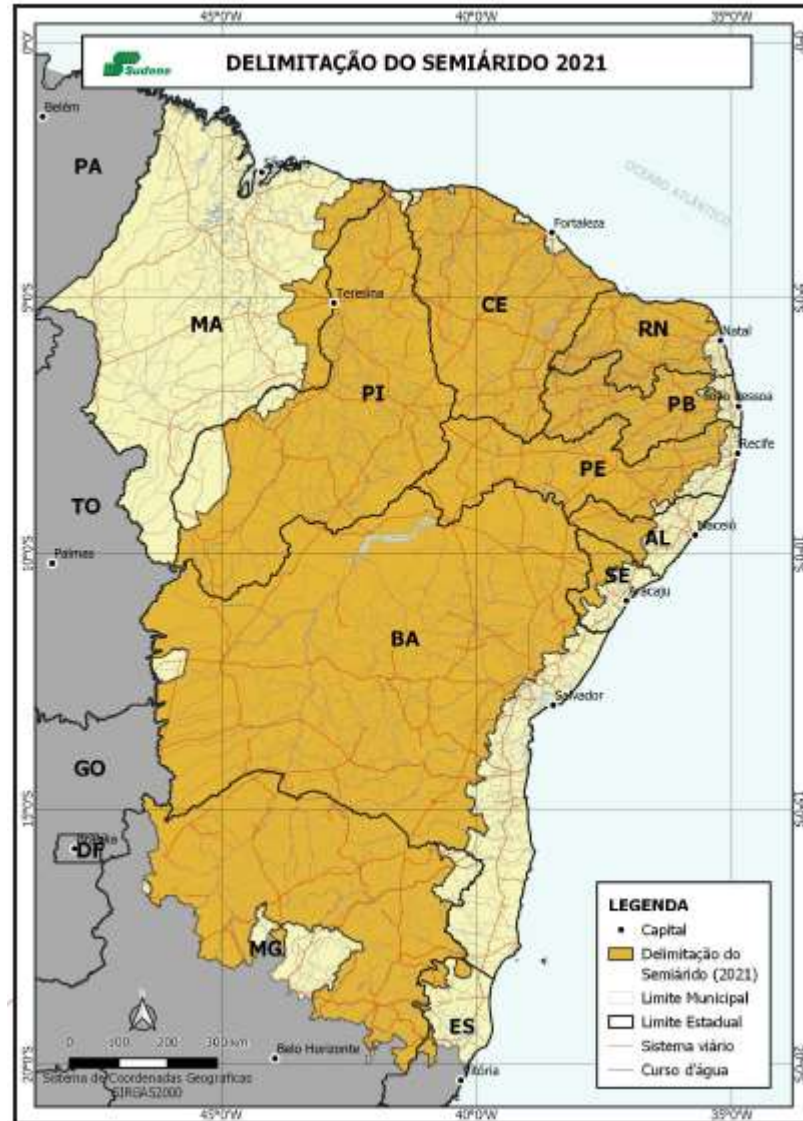
Brião *et al.* (2014) relatam que no sul do Brasil, enquanto algumas áreas possuem água em abundância, outras microrregiões tem períodos endêmicos de seca e regime de chuvas espaçado ao longo do ano. O Estado de São Paulo é um exemplo do desequilíbrio na distribuição de disponibilidades hídricas, uma vez que tem vazões superficiais que não correspondem a mais que 1,6% do total estimado para o Brasil, enquanto sua população representa em torno de 22% da população brasileira, dos quais 90% encontram-se em áreas urbanas (CHAHIN, 2011).

O Brasil é um país onde a escassez hídrica atinge grande parte da população, especificamente na região do semiárido nordestino. Esse fato faz com que o Poder Público busque medidas constantes para conviver com tal problema e garantir o acesso à água para toda população. A Lei nº 9.433 define como objetivo da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (BRASIL, 1997, art. 2).

A região Nordeste possui 1.542.271 km² de extensão territorial, dos quais mais de 60% são ocupadas pela região semiárida nordestina (REBOUÇAS, 1997). A Figura 3

apresenta a delimitação da região semiárida brasileira, que tem 1.318.750 km² de área e 1.427 municípios (SUDENE, 2021).

Figura 3 - Delimitação do semiárido brasileiro.



Fonte: SUDENE (2021).

Santos (2017) relata que o clima é o fator mais determinante na formação dos solos da região semiárida brasileira, com temperaturas elevadas (médias anuais entre 25° e 27° C com variações diárias entre 5° e 10° C), chuvas escassas – concentradas em três ou quatro meses no ano e volume médio anual entre 1.500 e 2.000 mm, e umidade relativa do ar média de 50%, além de período de insolação de 2.800h/ano. A origem das chuvas, geralmente, é frontal e convectiva, caracterizadas por curta duração e elevada intensidade das precipitações (ARAÚJO FILHO, 2002).

Jacomine (2002) afirma que os solos que caracterizam a região sob a qual se desenvolve o bioma da caatinga – vegetação típica da região semiárida brasileira – podem estar relacionados a três principais áreas que são: cristalino, cristalino recoberto por outros materiais e sedimentares. Segundo o autor, na primeira área predominam gnaisses, granitos, migmatitos, xistos, filitos e quartzitos; na segunda são encontradas coberturas de materiais arenosos, areno-argilosos e argilo-arenosos, com espessuras variáveis, e no terceiro grupo se destacam algumas áreas como holoceno, terciário/quaternário, cretáceo e as características que os acompanham.

2.3 Saneamento básico e o meio rural

O Joint Monitoring Programme (JMP) cita que, mundialmente, oito em cada dez pessoas sem acesso aos serviços básicos de abastecimento de água encontram-se nas áreas rurais, estando, aproximadamente, metade delas em países subdesenvolvidos. Quanto aos serviços de esgotamento sanitário, sete em cada dez pessoas que não tem acesso encontram-se nas áreas rurais, sendo um terço delas habitantes de países subdesenvolvidos (JMP, 2019).

De acordo com Sousa, Sousa e Alvares (2015), a promulgação da Constituição Federal, no ano de 1988, suscitou novas perspectivas para o desenvolvimento das políticas públicas de saneamento básico no Brasil, considerando esse serviço um direito fundamental de seus cidadãos e condição essencial para a qualidade de vida sadia. Os autores afirmam que é dever da União a competência para o estabelecimento das macrodiretrizes, enquanto aos estados cabe a organização e o auxílio na provisão e execução dos serviços; e aos municípios a efetivação das ações em seus territórios, sendo a esses delegada a maior responsabilidade na efetivação das ações.

A lei 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para as ações em saneamento básico e institui a Política Federal de Saneamento Básico, adota como um dos princípios fundamentais o abastecimento de água, esgotamento sanitário e outros serviços de forma adequada à saúde pública, além da conservação dos recursos naturais e proteção do meio ambiente. Outro princípio estabelecido é a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as particularidades locais e regionais (BRASIL, 2007).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) surgiu a partir de uma recomendação da referida Lei e mostrou a importância e a necessidade dessa pauta, instituindo macrodiretrizes e estratégias, além de estabelecer um programa no qual a questão do saneamento rural se tornou mais palpável e evidente. Um dos programas do PLANSAB tem como propósito universalizar o acesso ao saneamento básico em áreas rurais, por meio do fomento e execução de ações que garantam: equidade, integralidade, intersetorialidade, sustentabilidade dos serviços, participação e controle social (Fundo Nacional de Saúde - FUNASA, 2019).

Funasa (2019) apresenta o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) com o objetivo de avançar na discussão e consolidação de um conceito de rural orientador do planejamento em saneamento no Brasil e no entendimento de problemas que vêm determinando a ausência de soluções sanitárias adequadas de saneamento básico à população rural brasileira. O programa tem o intuito de alcançar todo tipo de população que se encontra dispersa dos centros urbanos, cujas especificidades possam fornecer elementos para embasar a escolha das soluções de saneamento a serem adotadas, seja no tocante à tecnologia utilizada ou no que se refere ao modelo de gestão das soluções.

A Portaria nº 3.174, de 02 de dezembro de 2019, dispõe sobre o Plano de Saneamento Brasil Rural, atribuindo-lhe a finalidade de articular e incrementar as ações que visem à universalização do acesso ao saneamento básico em áreas rurais e comunidades tradicionais, nos termos do Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (BRASIL, 2019).

Roland, Heller e Rezende (2020) alegam que o fluxo político também foi importante para que o PNSR se tornasse assunto prioritário na agenda federal, com a eleição indireta de José Sarney, em 1985, onde foi fomentada a elaboração de políticas sociais. Os autores afirmam:

A busca da garantia de direitos sociais no processo de redemocratização brasileiro, no contexto político e a atuação de fortes movimentos sociais, dentre eles o movimento sanitário, no contexto social, impactam, direta ou indiretamente, os técnicos governamentais responsáveis pela elaboração do Projeto.

O marco do saneamento básico, atualizado pela Lei Nº 14.026 de 15 de julho de 2020, alterou o nome da Agência Nacional de Águas para Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), ampliando suas atribuições também para o âmbito do saneamento. A ANA é, atualmente, uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), com a finalidade de implementar – no âmbito de suas atribuições – a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e de instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico (BRASIL, 2020).

No Ceará, o SISAR surgiu em decorrência da pequena quantidade de ligações de água na zona rural e da necessidade de atendimento da população que não possuía acesso à água tratada no estado, cenário a partir do qual se fez necessário o desenvolvimento de um modelo de gestão específico para gerenciar pequenos sistemas na zona rural. A entidade tem como objetivo geral a gestão compartilhada com as associações comunitárias locais, visando garantir a operação e a manutenção de sistemas de abastecimento de água (SISAR, 2018).

O desenvolvimento de medidas para a universalização do acesso à água potável, além de outras medidas que levam o saneamento básico às comunidades rurais, é um desafio que tem sido cada dia mais discutido, planejado e articulado para que se torne realidade nesses locais. No Ceará, o SISAR é uma organização não governamental que desde 1996 está envolvida com o gerenciamento do saneamento rural no estado.

Castro (2015) afirma que o SISAR é um programa que foi desenvolvido a partir de parceria inicial do Estado do Ceará, através da Companhia de Água e Esgoto Estado do Ceará (CAGECE) com o Banco alemão Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), e foi inicialmente estabelecido na bacia dos rios Acaraú e Coreaú, para atender as comunidades rurais sem acesso à água tratada até aquele momento (1996).

O autor supracitado ainda afirma que, nesse modelo de gestão, o poder público se responsabiliza pelo provimento da estrutura física dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário e a comunidade local cuida da manutenção e da operação dos mesmos, para torná-los mais eficientes e sustentáveis. O projeto tem se justificado pela importância da gestão compartilhada dos serviços de saneamento, através de estratégias

de empoderamento utilizadas pelo SISAR, por necessitar da participação dos usuários do sistema na sua própria gestão (CASTRO, 2015).

O programa tem seu sucesso comprovado pelos números apresentados em SISAR (2018), que cita que até 2018 mais de 29% da população rural do Ceará consumia água distribuída pelo SISAR, pois o mesmo fornecia água de qualidade para 607.733 habitantes da zona rural, localizados em 151 municípios, contemplando 984 sistemas e 160.776 ligações. Segundo o autor, o suprimento fornecido a essas comunidades é suficiente para usos pessoais e domésticos, incluindo hábitos como: beber, saneamento pessoal, lavagem de roupa, preparação de refeições e higiene pessoal e do lar.

Na Bahia, um programa semelhante ao desenvolvido no estado do Ceará recebe o nome de Central de Associações Comunitárias Para Manutenção Dos Sistemas De Saneamento. A Central possui um modelo de autogestão que o foi pioneiro no Brasil e reduziu a dependência de recursos públicos para garantir a qualidade dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em localidades de pequeno porte na zona rural.¹

Ela é uma associação civil de direito privado, sem fins econômicos, atuante na área do saneamento rural, que envolve a participação efetiva das associações filiadas na implementação, administração e operação dos sistemas, além de contribuir para o desenvolvimento comunitário. A associação tem o objetivo de garantir o abastecimento de água de qualidade para as comunidades filiadas, buscando beneficiar cada vez mais novos associados, fortalecendo o associativismo e contribuindo para o desenvolvimento local.¹

Chowns (2015) cita que o modelo de gestão comunitária é um meio de repassar para a população beneficiada a responsabilidade do Estado e que este modelo não é eficiente ou efetivo para a prestação dos serviços de abastecimento de água em áreas rurais. O autor afirma também que a proximidade com a solução de abastecimento não define e nem possibilita um melhor desempenho técnico – ou seja, manutenções frequentes e reparos mais rápidos.

¹ Informações obtidas a partir do site oficial: www.centralassociações.org.br.

2.4 Águas subterrâneas e a salinidade

O Censo Demográfico de 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2011), informa que 52,5% da população residente na área rural brasileira utiliza água de poços ou nascentes localizadas dentro ou fora das localidades como fonte de abastecimento hídrico. A água utilizada nessas localidades rurais dificilmente possui o controle de qualidade para avaliar a possibilidade de utilização, contudo, não raro, essa água de má qualidade é a única disponível para realização das atividades que empregam o seu uso.

Segundo a Resolução nº 357 (CONAMA, 2005) – resolução de enquadramento de corpos hídricos – as águas salobras possuem teor de salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰. O documento define, ainda, como águas salinas, aquelas com salinidade igual ou superior a 30 ‰, e as águas doces, aquelas cuja salinidade não ultrapassa a 0,5‰. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 2021), assim como o CONAMA, define um padrão de qualidade para os sistemas públicos de água com STD de 500 mg/L.

Staton e Dennehy (2017) afirmam que é comum que diversos suprimentos excedam esse limite, mas que a água com STD superior a 1.000 mg/L não é desejável ao consumo humano, visto que pode ter gosto amargo, salgado ou metálico, além de cheiro desagradável, podendo chegar a ser tóxica. De acordo com a Portaria de Consolidação nº5/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), o valor máximo permitido (VMP) de sólidos dissolvidos totais (STD) para a potabilidade da água, permitindo o consumo humano, é de 1.000 mg/L.

Silveira *et al.* (2015) apresentam uma classificação da quantidade de STD, também considerando aceitável como valor limite para o consumo humano, águas com concentração de até 1.000 mg/L. O Quadro 1 mostra a classificação das águas, com relação ao STD, para o estudo citado.

Quadro 1 - Classificação das águas com relação ao teor de STD.

Concentração de STD (mg/L)	Classificação
< 1.000	Águas doces
de 1.000 a 5.000	Águas ligeiramente salobras
5.001 a 15.000	Águas moderadamente salobras
15.001 a 35.000	Águas fortemente salobras
> 35.000	Águas marinhas

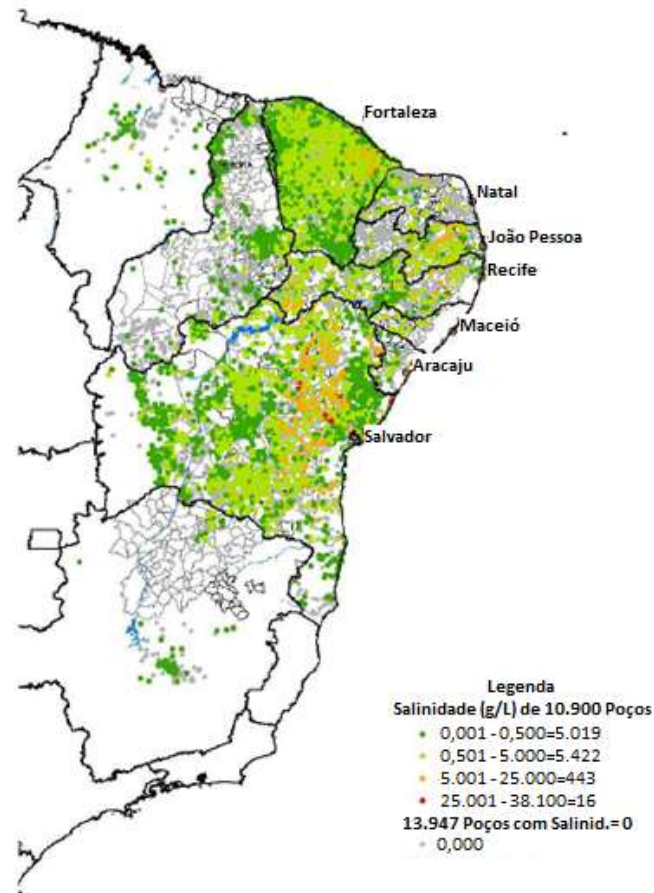
Fonte: Silveira et al. (2015).

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) informa, num manual de operações *in loco*, que a condutividade elétrica é a propriedade que mede a habilidade de uma solução conduzir corrente elétrica. O documento informa ainda que esse parâmetro está diretamente ligado à presença de íons na solução. Essa ligação se dá uma vez que a capacidade de condução varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, além da temperatura, mobilidade dos íons, valência dos íons e concentrações real e relativa de cada íon (CPRM, 2007).

Dessa forma, a uma temperatura constante, a diferença entre as condutividades de duas ou mais soluções de mesma fonte (características semelhantes de íons), indica quantidades de sais dissolvidos distintas em cada uma delas; logo, diferentes escalas de pureza e/ou potabilidade. A condutividade elétrica é utilizada também para fazer controle da pureza da água.

Segundo BRASIL (2012), a maioria dos poços situados no semiárido brasileiro apresenta variações em volume e quantidade de sais dissolvidos dependendo da região onde estão situados. O documento expõe ainda que, baseado na quantidade de poços que apresentam registro da quantidade de sais dissolvidos, dos 24.847 poços classificados, 20,20% são classificados como água doce, 23,6% como águas salobras e apenas 0,06% estão classificadas como salinas, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Classificação dos poços subterrâneos do semiárido brasileiro, com relação ao teor de sais dissolvidos.



Fonte: BRASIL (2012).

O desenvolvimento estratégico e tratamento da água salobra subterrânea produz novos recursos de diferentes níveis de qualidade e que podem ser aplicados numa variedade de usos, podendo ajudar regiões com escassez de água a aumentar os seus limitados suprimentos de água doce; nos EUA, a osmose reversa é a técnica mais comum de dessalinização dessas águas (STANTON; DENNEHY, 2017).

2.5 Sistemas de dessalinização

Freire, Marco e Martins (2015) relatam que há evidências de que, no império greco-romano, os navegadores usavam evaporação e condensação da água do mar para consumo em suas viagens e que essa civilização também utilizava filtros de barro para reter o sal. A água com teor de sal elevado já é dessalinizada pela humanidade há séculos, mas o desenvolvimento da maioria das tecnologias dessa área se deu somente no início dos anos 40, quando militares precisavam se instalar em áreas áridas na segunda guerra mundial (CIRILO *et al.*, 2021, no prelo). Mcock, Pessôa e Kolman Rabbani (2015)

fizeram uma compilação de fatos que representam o histórico da dessalinização e é apresentado no Quadro 2.

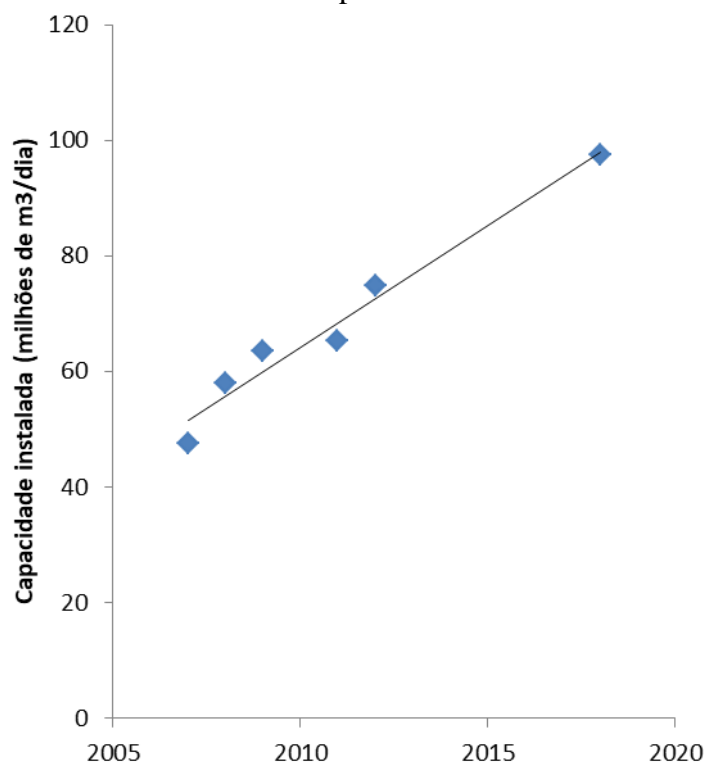
Quadro 2 - Dados da história da dessalinização.

Período	Descrição
1928	Instalação da primeira central de dessalinização na ilha de Curaçao, nas Antilhas Holandesas (GAIO, 2016).
1840	Primeiro uso da Cestilação de Múltiplos Efeitos (SANTOS, 2005).
1884	Fabricação do primeiro evaporador (SANTOS, 2005).
FIM DO SÉCULO XIX	Primeiro evaporador por compressão mecânica de vapor (SANTOS, 2005).
DÉCADA DE 1940	Com a Segunda Guerra Mundial, desenvolvem-se processos para fornecer água a soldados em zonas áridas (FREIRE; MARCO; MARTINS, 2015).
1953	Primeiras experiências com membranas (SANTOS, 2005).
1959	Demonstra-se forma prática para a osmose reversa (FREIRE; MARCO; MARTINS, 2015).
DÉCADA DE 1960	Surgimento das primeiras unidades comerciais (FREIRE; MARCO; MARTINS, 2015).
1987	Petrobrás inicia programa de dessalinização da água do mar (SANTOS, 2005).
2004	Lançamento do Programa Água Doce no Brasil (PAD, 2012).
2009	a capacidade instalada globalmente era de cerca de 42 milhões de m ³ /dia (GAIO, 2016).
2021	A dessalinização é pratiada em 183 países (IDA, 2021)

Fonte: Adaptado de Moccock, Pessoa e Kolman Rabbani (2015).

A dessalinização tem sido fonte de água de qualidade em diversos países do mundo. Nos últimos anos, tem-se percebido um crescimento na capacidade das plantas de dessalinização ao redor do mundo. Essa tendência pode ser vista na Figura 6, a partir de informações da literatura.

Figura 5 - Tendência do crescimento da capacidade instalada mundial de dessalinização.



Fonte: Adaptado a partir de Cardoso *et al.* (2019) e Shea (2009).

A dessalinização é uma forma de transformar uma água com concentração de sais impróprias para o consumo humano (água do mar ou de fontes subterrâneas salobras) em água em condições de potabilidade. Contudo, a dessalinização dessas águas também gera como produto uma água com grande concentração de STD, que precisa de descarte adequado para não trazer prejuízos ao meio ambiente. Rocha (2008, p. 23) cita:

O grande desafio é promover a exploração sustentável destes mananciais em concomitância à conservação ambiental, com crescimento econômico e com a melhoria da qualidade de vida da população. Por isso, estudos estão sendo direcionados com o objetivo de apontar alternativas de aproveitamento do rejeito. Ao agregar valor econômico para este rejeito e revertendo este ganho para as comunidades, busca-se o crescimento da economia da renda regional sem a degradação dos ecossistemas.

O processo de dessalinização transforma a água retirada dos poços, com elevado teor de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), em água para consumo humano, no entanto, a forma como essa água é tratada, desde a sua captação no manancial até a sua disposição ao consumidor, impacta na qualidade da água que é consumida. A dessalinização conta com processos de pré e pós-tratamento da água, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 6 - Fases do processo de dessalinização.



Fonte: Torri (2015).

2.5.1 Tipos de dessalinização

De acordo com Silva *et al.* (2014), a água subterrânea tratada pelo dessalinizador torna-se isenta de impurezas e bactérias, atendendo a todos os parâmetros de potabilidade aprovados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Resolução n° 396 de 03 de abril de 2008), assim como a portaria a Portaria de Consolidação n° 5/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), que apresenta tabela de padrão organoléptico de potabilidade de água.

Cirilo *et al.* (2022, no prelo) afirmam que existem diferentes procedimentos pelos quais a dessalinização pode ser feita, sendo que os mais relevantes podem ser agrupados em dois grupos: processos de dessalinização térmica e filtração com o uso de membranas. Os autores também citam que o primeiro processo é assegurado por métodos de destilação, baseando-se no processo natural do ciclo hidrológico, no entanto esse processo custa 10 a 15 vezes mais que o segundo processo, que se baseia na capacidade das membranas de separarem seletivamente os sais da água.

Nos processos térmicos de dessalinização se faz a evaporação da água, sendo necessário o alcance de uma temperatura elevada em relação à temperatura ambiente, ao mesmo tempo em que a quantidade de energia no processo continue suficiente. Estes métodos são, devido a quantidade de energia que demandam, geralmente encontrados em países do Oriente Médio, onde o petróleo é abundante e garante o combustível de produção de energia para funcionamento do processo (GUERREIRO, 2009).

Para Torri (2015), dentre os processos térmicos de dessalinização se destacam:

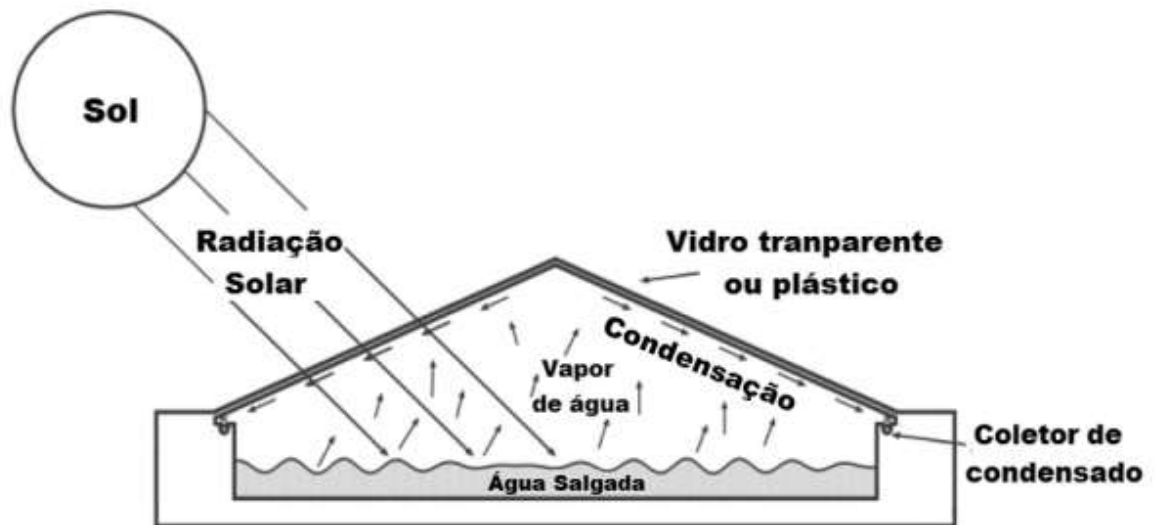
- Destilação Solar (SD)
- Destilação Flash de Múltiplo Estágio (MSF)
- Destilação Múltiplo Efeito (MED)
- Destilação por compressão de vapor (VC)

Destilação Solar

A destilação solar é um sistema de baixo custo que usa a energia solar para processar a dessalinização, no entanto precisa de um bom sistema de vedação para evitar a perda de calor e, também, de uma fonte de energia adicional para bombear a água para dentro e para fora do sistema (TORRI, 2015). Um inconveniente desse sistema é que ele é completamente dependente do calor do sol, não podendo ser utilizado em locais ou dias que a incidência de luz solar seja baixa.

Nesse sistema, a água com teor elevado de STD que é bombeada para dentro do tanque, ao ser aquecida pela incidência da luz solar na superfície transparente, sofre o processo de destilação, onde os sais ficam concentrados no fundo do tanque. O vapor de água com menor densidade é elevado e condensa ao entrar em contato com a superfície do tanque, que possui inclinação para que a água sem sais condensada seja coletada em suas extremidades. A Figura 7 mostra um esquema do que é a destilação solar.

Figura 7 - Esquema do processo térmico de Destilação Solar.



Fonte: Gaio (2016)

Destilação Flash de Múltiplo Estágio

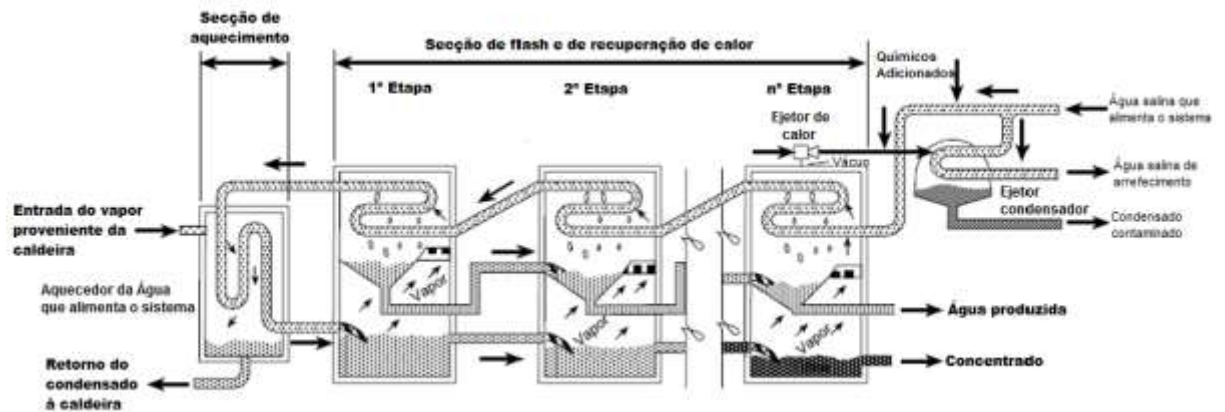
O processo Flash de Múltiplo Estágio (MSF) consiste num conjunto de câmaras sucessivas em que, no seu interior, ocorre a vaporização instantânea – *flash* – da água. Esse processo começa com a circulação da água salgada fria por um sistema de tubos que estão envolvidos por vapor quente, e a diferença térmica provoca o aquecimento da água salgada enquanto circula pelos tubos (GUERREIRO, 2009).

Após passar pelos tubos, a água entra numa caldeira de salmoura e logo em seguida para a primeira fase, que é a designação de cada câmara. A elevada temperatura presente no interior da câmara faz com que parte da água vaporize instantaneamente, que condensa e precipita em uma calha dentro da fase que conduz a água doce para o exterior da câmara. A salmoura restante passa para a próxima fase, onde o mesmo processo ocorre, mas com temperatura inferior a anterior (SOUZA, 2002).

O autor supracitado afirma que a diminuição da temperatura se deve à diminuição de pressão entre as fases consecutivas. O processo se repete até que a salmoura atinja a pressão atmosférica e valores de concentração de sais muito elevados, sendo enviada para o meio receptor. A Figura 8 ilustra o processo da destilação MSF que pode usar qualquer tipo de fonte de energia e tem capacidade para tratar uma grande quantidade de água, mas

é uma técnica muito dispendiosa uma vez que necessita de uma grande quantidade de energia para alimentar o processo.

Figura 8 - Esquema da Destilação MSF.



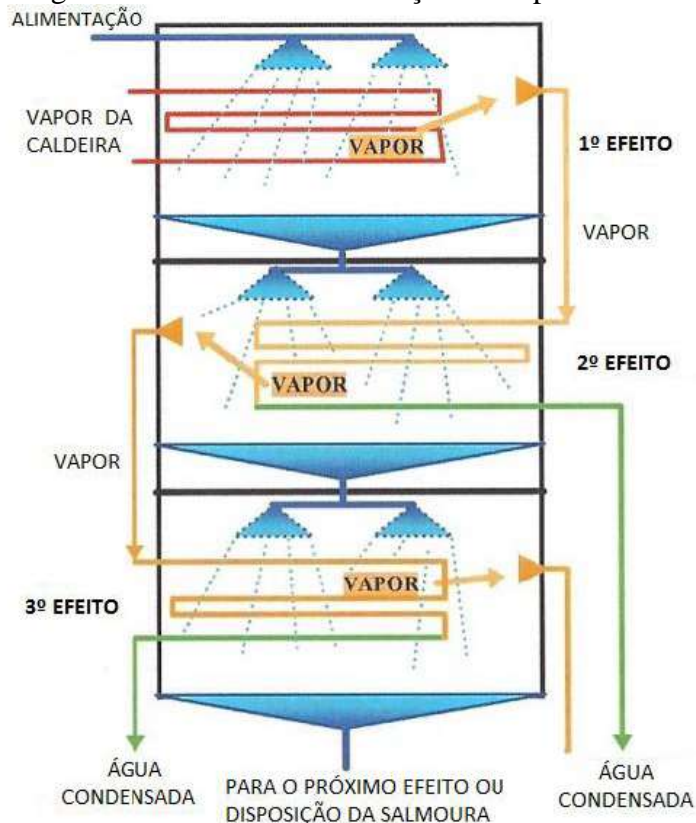
Fonte: Gaio (2016).

Destilação Múltiplo Efeito

O início da Destilação Múltiplo Efeito (MED) se dá com a aspersão da água salgada fria diretamente sobre um conjunto de tubos com elevada temperatura, onde parte dessa água evapora com o calor. O calor evaporado (de água pura) é utilizado para aquecer a água fria do efeito seguinte, depois de seguir por um tubo que liga os dois efeitos. A parte da água que não evapora é bombeada para o próximo efeito, onde o processo se repete, até que a salmoura atinja concentração não desejada e seja encaminhada ao receptor (GUERREIRO, 2009; TORRI, 2015).

A água condensada é colhida em cada efeito, além do que a cada avanço de etapa a pressão e temperatura diminuem. Esse método de dessalinização é o mais antigo e mais eficiente termodinamicamente, se adapta ao uso de vários tipos de energia para funcionamento, no entanto, só pode ser utilizada para a dessalinização de água em grande escala e o bombeamento da salmoura a cada fase aumenta a quantidade de energia empregada nesse processo (GUERREIRO, 2009). A Figura 9 ilustra a MED.

Figura 9 - Processo de Destilação Múltiplo Efeito.



Fonte: Torri (2015).

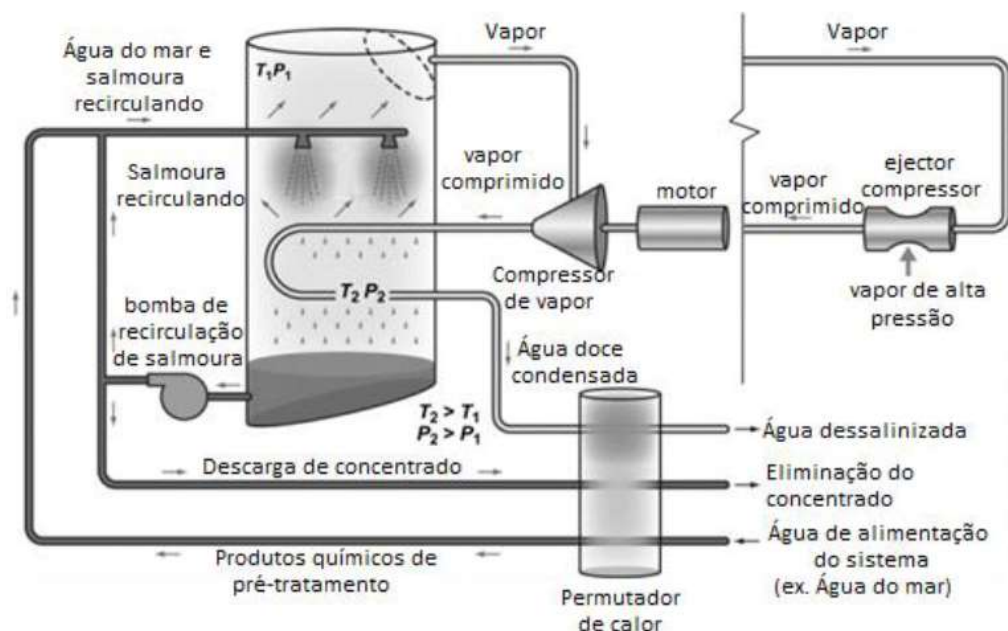
Destilação por compressão de vapor

O processo de destilação por Compressão de Vapor (VC) ocorre de maneira semelhante ao MED, onde o vapor de água de uma fase é utilizado para aquecer o jato de água fria da fase seguinte, contudo, diferentemente da MED, a VC utiliza a compressão do vapor da água gerado na evaporação da água em alta pressão. A compressão pode ocorrer de duas maneiras distintas, dando origem aos dois métodos de operação de VC existentes: a compressão mecânica de vapor (MVC) e compressão de vapor térmico (TVC) (GUERREIRO, 2009; GAIO, 2016).

De acordo com Guerreiro (2009), na MVC a compressão do vapor é feita por meio de um compressor mecânico e acontece em apenas uma etapa, enquanto na TVC pequenas quantidades de vapor a alta pressão são adicionadas por meio de um ejetor, necessitando de várias etapas para a realização do processo. O autor ainda comenta que esse tipo de destilação é utilizado em sistemas de pequeno ou médio porte, além de poder também ser utilizado como complemento de algum dos outros tipos de dessalinização

térmica, otimizando o consumo de energia no sistema. A Figura 10 representa o VC em seus dois possíveis métodos.

Figura 10 - Processo de Destilação VC.



Fonte: Gaio (2016).

A dessalinização por membrana é um processo de uso intensivo de energia, onde a maioria da energia consumida é empregada para fornecer a pressão operacional necessária (ANG *et al.*, 2017). Para Torri (2015), o processo de dessalinização com o uso de membranas, onde são empregadas membranas semipermeáveis para fazer a separação dos sais da água, pode ocorrer por dois métodos distintos:

- Eletrodialise (ED)
- Osmose reversa (OR)

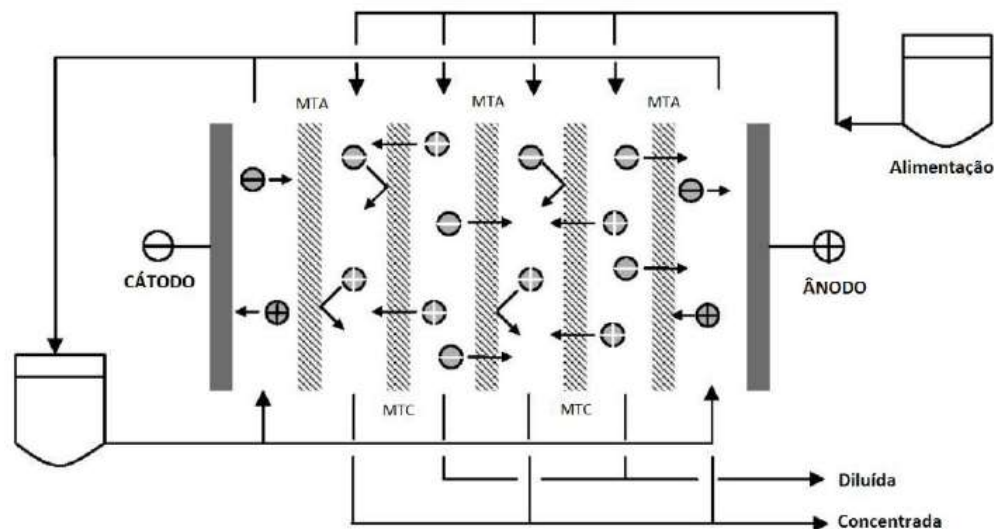
Eletrodialise

Guerreiro (2009) afirma que para realizar a Eletrodialise, inicialmente, é necessário um pré-tratamento da água utilizada, com a retirada dos sólidos em suspensão com dimensão maior que $10\mu\text{m}$, que podem entupir os poros da membrana, além da remoção de substâncias orgânicas, colóides e alguns óxidos que podem afetar o efeito do uso da membrana.

A dessalinização é realizada numa câmara, com um eletrodo positivo instalado numa extremidade e um negativo na outra extremidade, e os íons são separados por meio de uma troca de íons, sob a influência de um campo elétrico. Os íons positivos (cátions) migram da água salobra para a extremidade com o eletrodo negativo, através de uma membrana de troca catiônica (MTC), da mesma forma que os íons negativos (ânions) migram para a extremidade com o eletrodo positivo, através de uma membrana de troca aniônica (MTA). Essas membranas só permitem a passagem de cátions e ânions, respectivamente (YOUNOS; TULOU, 2005).

Torri (2015) cita que para evitar incrustações – *fouling* – nas membranas, foi criado um método chamado de eletrodialise inversa (EDI), onde a polaridade é invertida a cada intervalo de tempo determinado (alternando a passagem de correntes entre ânion e cátion), criando um mecanismo de limpeza. A Figura 11, apresenta um esquema da eletrodialise.

Figura 11 - Dessalinização por eletrodialise.



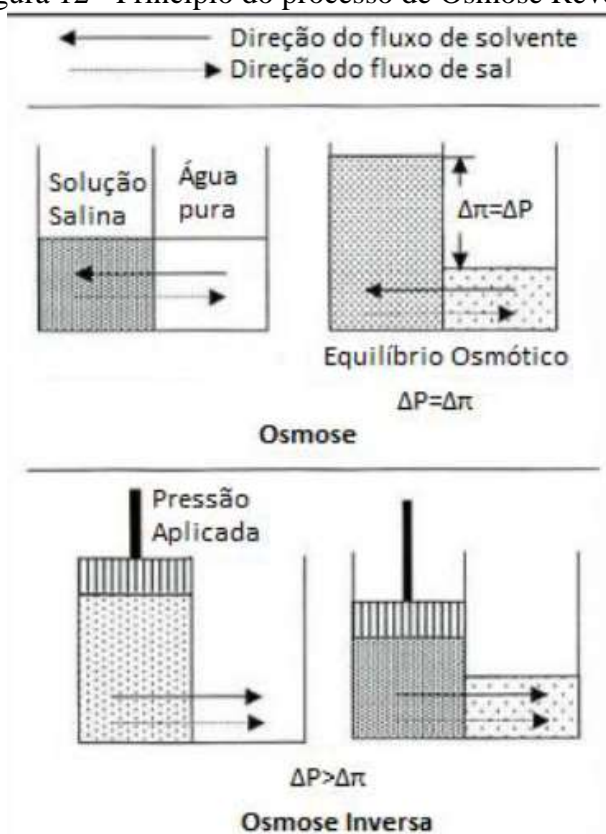
Fonte: Torri (2015).

Osmose Reversa (OR)

A Osmose Reversa é um processo físico que usa o fenômeno osmótico – diferença de pressão entre a água salgada e a água pura – associado à presença de uma membrana semipermeável, para remover os sais da água concentrada; esse processo é exemplificado na Figura 12. Segundo Younos e Tulou (2005), durante esse processo, uma pressão maior que a osmótica é aplicada à água concentrada, que entra no sistema para inverter o fluxo,

resultando em água pura passando pelos poros da membrana sintética, separando-se do sal. Uma porção salina que retém os sais é ainda mais concentrada que a água que alimenta o processo, e é encaminhada para o descarte.

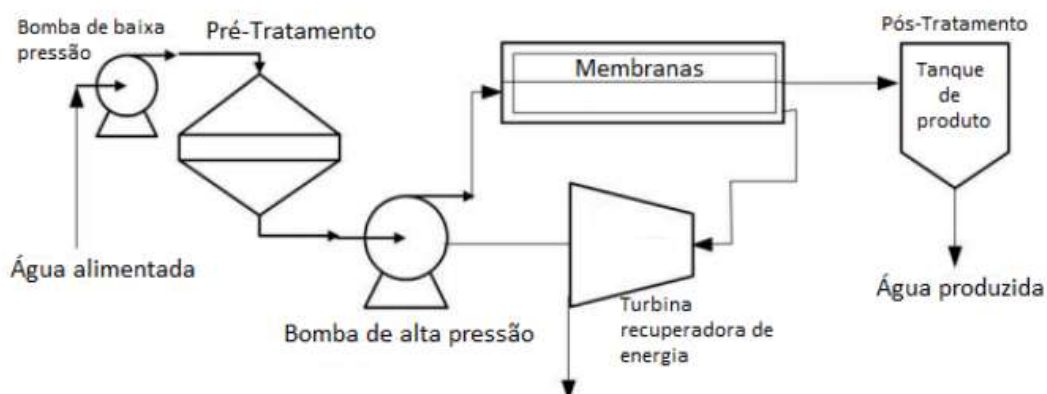
Figura 12 - Princípio do processo de Osmose Reversa.



Fonte: Torri (2015).

O processo de Osmose Reversa é o mais utilizado para fazer a dessalinização de águas com teor concentrado de sólidos totais dissolvidos. Esse processo é eficaz para remover o total de STD de até 45.000 mg/L e pode ser aplicado na dessalinização de águas subterrâneas salobras e de água salgada do mar (YOUNOS; TULOU, 2005). Existem diferentes sistemas de dessalinização, com capacidades variadas de vazão e potencial de dessalinização, que podem atender as diversas quantidades de água disponíveis para tratamento. O esquema geral de um processo de dessalinização por osmose reversa é mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Esquema do processo de dessalinização por Osmose Reversa.



Fonte: Torri (2015).

A OR é a técnica que oferece maior versatilidade para aplicações nas quais a salinidade da água de alimentação varia consideravelmente e facilita quando é necessário atingir diferentes graus de remoção de sal (PATEL; BIESHEUVEL; ELIMELECH, 2021). Portanto, é uma direção essencial à dessalinização de água salobra eficiente.

Al-Obaidi *et al.* (2018) realizaram a análise de desempenho de uma planta de dessalinização de osmose reversa de água salobra (ORAS) localizada na Jordânia por meio de modelagem e simulação, comparando com dados reais de uma planta industrial. A pesquisa mostrou que a taxa de fluxo de alimentação e a pressão operacional são os parâmetros críticos que afetam positivamente a salinidade do produto enquanto a salinidade da água de alimentação e a temperatura operacional afetam negativamente a qualidade do permeado.

2.5.2 Partes componentes de um sistema de dessalinização por osmose reversa

De acordo com Barros *et al.* (2007) são partes mais comuns num sistema de dessalinização:

- poço tubular;
- bomba do poço;
- tanque de alimentação;
- abrigo;
- dessalinizador;
- tanque/reservatório do permeado;

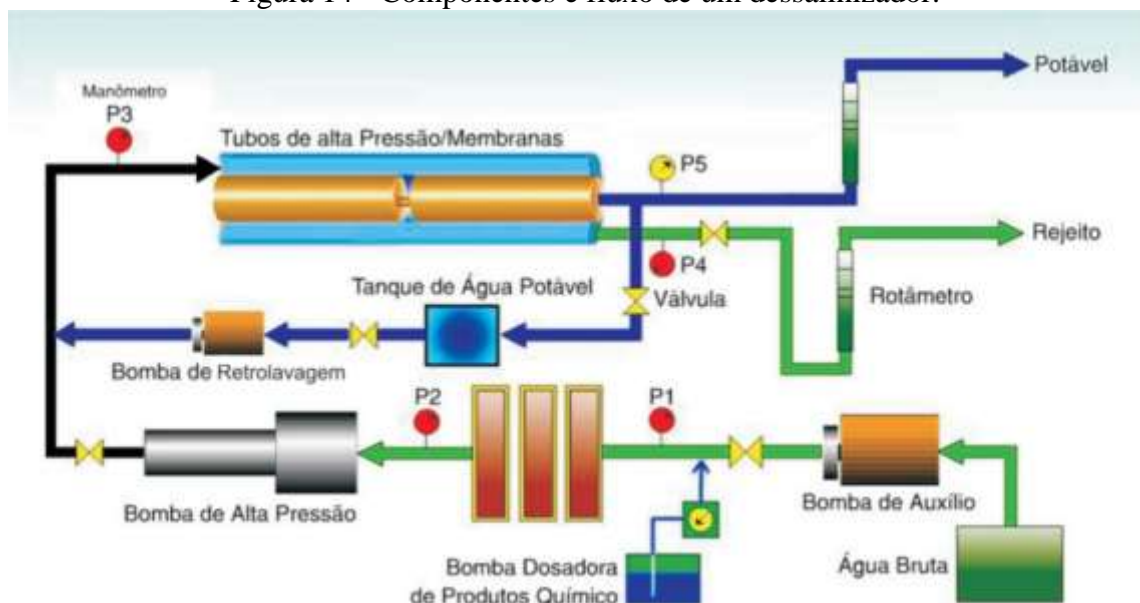
- tanque/reservatório do concentrado.

Barros *et al.* (2007) citam que o poço é a alimentação do sistema, devendo estar sempre protegido contra a entrada de corpos estranhos, além de ter a sua água coletada a cada seis meses para fins de análises de qualidade. Os autores também afirmam que o poço não deve ser acionado por longos períodos de funcionamento, recomendando até oito horas por dia. A bomba do poço é o item que permite a sucção da água do poço até o tanque de alimentação.

O tanque, ou reservatório de alimentação, é o local onde armazena-se a água bruta retirada do poço. Barros *et al.* (2007) recomendam que o mesmo seja mantido em bom estado e que deve ser lavado duas vezes ao mês, a fim de evitar incrustações – dos sólidos encontrados na água bruta – que possam vir a comprometer as membranas. O abrigo é o local onde o dessalinizador propriamente dito fica alocado. Esse abrigo é de alvenaria nos sistemas simples e de material metálico nos de estrutura cabinada. No dessalinizador é onde ocorre a separação dos sais da água, tornando parte dela potável e liberando parte com elevada salinidade (concentrado).

Tanque ou reservatório do permeado é o local de armazenamento da água potável; e o tanque, ou reservatório do concentrado, é o local onde é armazenada a parte de elevada concentração, ambos produtos do processo que ocorre no interior do dessalinizador. No manual de dessalinizador da Companhia de Engenharia Hídrica e Saneamento da Bahia (CERB), é possível encontrar as partes componentes de um dessalinizador. A Figura 14 ilustra o detalhamento do equipamento e o fluxo de funcionamento durante a transformação da água salobra em água potável.

Figura 14 - Componentes e fluxo de um dessalinizador.



Fonte: CERB (2011).

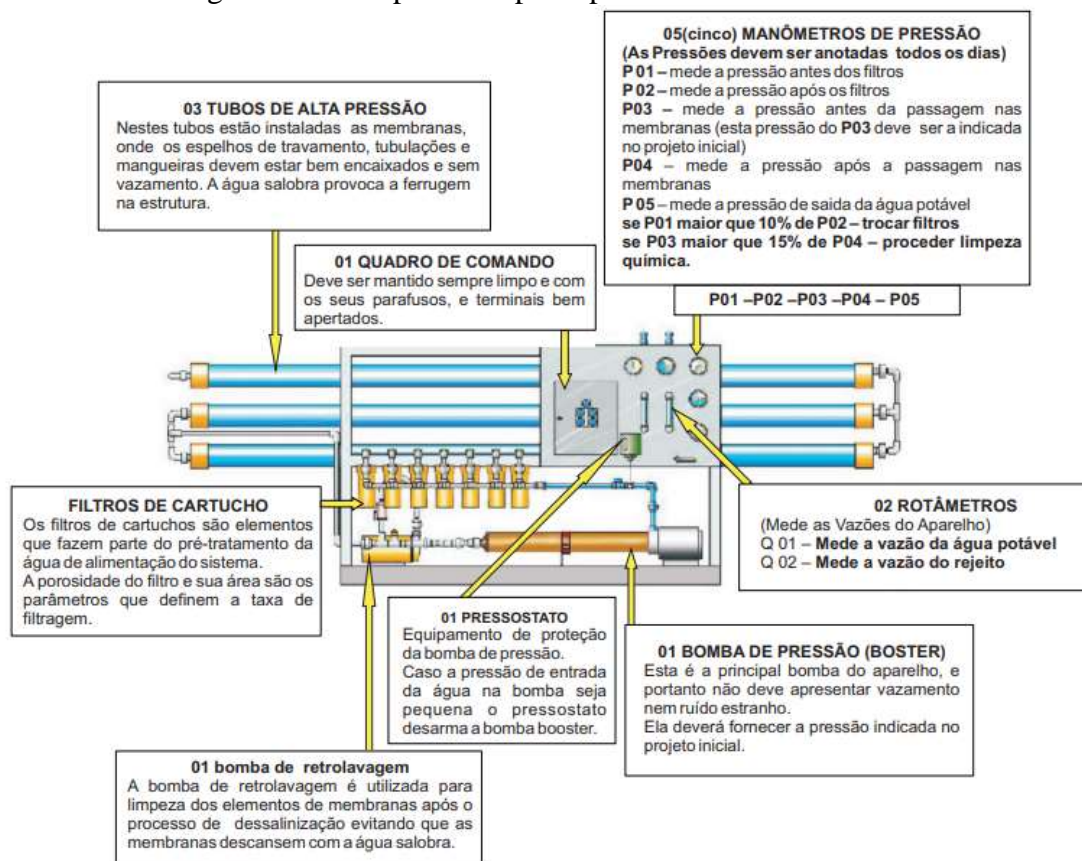
O início do processo que ocorre no dessalinizador se dá com o bombeamento da água bruta do reservatório no qual ela se encontra armazenada, por meio da bomba auxiliar, que a encaminha para o pré-tratamento. No pré-tratamento atuam a bomba dosadora e os filtros de cartuchos. Segundo CERB (2011), a bomba dosadora é utilizada para fazer a injeção de produtos químicos antes dos elementos de membranas (anti-incrustantes ou inibidores) e também a correção de pH ou desinfecção da corrente de água do permeado, ela pode ser do tipo diafragma ou peristáltico.

Os filtros de cartuchos, por sua vez, podem fazer parte do pré-tratamento da água de alimentação e/ou do pós-tratamento da água permeada do sistema. Os sistemas usam de três a seis filtros e a porosidade do filtro e sua área são os parâmetros que definem a taxa de filtragem dos mesmos (CERB, 2011). Em seguida, a água que sai dos filtros é bombeada para as membranas por meio da bomba de alta pressão. Nas membranas é feita a separação entre a água potável (permeado) e a água com elevado teor de sais (concentrado).

A porção da água potável é coletada no reservatório do permeado e a água que não passa pelas membranas (concentrado) é coletada no reservatório do concentrado. Os manômetros são medidores de pressão em cada uma das etapas e os rotômetros medem as

vazões do permeado e do concentrado no processo. A Figura 15 tem a descrição dos demais itens importantes pertencentes a um dessalinizador.

Figura 15 - Componentes principais de um dessalinizador.



Fonte: CERB (2011).

Quando houver diferença superior a 10% na pressão dos filtros de cartucho (P1-P2), em relação a diferença de pressão estabelecida no projeto do dessalinizador, os filtros precisam ser trocados por novos filtros. E quando a diferença de pressão das membranas (P3-P4) for superior a 15% da diferença de pressão estabelecida no projeto, essas membranas necessitam de uma limpeza química. No entanto, para ambos os casos pode haver danos nos manômetros (BARROS *et al.*, 2007; CERB, 2011).

O manual da CERB (2011) sobre dessalinizadores ainda traz uma série de recomendações ao operador do equipamento, para garantir o bom funcionamento do mesmo; dentre elas estão:

- observar o nível da água bruta;
- verificar as condições de higiene dos tanques;

- verificar as condições dos filtros de cartuchos;
- fazer a leitura de todos os instrumentos;
- observar como se encontram as condições das conexões;
- fazer manutenção do dessalinizador (limpeza dos tanques, lavagem de membranas, reparo de bombas, etc.).

De acordo com Barros *et al.* (2007), esse processo tem a capacidade de separar micro-solutos com diâmetros menores que 0,0001 μm , através do mecanismo solução-difusão, de modo que sais, dureza, turbidez, compostos orgânicos, pesticidas, entre outros compostos e a maioria dos contaminantes presentes na água podem ser removidos. Para os autores, essa forma se tornou uma das técnicas mais empregadas para beneficiar os moradores de áreas rurais com água potável.

2.5.3 Água salina: subproduto da dessalinização

De acordo com Brasil (2012), a dessalinização é uma prática bastante difundida nas áreas caracterizadas com água salobra para melhora da qualidade das águas subterrâneas, contudo, essa prática gera um elevado volume de água muito salina que deve ser devidamente manejada. O correto manejo desse produto evita o desperdício de uma quantidade significativa de água (apesar de imprópria para consumo humano direto) e também o empobrecimento de solos, onde a concentração de sais pode causar prejuízos a utilização do solo.

Sousa Neto *et al.* (2011) desenvolveram um estudo sobre o cultivo de espécies de plantas florestais, irrigadas com água salina. Nesse estudo foram utilizadas as plantas jovens de sabiá e jurema preta, que se apresentaram moderadamente sensíveis à salinidade, comprovando que o cultivo de mudas de essências florestais é uma alternativa viável para o uso da água salina da dessalinização.

Rocha (2008) afirma que o cultivo de espécies halófitas, como a *Atriplex numulária*, popularmente conhecida como erva sal, é uma das soluções mais importantes para a água salina. Essa planta consegue remover quantidade significativa de sais quando comparada a plantas não halófitas, contudo, não significativa quanto a quantidade de sais

adicionados ao solo pela irrigação (EMBRAPA, 1999). O documento ainda explica que essa planta tem grande potencial forrageiro, o que é essencial para a alimentação de caprinos e ovinos.

Outra forma de utilização do rejeito é a criação de peixes. Algumas espécies de tilápia (como a tilápia rosa) têm a capacidade de adaptação aos ambientes de diferentes salinidades, além de serem resistentes às manipulações durante a criação e a mudanças de temperaturas (KUBITZA, 2005). Essas características fazem com que a criação desse tipo de animal seja possível em locais com sistemas de dessalinização em uso, evitando a contaminação do solo e de mananciais de água doce.

Brasil (2012) cita que para atender a demanda dos sistemas alternativos de aproveitamento do rejeito (com o desenvolvimento de processo produtivo, a partir da criação de peixes), o volume de produção de água deve no mínimo ser de 3m³/hora. Contudo, diversos estudos têm sido desenvolvidos sobre os usos que podem ser dados a água salina, que também é produto da dessalinização e comumente chamada de rejeito.

2.5.4 O uso internacional dos sistemas de dessalinização

O uso de dessalinizadores torna-se essencial quando se trata de áreas desérticas ou com disponibilidade escassa de água doce. Contudo, ela não é somente restrita a essas áreas, pois, à medida que uma região se apresenta populosa, aumenta-se a necessidade de água de qualidade à disposição, tornando indispensável o uso de meios alternativos às fontes superficiais de água potável.

Segundo Al-Karaghoul e Kazmerski (2013), a seleção de uma determinada tecnologia de dessalinização se baseia em vários fatores, como especificidades do local, tipo e qualidade da água de alimentação, disponibilidade e consumo de energia, economia e impactos ambientais.

A osmose reversa (OR) domina a capacidade global de dessalinização, respondendo por mais de 80% da água salobra dessalinizada (JONES *et al.*, 2019). Kabir *et al.* (2018) analisaram um sistema de osmose reversa de água salobra na área rural de

Bangladesh, onde a água subterrânea tinha um STD médio de 7.500 ppm, que após o processo de dessalinização, tinha o seu teor de sais reduzido a 100 ppm a um custo de US\$ 0,0022/litro. Os autores afirmam que a osmose reversa é o melhor sistema de purificação de água em termos de custo e facilidade de manutenção.

Stanton e Dennehy (2017) afirmam que nos Estados Unidos existe uma ocorrência de água salobra subterrânea em profundidades inferiores a 3.000 pés (914 metros) em todos os estados, exceto em New Hampshire e Rhode Island; na maioria do território a profundidade de ocorrência dessa característica está entre 50 e 500 pés (15 e 150 metros). Os autores afirmam também que cerca de 70% dos poços do país, analisados entre 1.500 e 3.000 pés (457 e 914 metros) de profundidade, possuem água salobra ou altamente salina com média de STD de 3.692 mg/L, enquanto menos de 20% dos poços conhecidos possuem água com essas características na profundidade de 0 a 50 pés (0 a 15 metros), sendo o STD médio para tal profundidade de 334 mg/L.

Nos Estados Unidos a dessalinização foi incentivada e aprimorada a partir da aprovação de uma lei cuja finalidade era criar meios para reduzir o custo da dessalinização da água do mar, em 1952, e, a partir dela, o uso da dessalinização em cidades com escassez de água passou a ser planejada, a fim de suprir as necessidades hídricas desses locais (CIRILO *et al.*, 2021, no prelo). Hoje, a capacidade de dessalinização dos EUA representa 0,5% da capacidade global e, desde 2016, a capacidade de dessalinização de água do mar, por meio de osmose reversa, é de 0,4 milhão m³/dia (RAO *et al.*, 2018).

Segundo Cirilo *et al.* (2021, no prelo), atualmente os EUA possui alguns dos maiores sistemas de dessalinização do mundo, como uma inovadora usina de dessalinização (Kay Bailey Hutchingson - KBH) que produz cerca de 104 mil m³/dia de água dessalinizada a partir de água subterrânea salobra, por meio da osmose reversa; na Califórnia o sistema Carlsbad processa água do mar e foi dimensionado para dessalinizar 204 mil m³/dia também através da osmose reversa; na Flórida a usina Tampa Bay, planejada para dessalinizar água do mar de maneira moderna e completamente automatizada, pode produzir 108 mil m³/dia.

A crise hídrica na Jordânia fez com que a dessalinização se tornasse uma alternativa às fontes de água potável convencionais (QTAISHAT *et al.*, 2017). As fontes de água salobra que se distribuem por todo o país estimam uma vazão anual de cerca de 100 mil m³ (HADADIN *et al.*, 2010). Um estudo de Mohsen e Al-Jayyousi (1999) identificou áreas facilmente exploráveis na Jordânia, de fonte de abastecimento de água salobra, com potencial para instalação de plantas de dessalinização com capacidade mínima de 10 milhões de metros cúbicos/ano, com poços de STD variando entre 3.000 e 6.000 ppm.

A pesquisa dos autores supracitados ainda traz uma análise comparativa entre os métodos de dessalinização: Destilação Múltiplo Efeito, Osmose Reversa, Eletrodialise, Destilação Flash de Múltiplo Estágio e Destilação por Compressão a Vapor. Entre essas tecnologias observadas, a Osmose Reversa mostrou-se a mais favorável sob os aspectos técnicos, econômicos e critérios ambientais, além de possuir como características alta qualidade da água, flexibilidade na operação e custo médio de capital.

Qtaisaht *et al.* (2017) afirmam que mais de 50 plantas de dessalinização de água salobra por osmose estavam instaladas por agricultores no Vale do Jordão-Jordânia para fins de irrigação, com capacidades que variam de 360 a 2.400 m³/dia, e total de 14.000 m³/ano. Água salobra, com STD entre 1.300 e 7.000 ppm e média de 3.150 ppm, é bombeada de poços com profundidades entre 100 e 150m; o processo de dessalinização produz água com STD entre 50 e 800 ppm, e média de 195 ppm.

Allam, Saafe e Dawoud (2003) afirmam que a dessalinização de águas no Egito teve início por volta da década de 80, para complementar o abastecimento de água potável para cidades costeiras, além dos setores petrolífero e das usinas de energia. Os autores afirmam ainda que, com o desenvolvimento do sistema, atualmente, além dos usos iniciais, a água dessalinizada também é utilizada em outros setores, como no turismo, indústrias e na oferta de água de qualidade a pequenas unidades de saúde; volumes que totalizam uma capacidade total instalada de cerca de 150.000 m³/ ano.

Todos os principais aquíferos do Egito contêm grandes volumes de água salobra, evidência que, somada ao fato dele ser um país muito árido, expressa grande potencial de utilização de água dessalinizada. Contudo, essa exploração é limitada devido a fatores

como: ser considerada uma medida cara, desconhecimento da dinâmica dos aquíferos, ocorrência de água subterrânea baixa em áreas de demanda e incertezas quanto a água salina, que é descartada (ALLAM; SAAFE; DAWOUD, 2003).

De acordo com Mogheir *et al.* (2013), a capacidade de dessalinização é consideravelmente medida pela remoção de sal. Geralmente, a condutividade elétrica, STD, dureza, e a presença de íons como cloreto, sódio, magnésio, cálcio e potássio indicam quão salgada é a água. Esses autores observaram o funcionamento de seis usinas de dessalinização na Faixa de Gaza, onde todos os parâmetros de entrada encontravam-se com valores acima do permitido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e após o tratamento tiveram seus parâmetros obedecendo aos padrões de água potável da organização.

Taha e Al'sead (2018) afirmam que a eficiência da OR melhorou por meio de novos desenvolvimentos de membranas de baixo custo, uso de dispositivos de recuperação de energia, uso de membranas aprimoradas, entre outros métodos que permitiram a evolução da técnica. Após uma análise do desempenho de uma planta de dessalinização por ORAS ao longo de um período de 14 anos, com operação média de 9h/dia e capacidade de alimentação de 416 m³/dia, Ruiz-García e Nuez (2020) comprovaram que o desligamento diário não causou problemas adicionais na planta de dessalinização, indicando que a operação intermitente da planta de dessalinização é viável em longo prazo.

Ao longo dos anos, diversos estudiosos têm trabalhado para explicar os componentes dos custos da água dessalinizada, dos diversos tipos de dessalinização existentes. Esse custo, além de depender dos fatores técnicos ligados ao funcionamento de um sistema de dessalinização, também depende de tecnologias e descobertas de novas formas de integrar os recursos renováveis aos sistemas. Segundo Al-Karaghoulí e Kazmerski (2013), na década de 1960 a água dessalinizada custava cerca de US\$10,0/m³, enquanto em meados da década de 2010 as duas tecnologias de dessalinização mais utilizadas (RO e MSF) já eram inferiores a US\$0,6/m³. Atualmente, os custos com dessalinização por osmose reversa já são inferiores a US\$0,4/m³ (CHU *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2021).

De acordo com a International Desalination Association [IDA] (2018), até junho de 2018, mais de 20 mil usinas de dessalinização haviam sido contratadas em todo o mundo, sendo o maior empreendimento de dessalinização de água do mar o projeto de 378 mil m³/dia de osmose reversa de água do mar em Rosarito, México. O relatório afirma ainda que, globalmente, a capacidade contratada de dessalinização de água salobra diminuiu 19% ano a ano, contudo, nos EUA essa capacidade de dessalinização aumentou significativamente, chegando a 205.600m³/dia, o maior nível desde 2012 e um aumento de 26% em relação a 2016, dividindo-se de maneira quase uniforme entre plantas municipais e industriais.

A IDA contabilizou para o ano de 2021 (até o mês de julho), mais de 8.400 milhões de dólares em capital investido, 10.986 milhões de dólares em custos de operação, com capacidade operacional instalada de dessalinização de 78.349.678 m³/dia e capacidade contratada de 10.209.180 m³/dia, praticada em 183 países do mundo (IDA, 2021).

2.5.5 O uso de dessalinizadores no Brasil

No Brasil as plantas de dessalinização instaladas, a partir da osmose reversa de água salobra, têm sido aplicadas no abastecimento de pequenos núcleos comunitários, para abastecimento de população com água potável, além do uso em agricultura e criação de animais para subsistência ou pequenas atividades comerciais.

Ferreira *et al.* (2015) realizaram um estudo em onze comunidades rurais, do município de Mossoró/RN, que tinham, por fonte de abastecimento hídrico, poços com água salobra com tratamento para consumo por meio de sistemas de dessalinização implantados pelos programas Água Boa e Água de beber, dos governos federal e estadual. Os autores observaram que 63% das águas dos poços, que foram analisadas, possuem salinidade muito alta, não sendo indicadas para a irrigação – exceto em condições muito especiais.

Campos e Pinheiro (2005) identificaram que o Ceará apresentou cinco usuais dessalinizadores entre os mais de 350 do estado, sendo eles com as vazões de 400, 600,

800, 1.200 e 1.800 litros/hora de água potável. Segundo os autores, os valores dos equipamentos variam de R\$20.616,04 para o sistema de 400 litros/hora, até R\$32.856,84 do sistema de 1.800 litros/hora de água potável. Nesses, as membranas representam 32% do valor do dessalinizador de vazão de 400 litros/hora e 66,98% do valor total do dessalinizador de vazão de 1.800 litros/hora.

Uma análise de custos anuais de operação e manutenção, no estudo citado acima, ainda permitiu que fosse identificado o custo desses serviços para cada um dos tipos de dessalinizador encontrados, a preços de novembro de 2002. A Tabela 1 apresenta os custos de operação e manutenção de cada tipo de sistema, além do orçamento de implantação dos mesmos para o estudo de Campos e Pinheiro (2005). Nos custos de manutenção não foram incluídos os valores gastos com reposição de membranas, que foi considerada como reinvestimento.

Tabela 1 - Custos de orçamento e manutenção por tipo de dessalinizador no Ceará.

Dessalinizador	Vazão (litros/hora)	Custos orçamento (R\$)	Custos manutenção (R\$)
Tipo I	400	20.616,04	2.859,17
Tipo II	600	22.216,04	2.773,52
Tipo III	800	24.550,09	2.845,47
Tipo IV	1200	28.056,84	3.619,09
Tipo V	1800	32.856,84	4.050,00

Fonte: Adaptado de Campos e Pinheiro (2005).

Pinheiro e Calado (2005) analisaram, em 130 comunidades do Ceará que possuíam dessalinizadores (instalados entre 1997 e 2000), os aspectos sociais, econômicos, tecnológicos e ambientais que influenciam e condicionam o desempenho dos equipamentos. Os autores concluíram que a efetividade de um dessalinizador não depende da necessidade da comunidade, se essa não perceber o seu real valor, e que os equipamentos que apresentam maior sucesso são os das comunidades em que o operador possui maior grau de instrução.

No estudo supracitado, dos 130 dessalinizadores analisados, verificou-se que 60% estavam desativados e a comunidade sendo abastecida por carros-pipa, 90% dos casos não possui um kit de ferramentas simples para reparos e 12% dos que funcionam nunca haviam recebido nenhum tipo de limpeza das membranas – tratamento que feito,

preventiva ou corretivamente, aumenta o tempo de vida útil do equipamento. Foi constatado, ainda, que a falta de pagamento da conta mensal de energia é uma razão frequente de paralisação dos dessalinizadores (PINHEIRO; CALADO, 2005)

Essa informação indica que a administração do uso dos dessalinizadores deve ser um fator de extrema importância no processo de decisão de instalação desses sistemas. Se um sistema de dessalinização é alocado numa comunidade onde não há interesse dos usuários e um bom operador para o sistema, certamente haverá um prejuízo, uma vez que o mau uso do mesmo provocará a sua inutilização precoce.

Almeida *et al.* (2020) desenvolveram um projeto piloto de dessalinização de água salobra no Paraná, a partir da mistura de água bruta do Rio das Pombas com água do mar, até atingir uma concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) de 1500 ± 100 mg/L. Os pesquisadores realizaram a dessalinização por osmose reversa, com a ultrafiltração e abrandamento como pré-tratamento. Os resultados comprovaram que o pré-tratamento não foi capaz de remover STD ou condutividade elétrica, mas a osmose reversa reduziu o STD e a condutividade com eficiência de 99%.

Ang *et al.* (2017) analisaram a performance de membranas de filtração e perceberam que o desempenho de uma membrana reduziu com o aumento da salinidade da água de alimentação de 400 para 4.000 ppm. Os autores afirmam que, para a membrana em questão, a capacidade de fluxo e rejeição de sal diminuíram em torno de 28% e 12%, respectivamente, com a alteração do teor de sólidos dissolvidos totais. Para os autores, a escolha da membrana deve ser feita considerando o STD da solução, a fim de obter um permeado de qualidade numa única filtração.

Lopes (2018) analisou a eficiência de um sistema de dessalinização pelo processo destilação por membrana (DM) como sendo superior a 99% em cinco medições, a partir de um cálculo que relaciona as medidas de condutividade elétrica da água salobra e destilada após o processo de DM. Segundo o autor, a eficiência da dessalinização retrata a capacidade de se retirar o sal da água durante o processo.

Barros *et al.* (2007) consideram como principais causas do insucesso de um sistema de dessalinização: grande distância dos equipamentos aos centros urbanos, não

mobilização social com a comunidade a ser beneficiada, falta de cursos de capacitação dos operadores, escassos monitoramento e manutenção dos sistemas e a ausência de um sistema eficiente para o aproveitamento dos rejeitos. Após analisar cada um desses itens, o autor ainda afirma que a localização ideal seria a mais próxima possível da comunidade a ser beneficiada e que a comunidade precisa estar envolvida no processo para garantir o bom funcionamento do sistema.

Levando em conta que o uso desse tipo de sistema acarrete na diminuição do preço dos dessalinizadores, Bezerra *et al.* (2019) consideram que é possível prever sua utilização em empreendimentos agrícolas, sobretudo para aqueles implementados de forma intensiva e com culturas de alto valor. Para tornar viável a sustentabilidade desses sistemas é imprescindível que haja uma articulação das entidades de governo nas esferas federal, estadual e municipal, a fim de definir as atribuições de cada um, com a participação das comunidades beneficiadas (BARROS *et al.*, 2007).

De Sá Moreira *et al.* (2021) realizaram um estudo para analisar a viabilidade energética e econômica de uma planta de dessalinização no Brasil, que usa incineração como fonte de energia, para diversos cenários de população, onde esse tipo de fonte energética é capaz de fornecer, em média, apenas 36% da energia necessária ao dessalinizador. Para esse estudo, a complementação da energia com uso de gás natural torna-se mais competitiva com o crescimento da população abastecida. Os autores não especificam a origem da água de alimentação, se salobra ou salina, e os resultados de custo com o crescimento populacional obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Custos de investimento, operacionais e da água dessalinizada por população.

População (habitantes)	Investimento (US\$)	Custos operacionais (US\$/ano)	Custo de dessalinização (US\$/m³)
50.000	15.839.718,83	1.535.055,80	1,16
100.000	27.778.662,63	3.034.080,61	1,08
200.000	50.538.740,03	6.061.572,08	1,03
300.000	74.687.199,13	8.956.290,27	1,02
500.000	115.368.770,71	14.829.421,34	0,98

Fonte: De Sá Moreira *et al.* (2021).

2.6 Pernambuco: recursos hídricos, saneamento rural e legislação

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH-PE) o Estado de Pernambuco possui uma extensão territorial de 98.938km², área que representa cerca de 6,49% da Região Nordeste e 1,19% do Brasil. O estado tem uma forma estreita e alongada que lhe concede uma pequena faixa litorânea (187 km entre norte e sul) e uma grande extensão no sentido Leste-Oeste (748km) (PERNAMBUCO,1998).

A população desse estado, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi estimada em 9.557.071 habitantes para o ano de 2019 (IBGE, 2019). Esse instituto também obteve no último censo (2010) um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,673, considerado médio, e a informação que cerca de 80% da população reside em áreas urbanas. Sua área está dividida em 185 municípios que compõe as cinco mesorregiões do estado: Sertão, São Francisco, Agreste, Zona da Mata e Metropolitana do Recife.

O PERH-PE informa que a maioria dos rios encontrados tem sua bacia hidrográfica integralmente dentro do Estado, sendo os rios estaduais; enquanto outros, como os rios Mundaú, Ipanema e Moxotó, têm partes de suas bacias em outros estados, sendo caracterizados como rios federais. O plano reconhece a bacia hidrográfica como a unidade geográfica utilizada para planejar, avaliar e controlar os recursos hídricos (PERNAMBUCO, 1998).

Diante disso, Pernambuco foi dividido em 29 Unidades de Planejamento (UP) – FFigura 16 – das quais, 13 bacias são as mais relevantes no contexto hídrico local (rios Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém, Una, Mundaú, Ipanema, Moxotó, Pajeú, Terra Nova, Brígida, Garça e Pontal). Outras unidades foram agrupadas em função do pequeno tamanho de seus rios, estabelecendo os “grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios”; sendo seis formados por rios litorâneos (GL1 a GL6), nove por rios interiores (GI1 a GI9) além de uma que compõem a rede de drenagem do arquipélago de Fernando de Noronha (APAC, 2013).

Figura 16 - Unidades de Planejamento hídrico de Pernambuco.

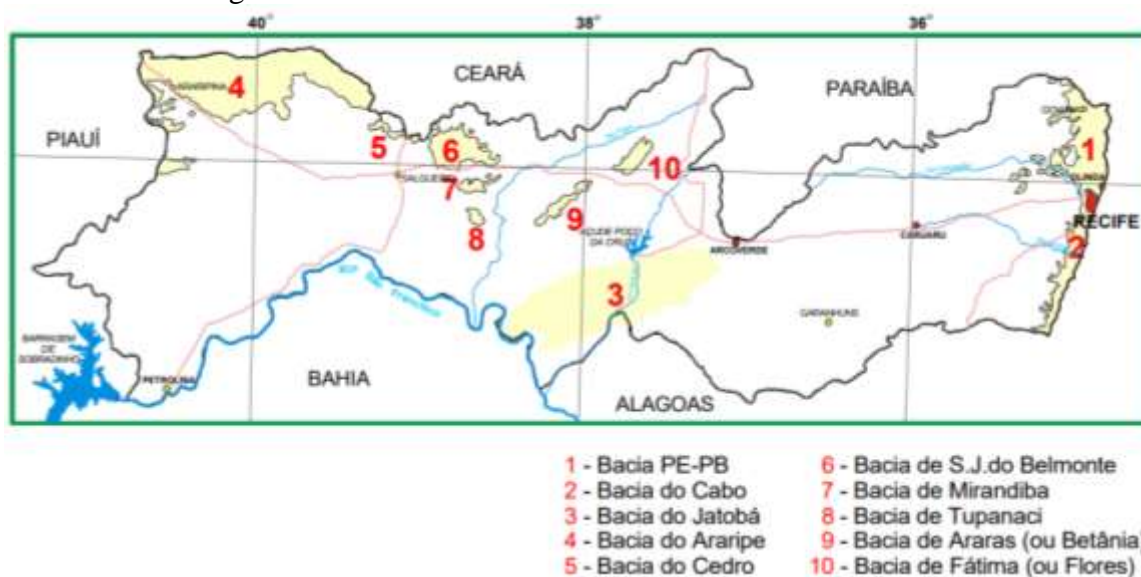


Fonte: AGÊNCIA CONDEPE/FIDEM (2005).

Costa Filho e Costa (2000) afirmam que 84% da área total do estado está situada sobre geologia cristalina e cristalofilianas, onde é encontrado o aquífero fissural que tem potencialidade muito baixa ($0,28 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{ano}$) quando comparado ao aquífero intersticial. A potencialidade dos aquíferos intersticiais em Pernambuco é de $1,25 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{ano}$ e estão sob os 13% de área do estado com geologia sedimentar. A potencialidade subterrânea conta ainda com $0,1 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{ano}$ dos depósitos aluviais (3% da área).

Diante disso, se enquadram essencialmente em dois tipos os aquíferos pernambucanos: intersticiais e fissurais. Os intersticiais, também chamados de porosos, podem ser de bacias sedimentares espessas, que possuem potencialidade de média a alta, ou de bacias menos espessas, que tem potencialidade de média a baixa. Esses aquíferos são classificados também quanto à localização, podendo ocorrer de maneira contínua e ocupar grandes áreas, ou descontínua em pequenas porções ao longo da área (COSTA FILHO; COSTA, 2000). A Figura 17 apresenta as bacias sedimentares de Pernambuco.

Figura 17 - Bacias sedimentares do estado de Pernambuco.



*Partes brancas do mapa representam os aquíferos fissurais.

Fonte: Costa Filho e Costa (2000).

Os aquíferos fissurais, por sua vez, possuem baixa capacidade de infiltração e armazenamento de água devido à baixa porosidade da sua formação geológica (MMA, 2007). A grande quantidade de sais presentes nas rochas cristalinas também faz com que as águas contidas nesses aquíferos tenham elevado teor de salinidade, variando de acordo com o tipo de rocha de cada localidade (COSTA FILHO; COSTA, 2000). A distribuição dos aquíferos fissurais pode ser visualizada nas partes de cor branca da Figura 17.

Nesse tipo de aquífero, a água subterrânea encontra-se limitada às fendas e/ou fraturas, espaço onde ocorre toda a circulação da água subterrânea – em zonas de rocha do embasamento cristalino de profundidade intermediária – podendo originar aquíferos fissurais/fraturados. Neles são encontradas cacimbas, poços tipo amazonas e poços tubulares (perfuração mecânica), com profundidades variadas, captando água em meios fissurados de rocha sã, apesar da baixa produtividade desses aquíferos (Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco - CPRH/PE, 2005).

Pernambuco (2018) informa que a política pública, em termos de saneamento básico (abastecimento de água e esgotamento sanitário), é de competência da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), que é responsável por fornecer água e esgotamento sanitário para todo o estado e que atua em 172 dos 185 municípios além do arquipélago de Fernando de Noronha.

Essa Companhia, no entanto, concentra suas atividades em áreas urbanas e, embora tenha exclusividade de 172 municípios, algumas localidades rurais e de pequeno porte se utilizam de outros meios para suprir essa necessidade, junto com a sede municipal e/ou os próprios usuários. O Quadro 3 apresenta um resumo das instituições que atuam no estado e a forma como cada uma delas contribui.

Quadro 3 - Instituições que atuam no saneamento rural em Pernambuco.

INSTITUIÇÃO	ATUAÇÃO NO SETOR RURAL	MODELO DE GESTÃO
COMPESA	Faz a gestão dos sistemas instalados.	Atua de forma direta.
FUNASA	Implantação de infraestrutura.	Repasse dos ativos e da gestão para o município.
SARA – Programa Água para Todos	Implantação de infraestrutura hídrica.	1. Repasse dos ativos para o município; 2. Repasse dos ativos para Associação Comunitária local.
SARA - ProRural	Implantação de infraestrutura hídrica.	Repasse para Associação Comunitária local.
SARA - IPA	1. Perfuração e instalação de poços tubulares	Repasse para Associação Comunitária local.
SERH - Dessalinizadores	1. Implantação/recuperação de equipamentos de dessalinização da água; 2. Contrato de manutenção com empresa privada.	SERH/Prefeitura/Comunidade. Por meio de uma empresa contratada, a SERH faz a manutenção dos equipamentos.
Serviço Geológico do Brasil - CPRM	Implantação de infraestrutura hídrica.	1. Repasse para o município; 2. Repasse para Associação Comunitária.
Articulação Semiárido Brasileiro (ASA)	Implantar programa de convivência com o Semiárido baseado em processos e dinâmicas da cultura de estoque de água para consumo humano na família, escolas e espaços comunitários, produção de alimentos e dessedentação animal.	Associações Comunitárias ou as próprias famílias de forma isolada.

Fonte: Pernambuco (2018).

Em 25 de abril de 2020 foi instituída, por meio de parceria entre a Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos do estado de Pernambuco (SEINFRA) e a Secretária de Desenvolvimento Agrário (SDA), a Unidade Gestora do Saneamento Rural (UGRS). Essa ação tem o objetivo de melhorar a segurança hídrica das populações rurais do estado

de Pernambuco, diagnosticando o acesso à água em qualidade e quantidade nos domicílios rurais, a fim de desenvolver propostas de Modelos de Gestão para as comunidades (Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, 2020).

Em Pernambuco, a região semiárida ocupa uma área de 86.341 km², correspondendo a 123 municípios, e uma população de 3.993.975 habitantes (SUDENE, 2018). Quando se trata de localidades difusas de pequeno porte, no cenário de semiárido, Pernambuco (2018) estima que essa população seja de, aproximadamente, dois milhões de pessoas, ou seja, 500.000 unidades familiares de 4 pessoas.

Dados coletados na pesquisa que gerou o relatório de Modelos de Gestão para o Saneamento Rural em Pernambuco (PERNAMBUCO, 2018) ressaltam o envolvimento direto das Prefeituras e das Associações Comunitárias na gestão dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) – 78% das localidades visitadas – indicando que esse tipo de serviço está sendo cuidado pelo poder público local (Município) e pelos interessados diretamente, através das associações ou das próprias famílias, realizando o auto abastecimento (*self supply*) – 17% das localidades.

Esse documento informa também que a maioria das localidades (59%) não tem nenhum custo com a água que recebem e que as demais (que pagam pela água) tem esse custo para cobrir parte das despesas com esse serviço e para obter uma água de melhor qualidade, visto que 59% dos sistemas não fazem nenhum tipo de tratamento; em 41% dos casos é feita cloração simples, em 33% a água bruta é filtrada, mas em nenhum dos casos a qualidade da água é controlada.

A Secretaria Executiva de Recursos Hídricos (SEINFRA/SERH) de Pernambuco realizou a contratação de empresa especializada para a execução de serviços técnicos de manutenção corretiva e preventiva em 285 unidades de dessalinização de água, situados no estado atualmente (PERNAMBUCO, 2020). O investimento econômico do governo do estado em sistemas de dessalinização de água salobra é um fator de acentuada importância quando discutido sobre a continuidade e relevância desse projeto para a população que convive com a escassez em localidades dispersas e isoladas.

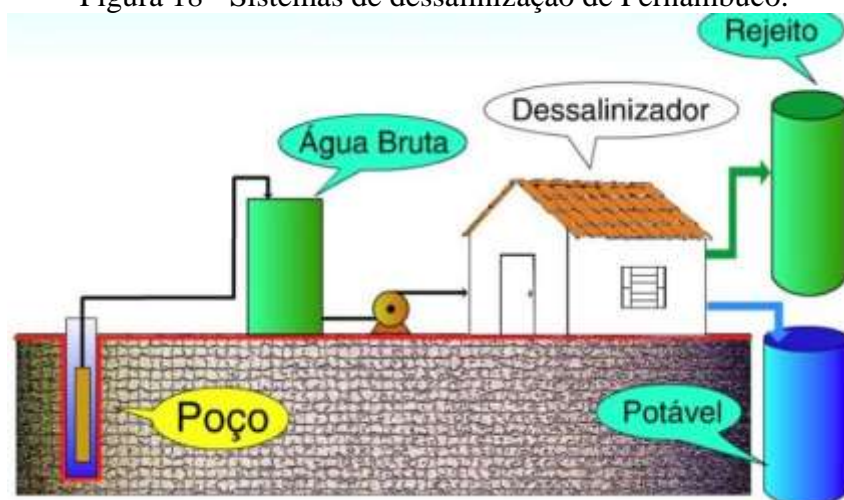
A lei estadual 12.984/2005, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelece como um dos objetivos da política estadual assegurar que a água seja

protegida, utilizada e conservada em toda a extensão do Estado de Pernambuco, nos níveis e padrões de quantidade e qualidade adequados, a fim de garantir as condições de desenvolvimento econômico e social, bem estar e qualidade de vida, tanto para os usuários quanto para o meio ambiente (PERNAMBUCO, 2005).

Em março de 2013 a Lei estadual de nº 14.922 instituiu a Política Estadual de Convivência com o Semiárido com o objetivo geral de estabelecer diretrizes básicas para a implementação de políticas públicas permanentes no meio rural de Pernambuco, tendo como perspectiva o desenvolvimento sustentável das áreas rurais e assegurando às populações locais os meios necessários à convivência com as condições desfavoráveis do clima Semiárido (PERNAMBUCO, 2013).

De acordo com a Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos – SRHE – (PERNAMBUCO, 2012), o estado de Pernambuco utiliza dessalinizadores com a tecnologia da Osmose Reversa, onde uma bomba de alta pressão força a água salobra através das membranas semipermeáveis, realizando a separação das águas com concentrações distintas. A Figura 18 exemplifica genericamente o esquema de um sistema de dessalinização nas comunidades do estado.

Figura 18 - Sistemas de dessalinização de Pernambuco.



Fonte: Pernambuco (2012).

Pernambuco (2012) afirma que os sistemas de dessalinização mais comuns encontrados no estado são compostos por poço tubular, bomba do poço, tanque de alimentação (água bruta), abrigo de alvenaria, dessalinizador, tanque do permeado

(potável) e tanque do concentrado (rejeito). A Figura 19 apresenta a imagem de um sistema de dessalinização convencional, onde o equipamento é instalado dentro de um abrigo de alvenaria.

Figura 19 - Dessalinizador de estrutura simples.



Fonte: Pernambuco (2012).

Outro modo de abrigar o equipamento dessalinizador é em uma estrutura metálica, onde o equipamento já vem instalado nela, evitando custos com abrigos de alvenaria. Essa estrutura, que já é bastante utilizada em Pernambuco, é conhecida como Cabinada, pois o sistema fica em uma cabine metálica. Esse tipo de estrutura está ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Dessalinizador de estrutura cabinada.



Fonte: Pernambuco (2012).

Como visto no Quadro 3, em Pernambuco, alguns órgãos como o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), a Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco por meio da Secretaria Executiva de Recursos Hídricos (SEINFRA/SERH) e a Secretaria de Desenvolvimento Agrário (SDA) possuem ações e programas que buscam levar melhorias de acesso à água a comunidades da região semiárida do estado.

2.7 Programas e incentivo aos sistemas de dessalinização

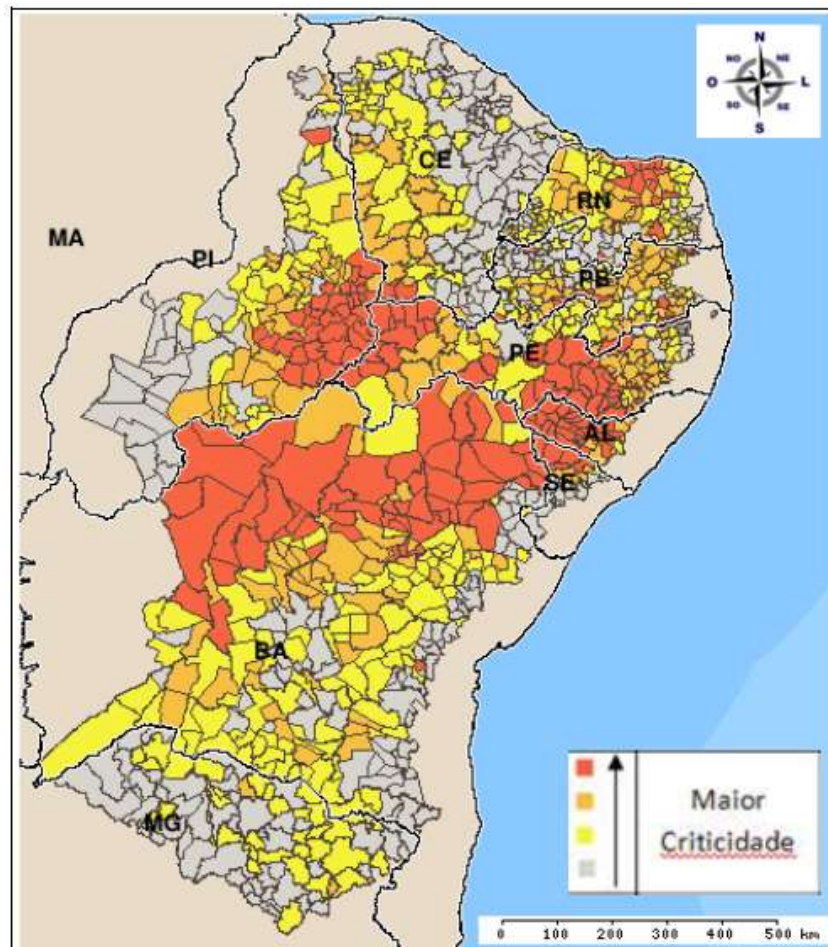
O uso da osmose reversa como técnica de dessalinização tem sido adotado pelo Governo Federal com o objetivo de fornecer água potável para populações dispersas do semiárido brasileiro. A aplicação dessa tecnologia implica numa significativa melhoria de qualidade da água; contudo, acarreta problemas ambientais, pois cerca de 50% da água retirada dos mananciais é descartada no processo (MARINHO *et al.*, 2015).

O Programa Água Doce (PAD) é uma iniciativa coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) com formulação no ano de 2003, que envolve 10 estados do semiárido Brasileiro e parceiros federais, visando incorporar cuidados ambientais e sociais na gestão de sistemas de dessalinização, para estabelecer um processo de tratamento permanente de águas subterrâneas (BRASIL, 2012).

Brasil (2012) discorre ainda informações sobre a composição do Programa, que se constitui de três subsistemas dependentes e complementares, desenvolvidos pela Embrapa Semiárido. Nela, após a produção da água potável, utiliza-se a água salina (subproduto do processo) para a irrigação de plantas halófitas, seguido da alimentação animal associada as plantas cultivadas.

De acordo com MMA (2012), os municípios do semiárido brasileiro com maior criticidade com relação às condições de acesso a água são definidos a partir do Índice de Condição de Acesso a Água no Semiárido (ICAA). O documento informa ainda que esse indicador é resultado de uma média ponderada que leva em consideração o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), a Taxa de Mortalidade Infantil, além de índices pluviométricos e Intensidade de Pobreza. A Figura 21 apresenta o mapa do ICAA para o semiárido brasileiro.

Figura 21 - Índice de Condição de Acesso a Água (ICAA) nos municípios do semiárido brasileiro.



Fonte: MMA (2012).

O ICAA é um índice calculado por município, revelando o grau de necessidade de abastecimento do município como um todo, e para a definição das localidades a serem atendidas, realiza-se visita técnica nos municípios que foram previamente selecionados (MMA, 2010). Contudo ele pode mascarar a existência de alguma localidade que, mesmo estando situada num município de criticidade menos acentuada, vivencie uma situação de extrema carência hídrica e que pode não ser representada pelos índices que compõe a pontuação do ICAA, tornando-se prejudicada por esse cálculo.

Marinho *et al.* (2015) afirmam que os custos de implantação e principalmente de manutenção desses equipamentos são altos; águas com salinidade muito elevada inviabilizam a utilização do equipamento e os dessalinizadores muitas vezes ficam distantes da residência dos camponeses, dificultando o acesso à água. Por esses motivos, o autor ainda afirma que, apesar do esforço do Governo Federal, muitos desses equipamentos encontram-se desativados, evidenciando as dificuldades de sustentabilidade dessa tecnologia.

A dessalinização se tornou política pública nacional em 2004 com o PAD, para atender, prioritariamente, as populações de baixa renda em localidades difusas do Semiárido. O principal objetivo dessa política é fornecer de maneira permanente o acesso à água de boa qualidade para o consumo humano, promovendo e disciplinando a implantação, a recuperação e a gestão de sistemas de dessalinização ambiental e socialmente sustentáveis (BRASIL, 2012). Essa tecnologia, que tem alto custo de instalação, ainda necessita de plano de manutenção e de utilização da água com alto teor de sais que é produto do tratamento da água salobra dos poços.

O Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), em convênio com o Estado de Pernambuco, prevê – por meio do investimento de R\$33,2 milhões – a recuperação, implantação e gestão de sistemas de dessalinização em comunidades pré-selecionadas de áreas rurais do semiárido pernambucano de 21 municípios, sendo eles: Águas Belas, Iati, Itaíba, Manari, Paratama, Venturosa, Alagoinha, Caetés, Capoeiras, Cumaru, Frei Miguelinho, Jataíba, Riacho das Almas, Salgadinho, Sanharó, Santa Maria do Cambucá, Vertente do Lério, Afrânio, Dormentes, Santa Cruz e Trindade (BRASIL, 2020).

A iniciativa supracitada tem por finalidade levar 170 sistemas de dessalinização a mais de 21 mil pessoas e iniciou suas ações em julho de 2020. O Programa do Governo Federal é descrito como uma política permanente de acesso ao abastecimento de água para o consumo humano, por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas, com a implantação de sistemas de dessalinização para solucionar os problemas dos altos índices de salinidade presentes em 70% dos poços da região (BRASIL, 2020).

É inegável o benefício que o PAD leva para as comunidades em que o sistema de dessalinização é instalado. Muitas regiões do semiárido que não tem outro modo de captar ou ter acesso a água potável são beneficiadas com água de qualidade para sua população. Contudo, a existência de inconsistências no funcionamento desse programa pode, além de limitar a produção de água de qualidade, interferir na dinâmica de funcionamento das comunidades.

Gomes e Borja (2018) afirmam que, apesar da melhora inegável do acesso a água de comunidades que vivem na seca, o modelo do PAD traz limitações aos usuários e não oferece o suporte adequado para que as famílias tenham acesso a água 24h por dia e todos os dias da semana. Os autores identificaram, ainda, a capacitação ineficiente dos operadores e a falta de participação social durante a construção do PAD, restringindo-se a última fase do processo de implementação, quando é necessário garantir a autogestão dos sistemas. Essas considerações foram feitas a partir de análise de documentos do PAD da Bahia.

Azevêdo (2012) avaliou o PAD no estado da Paraíba, durante o contexto de retomada das políticas de desenvolvimento regional, para o enfrentamento à escassez hídrica. Ela identificou interferência de gestão municipal em todas as etapas de funcionamento do programa, além de fragilidades técnicas, endividamento das comunidades, pequena participação comunitária, resultados socioeconômicos limitados e com decisões pouco participativas, diferente daquilo que é estabelecido pelo programa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização dessa pesquisa contou com a análise de dados oficiais da SEINFRA, por meio da SERH a ela vinculada. Essa parceria permitiu o acesso aos produtos: relatório de Estudo de Modelos de Gestão de Sistemas Rurais de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário para o Estado de Pernambuco; e relatórios de manutenção de sistemas de dessalinização do ano de 2019. Os sistemas de dessalinização, foco desse estudo, pertencem ao conjunto de medidas de saneamento rural que possibilitam o abastecimento de água de municípios do interior do estado.

3.1 Levantamento e diagnóstico dos dessalinizadores em Pernambuco

Um levantamento², junto aos órgãos que atuam no saneamento rural em PE, permitiu a identificação de quais deles possuem alguma relação com sistemas de dessalinização, fazendo uso desses como instrumento para tornar possível o acesso à água potável. Nesse levantamento foi possível constatar que, até o momento, as ações do IPA não englobam o uso de dessalinizadores e a COMPESA atua na gestão e operação de um único dessalinizador – de grande porte – localizado no arquipélago de Fernando de Noronha, a partir da água do mar.

Foi possível constatar ainda que a Secretaria de Desenvolvimento Agrário (SDA) possui um projeto de implantação de cerca de 180 sistemas, por meio do Programa Água Doce (PAD), que em meados de 2021 iniciou o processo de implantação, não tendo, até o presente momento, nenhum em funcionamento. Portanto, atualmente a SEINFRA/SERH é o único órgão do estado com operação sobre sistemas de dessalinização. Esse órgão possuía, em meados de 2018, duzentos e cinco (205) dessalinizadores em funcionamento e outros precisando de reparos para funcionar. O presente estudo usou dados de 2019, para verificar a situação desses sistemas.

² Levantamento realizado com informações coletadas a partir de contato com servidores dos órgãos SEINFRA, APAC, SDA e COMPESA em abril e maio de 2020.

Foram disponibilizadas, pela SEINFRA/SERH, as fichas técnicas de visita, cadastro, manutenção e instalação (Anexo A) de todas as visitas realizadas no ano de 2019. Nessa ficha há informações de quantidade de famílias atendidas, localização do equipamento, tipo de equipamento e quantidade de membranas utilizadas, profundidade e vazão do poço, além das informações sobre a quantidade de água produzida por cada sistema e características das águas bruta, dessalinizada e concentrada (salina).

O material disponibilizado contém ainda informações sobre a destinação da água concentrada, que também é produto da dessalinização. Por meio da ficha de manutenção foi possível, também, verificar os principais motivos de paralisação dos sistemas, assim como suas principais necessidades de manutenção, além dos custos com a mesma. Foram analisadas informações como quantidades de sistemas por município, funcionalidade dos equipamentos e motivos que levam ao não funcionamento.

A partir das informações obtidas, foi realizada uma descrição de como se encontra o contexto de instalação, uso e manutenção de sistemas de dessalinização no Estado de Pernambuco, bem como a elaboração de uma proposta de critérios para instalação de novos sistemas e/ou realocação de sistemas existentes. Também foi descrita uma proposta de manutenção desses sistemas, de acordo com as necessidades e características das localidades em que os sistemas estiverem implantados.

3.2 Avaliação de comunidades com estudo prévio referentes ao relatório consolidado dos Sistemas de Saneamento Rural (SSR) do Governo do Estado

No início de 2017, o Governo do Estado de Pernambuco, através da então Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE), buscou fazer um diagnóstico da gestão do saneamento básico (sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário) na zona rural do estado de Pernambuco, para elaborar uma proposta de Modelo de Gestão para esses sistemas. O processo de elaboração do estudo contou com oito produtos, resultantes de cada uma das fases vivenciadas pela equipe (SEINFRA/SERH, 2018).

O “Estudo de Modelos de Gestão de Sistemas Rurais de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário para o Estado de Pernambuco”, elaborado pelo Governo do Estado de Pernambuco, dispôs da construção de um Relatório Consolidado dos Levantamentos dos Sistemas de Saneamento Rural do Estado. Esse relatório possui informações das comunidades visitadas *in loco*, sobre como estavam sendo geridos os sistemas de saneamento básico nessas localidades rurais, dentre eles os sistemas de dessalinização (SEINFRA/SERH, 2018).

A publicação final informa também que os municípios que compuseram a amostra foram escolhidos de modo que houvesse representatividade das diversas regiões do estado, além de englobar comunidades rurais que receberam investimento de diferentes programas governamentais. Assim, foram visitadas 76 comunidades em 34 municípios do estado. Foram cedidas pela SEINFRA/SERH informações pertinentes aos diferentes produtos desse estudo; e o produto 5b – visitar prefeituras e comunidades com projetos governamentais para realizar diagnóstico *in loco* – apresentou informações úteis ao desenvolvimento dessa pesquisa.

O relatório consolidado dos Sistemas de Saneamento Rural (SSR) do Governo do Estado possui dados de localização das comunidades, quantidade de famílias que as habitam, renda média das famílias e programas que beneficiaram a comunidade com algum tipo de infraestrutura. Também foram encontradas informações sobre como é realizado o abastecimento de água das comunidades, o tipo de esgotamento sanitário existente e, ainda, informações sobre custos com os sistemas implantados.

Projetos com dessalinizadores fazem parte de um conjunto de medidas que tem como finalidade levar abastecimento de água a comunidades no interior do Estado. Por esse motivo, foram verificadas no relatório as localidades que compuseram o estudo que coincidia com o plano de manutenção dos dessalinizadores da SEINFRA/SERH. Assim, foi possível obter mais informações sobre as comunidades a qual eles pertencem e fazer uma correspondência com as informações já obtidas desses sistemas, através das fichas de manutenção dos dessalinizadores, do ano de 2019.

Essa correspondência buscou analisar o status e condições de funcionamento dos sistemas de dessalinização em comum aos dois universos, nos anos 2018 e 2019, além de

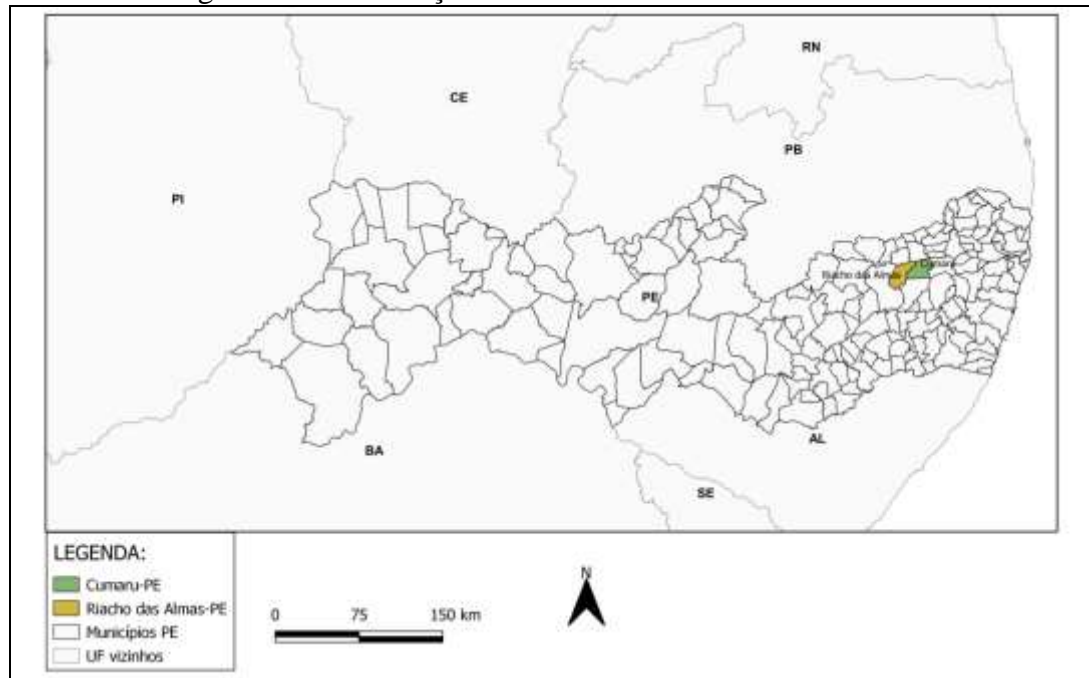
perceber como estão as ações de abastecimento de água em comunidades rurais no interior do Estado de PE. As informações coletadas nesse item foram importantes também na elaboração das propostas de instalação de novos sistemas e manutenção dos existentes.

3.3 Identificação de estudo de caso: os municípios de Riacho das Almas e Cumaru

A partir de todas as considerações obtidas através dos itens anteriores, foi realizada uma pesquisa de campo nos municípios com quantidade relevante de sistemas de dessalinização em funcionamento. A realização dessa pesquisa contou com visitas às comunidades para averiguar o funcionamento do dessalinizador no local e a importância do mesmo para as famílias abastecidas pela água por ele tratada.

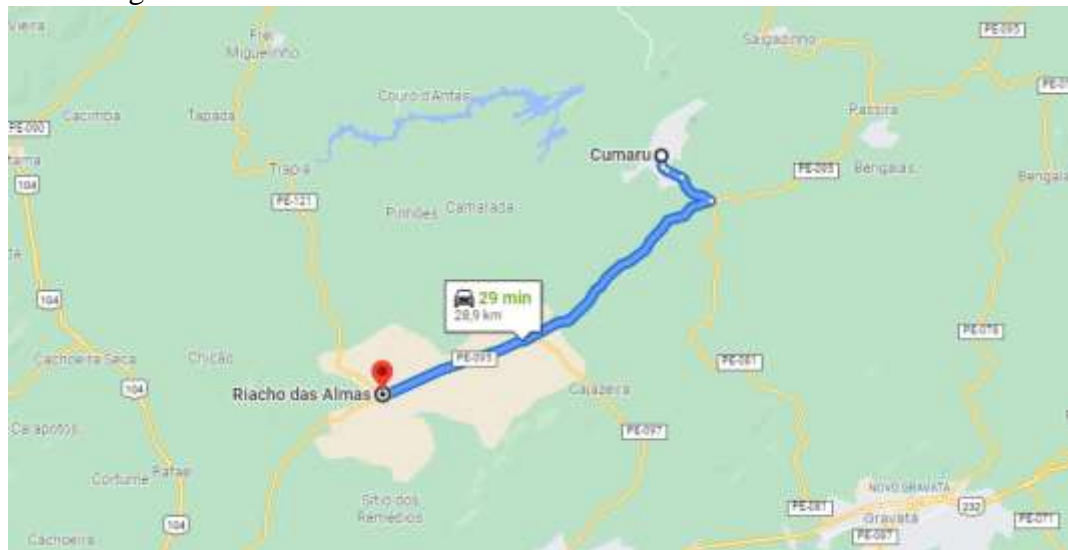
Cumaru localiza-se a 90,56 km de Recife (capital de Pernambuco), possui 292,2 km² de área territorial e população estimada de 10.192 habitantes (IBGE, 2020). Riacho das Almas é um município vizinho a Cumaru, com 28,9 km de distância entre elas (percurso de condução), possui 314,0 km² de área e população estimada de 20.646 pessoas, de acordo com as estimativas do IBGE (2020). Ambos os municípios estão localizados na mesorregião do Agreste do estado de Pernambuco e possuem como bioma característico a Caatinga. As Figuras 22 e 23 ilustram a localização dos municípios.

Figura 22 - Localização Cumaru e Riacho das Almas em PE.



Fonte: Autora.

Figura 23 - Distância entre as sedes de Cumaru e Riacho das Almas.



Fonte: Google (2021).

No município de Riacho das Almas, onde estão instalados 20 dessalinizadores de osmose reversa – de acordo com o levantamento de 2019 –, foi observado o impacto dos sistemas no desenvolvimento das localidades beneficiadas com o sistema de dessalinização instalado.

A escolha desse município é justificada pelo envolvimento e receptividade da prefeitura, que facilita a entrada e coleta de informações nas comunidades. As localidades desse município apresentam sistemas de dessalinização com estrutura simples e cabinada. Nele também está locado o único dessalinizador funcionando com energia solar do estado. Também possui sistemas com tanques de destinação da água salina.

O município de Cumaru tem 25 equipamentos entre os que funcionam e os que estão paralisados, de acordo com o relatório de 2019. Possui como particularidade um dessalinizador abastecendo um hospital, onde foi investigado o uso da água do dessalinizador nesse hospital, além das particularidades dos sistemas de estrutura simples e cabinada que também fazem parte do acervo do município.

Nesses municípios com elevada taxa de sucesso dos sistemas de dessalinização, foram visitadas localidades que possuem equipamentos em pleno funcionamento e também as que possuem equipamentos paralisados, a fim de identificar as características que são importantes para o bom e constante funcionamento do sistema. As informações coletadas nessas visitas foram importantes para a escolha e definição de critérios a serem considerados como indispensáveis na escolha de novas localidades para a implantação de novos sistemas, pelo estado.

As visitas ocorreram a partir da parceria com a SEINFRA, com ofício encaminhado às prefeituras dos municípios, a fim de garantir a colaboração dos seus gestores. No dia 03 de dezembro de 2020, realizou-se uma visita experimental, para o planejamento da quantidade de dias necessários a coleta de informações.

Assim, no mês de janeiro de 2021, nos dias 27 e 29, foram visitadas as comunidades com sistemas de dessalinização do município de Cumaru. Nos dias 25 de janeiro e 04 de fevereiro de 2021 ocorreram as visitas às comunidades do município de Riacho das Almas. Em ambos os municípios as visitas foram acompanhadas por gestor ou funcionário da prefeitura local.

Nas comunidades com sistemas de dessalinização em funcionamento foi realizada coleta de água do poço, da água permeada – produto da dessalinização que é utilizada como água potável e da água concentrada – produto da dessalinização com alta concentração de sais. A coleta foi realizada em garrafas de água mineral de 300 ml,

identificadas com o código da localidade, nome e a designação do conteúdo a ser acomodado em cada um dos recipientes (Figura 25).

Figura 24 - Material usado na coleta de água do sistema de dessalinização.



Fonte: Acervo pessoal.

As amostras de água foram analisadas no laboratório de Física dos Solos do Centro e Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco. Foram realizadas as análises de Condutividade Elétrica e Teor de Sólidos Totais Dissolvidos.

Foi considerado o cálculo da eficiência de remoção de sal a partir da CE e do STD. Isso se deu por meio da relação entre esses parâmetros relativos as amostras de água permeada resultante da dessalinização e da água do poço, conforme esclarecido nas Equações 3 e 4. Essa medida foi encontrada para verificar o quão próximos são os valores de eficiência a partir dos dois parâmetros e verificar a existência de discrepância no uso de um ou de outro tipo de dado.

$$E_{CE} = \left(1 - \frac{CE_{\text{permeado}}}{CE_{\text{poço}}} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

E_{CE} : eficiência na remoção de sais, por meio da CE, em percentagem;
 CE_{permeado} : condutividade elétrica da amostra de água permeada do dessalinizador, em $\mu\text{S}/\text{cm}$;
 $CE_{\text{poço}}$: condutividade elétrica da amostra de água permeada do poço da localidade, em $\mu\text{S}/\text{cm}$;

$$E_{STD} = \left(1 - \frac{STD_{permeado}}{STD_{poço}}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

E_{STD} : eficiência na remoção de sais, em percentagem;

$STD_{permeado}$: quantidade de sólidos totais dissolvidos da amostra de água permeada do dessalinizador, em mg/L;

$STD_{poço}$: quantidade de sólidos totais dissolvidos da amostra de água permeada do poço da localidade, em mg/L.

Por fim, foi encontrada a eficiência mínima para alcançar os 500 mg/L, nas mesmas localidades onde o sistema de dessalinização produziu água permeada com STD acima desse limite, numa única dessalinização. Na Equação 5 observa-se como foi simulada essa eficiência mínima necessária para alcançar a potabilidade, com os dados originais, frutos das amostras coletadas em campo.

$$E_{nec} = \frac{STD_{poço} - 500}{STD_{poço}} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

E_{nec} : eficiência mínima necessária para alcançar os 500 mg/L do permeado, em percentagem;

$STD_{poço}$: quantidade de sólidos totais dissolvidos da amostra de água permeada do poço da localidade, em mg/L.

3.4 Avaliação dos custos de manutenção, implantação e operação dos sistemas de dessalinização

3.4.1 Custos de manutenção 2019

Com os dados obtidos a partir das visitas de manutenção dos dessalinizadores – referente ao ano de 2019 – coordenadas pela SEINFRA, foram avaliados os custos de manutenção dos equipamentos encontrados nos municípios do Estado. Esse custo de

manutenção obtido foi utilizado como base para a composição de custo da água dessalinizada em PE.

Para as localidades que possuem - no relatório, dados de vazão de água potável produzida pelo equipamento, foi encontrada a relação custo de manutenção/litro de água produzida (R\$/litro) para os gastos de 2019. Para tal, considerou-se o uso dos equipamentos para produção de água durante 05 (cinco) dias da semana, com funcionamento de 04 (quatro) horas.

3.4.2 Estimativa de custo de dessalinização

A fim de encontrar um valor que se aproxime da realidade financeira que envolve um sistema de dessalinização, foi estimado o custo de dessalinização para o uso de um dessalinizador no estado de PE. Esse Custo (C) foi calculado a partir da soma de três partes: Custo de Implantação (CI), Custo de Manutenção (CM) e Custo de Operação (CO).

A primeira parte do custo do litro da água dessalinizada está relacionada com a implantação do sistema – Custo de Implantação (CI). Para a estimativa do CI foram inclusos nos serviços e materiais: análise físico-química e bacteriológica da água do poço, teste de vazão, equipamento de dessalinização com diferentes capacidades de vazão, kit fotovoltaico e instalação do sistema.

Considerou-se o equipamento de dessalinização de estrutura cabinada, que, por sua compacidade, tende a amenizar os custos relacionados ao abrigo do equipamento. Esse benefício é possível, pois o equipamento é protegido por cabine metálica, dispensando a execução e reparos em estruturas de alvenaria.

Os preços dos equipamentos e serviços, ofertados por 03 (três) empresas atuantes no estado de Pernambuco, foram considerados na composição do custo de implantação do sistema de dessalinização. Para o preço final, foi considerada a mediana do preço de cada um dos serviços e materiais. Os valores apresentados referem-se aos preços de mercado

do primeiro semestre de 2021³. A instalação do sistema foi orçada com base na SINAPI 03/2021.

Foi realizada ainda uma análise da implantação do painel fotovoltaico, para que os dessalinizadores funcionem sob a ação da energia solar. Essa realidade está presente no Sítio Camorim 2, localidade do município de Riacho das Almas/PE. A implantação do sistema solar foi considerada como item componente dos custos de implantação, com o intuito de incentivar práticas sustentáveis e a redução/eliminação dos custos com fornecimento de energia para o funcionamento do sistema.

A potência do kit fotovoltaico foi definida a partir do catálogo de uma empresa distribuidora de produtos para energia solar fotovoltaica. Um kit com 2 CV de potência, é suficiente para atingir uma altura manométrica de até 110 m e vazão de bombeamento de até 45.720 L/dia, considerando 5 horas de funcionamento por dia de sol pleno (NEOSOLAR, 2021).

A segunda parte, componente do custo do litro de água dessalinizada, refere-se ao Custo de Manutenção (CM) do sistema. O documento base do PAD (BRASIL, 2012) traz como serviços de manutenção de um sistema: troca de filtros de cartucho, limpeza química das membranas, manutenção de bombas elétricas, substituição de peças defeituosas, reparos nas tubulações, consertos nas bombas como troca de selo mecânico e rolamentos, calibração dos instrumentos de medidas e limpeza dos recipientes de retrolavagem e da solução de anti-incrustante.

O documento supracitado apresenta um quadro (Quadro 4) de custos de manutenção e serviços de operação para o funcionamento de um dessalinizador com produção de 1 m³/h durante o período de 01 (um) ano. Para chegar ao CM, foram considerados os tipos de serviços realizados para manutenção dessa tabela, assim como a frequência de realização dos mesmos. Os serviços de operação (energia elétrica e salário do operador) serão tratados posteriormente. Também será discutida separadamente a

³ A cotação de análises físico-química e bacteriologia, teste de vazão e do dessalinizador, de empresas atuantes em PE, disponibilizados pela SEINFRA/SERH, para o mês abril/2021.

visita de técnicos, visto a impossibilidade da frequência mensal de visita a todos os dessalinizadores presentes no estado.

Quadro 4 - Custos de manutenção e serviços de operação de um dessalinizador⁴.

Serviços	Jan	Fev	Mar	Abr	Mal	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Troca de filtros de cartucho	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Manutenção de bomba (troca de selo mecânico, rolamentos)			80,00			80,00			80,00			80,00
Anti-incrustante para membranas		90,00			90,00			90,00			90,00	
Limpeza química de membranas	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67
Manutenção de tubulações hidráulicas	20,00			20,00			20,00			20,00		
Energia Elétrica	105,82	95,74	110,86	95,74	100,78	95,74	115,90	105,82	105,82	105,82	100,78	110,86
Salário do operador	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00	678,00
Troca de membranas (em 5 anos)	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00
Visita de técnicos 1 técnico)	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08	103,08
Total (R\$)	1.038,07	1.097,99	1.103,10	1.027,99	1.103,03	1.087,99	1.048,14	1.108,07	1.098,07	1.038,07	1.103,03	1.103,10

Fonte: Brasil (2012).

A atualização dos custos da tabela foi realizada por meio dos custos dos serviços prestados no ano de 2019 aos sistemas de dessalinização presentes em Pernambuco. A frequência, no entanto, foi mantida, apesar do conhecimento de que serviços como a troca de filtros de cartucho têm funcionado com frequência trimestral. A troca de membranas - sugerida a cada 5 anos - foi considerada para um sistema de vazão 1 m³/h como o uso de 03 (três) membranas semipermeáveis de osmose reversa. Esse custo foi dividido de forma que o valor da troca seja obtido ao longo de 05 anos.

Para obter o custo de manutenção de tubulações hidráulicas, optou-se por considerar como custo a soma de todos os itens relacionados a parte hidráulica do sistema, presentes nas manutenções realizadas em 2019. Apesar de essa situação ser

⁴ De acordo com o documento base do PAD (2012).

considerada uma raridade, outros custos com reparos ligados, por exemplo, à rede elétrica ou reservatórios de água podem ser cobertos por essa consideração.

O Custo de Operação (CO), terceira parcela do item custo (C), foi constituído a partir dos itens: energia elétrica e salário do operador. O custo com energia elétrica foi obtido a partir de consulta aos gestores municipais e o salário do operador, baseado no salário mínimo corrente no Brasil. É válido ressaltar que, além desses, peças e serviços também sofrem reajustes e, portanto, os valores aqui apresentados são estimativas relacionadas com a realidade do presente momento.

A estimativa da produção anual de água permeada foi realizada a partir das características de funcionamento do dessalinizador da localidade Assentamento Gavião (Cumaru/PE). Tal escolha é justificada com o fato dele ser um dos equipamentos mais recentes instalados pelo Governo do Estado, apresentando bom funcionamento e bons cuidados, por parte de seu operador. O dessalinizador que funciona por meio de painel fotovoltaico, do sítio Camorim 2 em Riacho das Almas, não foi utilizado como parâmetro por ter maior tempo de instalação que o do Assentamento Gavião e por não ser possível garantir que a troca de operador, ocorrida no início de 2021, não tenha causado alterações em seu funcionamento.

O dessalinizador - osmose reversa, escolhido tem estrutura cabinada, uma vazão de água permeada de 20 L/min (1.200 L/h) e trabalha com 03 (três) membranas semipermeáveis de osmose reversa. Para o volume anual de água dessalinizada produzida pelo sistema, foi considerado um ano com 264 dias (22 dias úteis por mês), e equipamento com 4 h de funcionamento diário, de segunda a sexta-feira.

3.5 Percepção e recomendações para a operação, manutenção e instalação de novos sistemas

De posse da análise das características dos sistemas de dessalinização e das informações coletadas e observadas durante as visitas, foi elaborado um planejamento para operação e manutenção dos dessalinizadores em operação no Estado.

O documento base do Programa Água Doce (BRASIL, 2012) tem como metodologia para a implantação de novos sistemas de dessalinização o Índice de Criticidade de Acesso a Água (ICAA) que cria um *ranking* entre os municípios, para que sejam atendidos por ordem de prioridade por ele estabelecida. Dessa forma, todas as localidades de um município com dificuldade de acesso à água são atendidas por etapa do projeto, passando em seguida para o próximo município e seguindo até a finalização do edital.

O plano para a instalação de novos sistemas, recomendado por este documento, diferencia-se do empregado pelo PAD por levar em consideração a necessidade específica de cada localidade, independente do município. Dessa forma, as localidades necessitadas de um sistema de dessalinização, que possam não ser representadas pela necessidade do município na qual estão inseridas político-geograficamente, poderão ser atendidas de acordo com a real necessidade da localidade.

Os planos de operação e manutenção, por sua vez, têm por principal embasamento a realidade encontrada nos municípios de Riacho das Almas e Cumaru, durante as visitas realizadas e recomendações de Costa (2018) e , onde foi possível perceber a realidade vivenciada nas comunidades. Esses planos têm a finalidade de facilitar a dinâmica de operação dos sistemas, assim como a manutenção e sustentabilidade dos sistemas em funcionamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

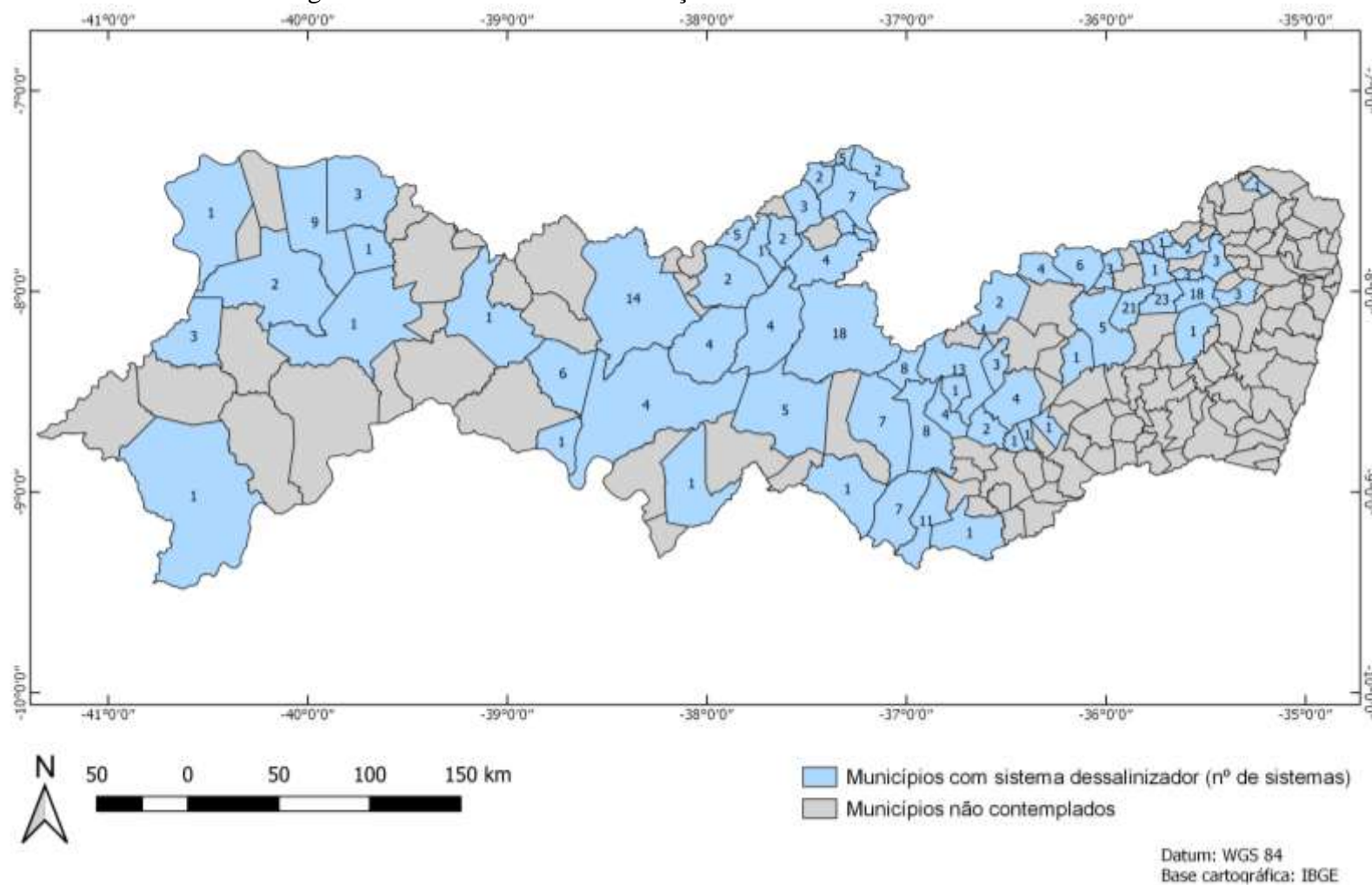
4.1 Os sistemas de dessalinização do estado

A seguir, caracteriza-se os dessalinizadores do Estado, a caracterização dos dessalinizadores do estado, feita a partir da análise dos dados coletados nos relatórios das visitas técnicas, realizadas as comunidades que, de acordo com a SEINFRA/SERH, possuíam sistema de dessalinização no ano de 2019.

4.1.1 Funcionamento

No ano de 2019 foram realizadas 409 visitas a 292 localidades dos municípios de Pernambuco, incluindo dois hospitais e uma Escola Técnica, no período de fevereiro a dezembro. Algumas localidades receberam mais de uma visita ao longo do ano. Essas visitas ocorreram em 63 municípios da região semiárida do Estado, estando a distribuição das localidades nos municípios apresentada na Figura 25.

Figura 25 - Sistemas de dessalinização do estado de Pernambuco.



Fonte: SEINFRA/SERH (2019) ⁵.

⁵ Mapa disponibilizado por colaboradores da SEINFRA.

A partir da Figura 25, percebe-se que sistemas de dessalinização estão distribuídos em municípios ao longo de toda a extensão do Estado de Pernambuco. Em 2019, foram visitadas 292 localidades distintas a fim de realizar manutenção nos dessalinizadores. Dessas, foi possível perceber que 07 (sete) não possuem o dessalinizador, por ter sido realocado ou removido do local. Logo, Pernambuco conta com 285 localidades que possuem dessalinizadores.

Por meio da Figura 26, pode-se observar que os municípios com maior quantidade de localidades visitadas por possuírem sistemas de dessalinização são Cumaru, Riacho das Almas e Sertânia, que possuem a partir de 20 localidades com sistemas, enquanto muitos outros municípios possuem apenas uma localidade com dessalinizador.

Em algumas localidades foi possível realizar mais de uma visita técnica ao longo do ano, permitindo a realização de ajustes nos sistemas e proporcionando acompanhamento detalhado dos mesmos ao longo das visitas. A Tabela 3 mostra quais as comunidades que receberam mais de uma visita, assim como a quantidade de visitas.

Tabela 3 - Quantidade de localidades com mais de uma visita.

Município	Total de localidades	Localidades com mais de uma visita
Águas Belas	7	2
Arcoverde	7	2
Buíque	5	3
Cumaru	25	6
Glória de Goitá	3	1
Iati	11	11
Itaíba	1	1
Jataúba	2	1
Lajedo	1	1
Limoeiro	3	3
Pedra	8	7
Pesqueira	15	12
Riacho das Almas	21	5
Sanharó	3	3
São Bento do Una	4	3

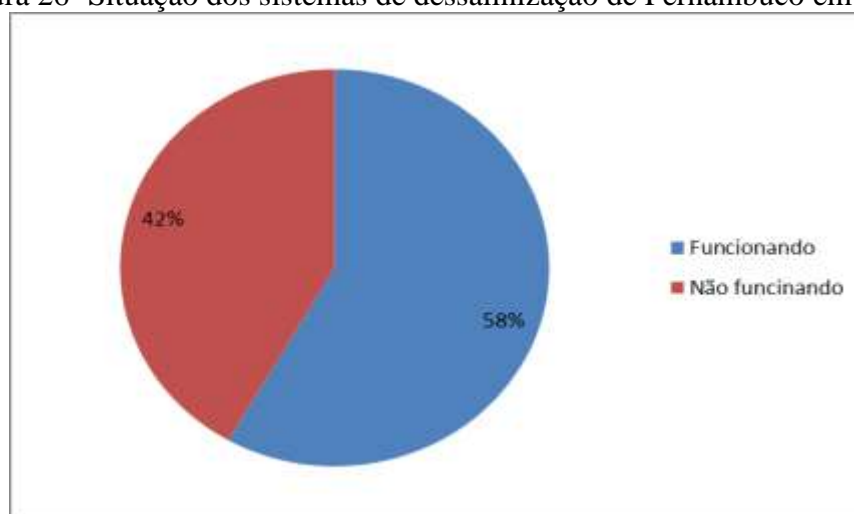
São Caetano	1	1
Surubim	4	1
Tacaratu	1	1
Venturosa	8	3
Vertente do Lério	1	1
Vertentes	3	3

Fonte: SEINFRA/SERH (2019).

A quantidade de visitas a essas comunidades variou de duas a cinco por comunidade. Nas visitas, foi realizada a complementação de serviços essenciais ao bom funcionamento dos sistemas de dessalinização da localidade. No Sítio Camorim 2, por exemplo, situado no município de Riacho das Almas a primeira visita diagnosticou que o equipamento estava sem funcionar, pois a bomba do poço estava queimada. A segunda visita serviu para a instalação da bomba e retorno do funcionamento do sistema.

No ano de 2019 todas as comunidades foram visitadas pelo menos uma vez, contudo, nem todas puderam ser visitadas mais de uma vez, e as 71 comunidades que receberam mais de uma visita representam apenas 24,3% do total visitado durante o ano. Por esse motivo, nem todos os sistemas de dessalinização apresentam sucesso de funcionamento, como pode ser observado na Figura 26. Para tal avaliação, as localidades que receberam mais de uma visita foram contadas com o status da última visita realizada.

Figura 26- Situação dos sistemas de dessalinização de Pernambuco em 2019.



Fonte: EINFRA/SERH (2019).

Do total de 285 sistemas de dessalinização no Estado, foi observado que 165 sistemas estão em funcionamento, 120 sistemas estão sem funcionamento, entre eles um que foi retirado da localidade por recusa do dono da propriedade e um de uma futura instalação, de acordo com os relatórios técnicos de visita. As causas do não funcionamento dos sistemas estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Causas de não funcionamento dos equipamentos parados.

Motivo de não funcionamento	Quantidade
Poço seco ou com vazão insuficiente	18
Equipamento em péssimas condições	15
Sem bombas ou bombas quebradas	20
Poço entupido ou com água suja	3
Falta de operador	2
Sem instalação elétrica	8
Falta de energia	16
Problemas na estrutura física ou falta de equipamentos	9
Dessalinizador com membranas saturadas	11
Dessalinizador disponível no local, mas nunca instalado	4
Comunidade abastecida por empresa concessionária de água	1
Poço da comunidade é usado para abastecimento de toda a cidade	2
A Propriedade com dessalinizador instalado foi vendida e novo dono se recusa a usar a água do poço para abastecer a população	1
Dessalinizador retirado por exigência do dono da propriedade	1
Localidade de futura instalação	1
Sem informação	8
Total	120

Fonte: Adaptado de SEINFRA/SERH (2019).

As principais causas de não funcionamento dos sistemas de dessalinização, identificadas no ano de 2019, estão relacionadas a problemas com as bombas elétricas que permitem o funcionamento do sistema, à baixa capacidade dos poços e das paralisações causadas por péssimas condições do equipamento instalado, necessitando de reforma. As bombas são um dos equipamentos mais dispendiosos e delicados do sistema,

visto que, além de energia, precisam de manutenção frequente e a sua durabilidade depende também da correta operação.

O segundo maior motivo de paralisação de sistemas é a insuficiente vazão do manancial subterrâneo (15% das causas). A vazão ideal para a instalação de um dessalinizador é a partir de 2 m³/h ⁵. Devido à extrema necessidade de muitas comunidades que não tem acesso à água, esses equipamentos são instalados com vazões a partir de 1,5 m³/h ⁶. A vazão dos poços tubulares dessa região, geralmente, é pequena e o poço pode vir a secar completamente, levando à paralisação do sistema.

O ideal é a realização de teste de vazão previamente à instalação desse tipo de sistema, para avaliar a vazão disponível e diminuir o risco de instalação em local que o poço tenha risco de secar. Entretanto, os testes tem custo relativamente alto e, em alguns casos, o interesse político em beneficiar determinada localidade se superpõe aos aspectos técnicos. Em outros casos, a necessidade de água local é tão extrema que sistemas são instalados até com vazão de pelo menos 1 m³/h, para que haja o mínimo de abastecimento possível ⁵.

A falta de energia é acarretada principalmente pelas despesas com a conta a ser paga. Em certas comunidades a energia no sistema foi ligada, mas cortada depois de algum tempo por falta de pagamento, em outras a ligação nunca foi realizada. A responsabilidade do município, no que diz respeito ao suprimento de água e energia elétrica, indica que os custos das despesas de energia do sistema de abastecimento de água devem ser assumidos pela prefeitura local, em parceria e consenso com a comunidade beneficiada.

A falta de energia, que é característica de cerca de 20% dos sistemas sem funcionamento, é exemplificada na Figura 29 e explicita que a ligação elétrica e colocação do quadro de energia, que são responsabilidade da concessionária de energia elétrica mediante solicitação da comunidade, não chega sequer a ser considerada em algumas comunidades. Os custos de energia com a utilização do dessalinizador ainda são

⁶ Informações obtidas através do Geólogo envolvido com as ações em sistemas de dessalinização da SEINFRA/SERH, em maio/2021.

considerados um impecilho no uso do sistema, visto que a conta necessariamente precisa ser paga, mas não há um esclarecimento de quem é a responsabilidade com esse custo.

Figura 27 - Quadro de energia, sem ligação, no Sítio Cupim - Ouricuri/PE.



Fonte: SEINFRA/SERH (2019).

Outras causas que acarretam na paralisação de dessalinizadores são as péssimas condições do equipamento. Dentre os fatores que permitem que os equipamentos sejam classificados como em péssimas condições estão: vasos rachados, sujeira, ferrugem, tubulações quebradas, entre outros. As Figuras 30 e 31 apresentam as condições de um equipamento que precisa de reforma.

Figura 28 - Equipamento em péssimas condições no Sítio Fazenda do saco II – Serra Talhada/PE.



Fonte: SEINFRA/SERH (2019).

Figura 29 - Equipamento e abrigo em más condições no loteamento Monte Alegre – Iguaraci/PE.



Fonte: Acervo SEINFRA/SERH (2019).

Nas Figuras 30 e 31 observa-se problemas de falta de cuidado com o equipamento e com o abrigo, respectivamente. Na Figura 30 ilustra-se uma das comunidades que apresenta como motivo de reforma “equipamento em péssimas condições”. Na imagem é possível observar muito ferrugem e desgaste das peças do dessalinizador, manifestações que ocorrem devido a falta de cuidado e manutenção com o equipamento.

Na Figura 31 evidencia-se, além de um dessalinizador em nítido descaso, um abrigo em alvenaria em situação crítica, com muita sujeira e problemas no reboco e, possivelmente, na estrutura e coberta do local, além da falta de proteção evidenciada pela porta em situação de degradação. Diante dessa imagens, torna-se necessário pensar sobre a importância do cuidado e manutenção dos dessalinizadores do estado.

Algumas localidades ainda acumulam mais de um motivo para a paralisação do sistema, como por exemplo, equipamento em péssimas condições e problemas na estrutura física, troca de membranas e falta de equipamentos, entre outras. Para essas, a contabilização do motivo de não funcionamento foi feito apenas uma vez, pelo motivo considerado de maior peso na paralisação. Ao todo, há aparelhos sem funcionar em 42 dos 63 municípios que possuem o sistema em pelo menos uma comunidade.

4.1.2 Estrutura dos equipamentos

Quanto à estrutura do dessalinizador, podem ser encontrados equipamentos de estrutura simples ou cabinada. A estrutura simples é a que necessita de abrigo de alvenaria, enquanto na estrutura do tipo cabinada, o equipamento já vem acoplado em uma estrutura metálica. As Figuras 32 e 33 ilustram as duas estruturas, com equipamentos encontrados nas visitas.

Figura 30 - Dessalinizador de estrutura simples no Sítio Gavião I - Cumaru/PE.



Fonte: SEINFRA (2019).

Figura 31 - Dessalinizador de estrutura cabinada no Assentamento Gavião - Cumaru/PE.



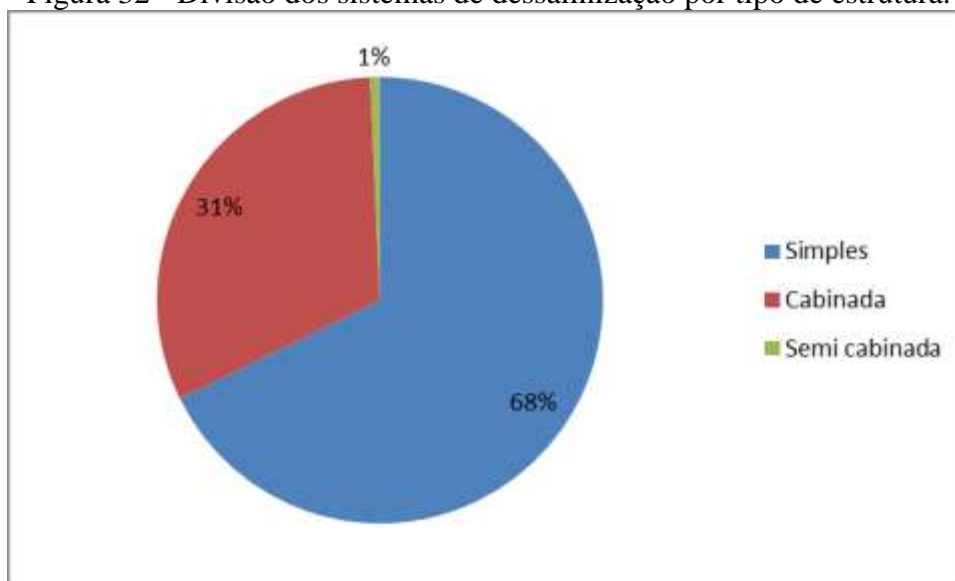
Fonte: Acervo SEINFRA (2019).

Na Figura 30 exibe-se um equipamento de estrutura simples de uma comunidade que tem seu sistema em atual estado de funcionamento, enquanto na Figura 33 apresenta-se um equipamento de estrutura cabinada, também em funcionamento. Percebe-se a diferença de porte físico entre as duas estruturas, onde o primeiro necessita de muito mais espaço e estrutura em alvenaria que o segundo, contudo, em termos de desempenho, não há comprovação de diferença de benefícios ou desvantagens entre as duas estruturas.

Outro aspecto interessante a ser observado na Figura 30 é a boa estrutura física em que se encontram o abrigo e as peças componentes do dessalinizador, em contrapartida com os mesmos elementos apresentados anteriormente (Figura 31) de um equipamento sem funcionamento.

Os equipamentos de estrutura simples (abrigados por alvenaria) representam 68,77% (196 sistemas) da quantidade de equipamentos no Estado. Na Figura 32 mostra-se a divisão da quantidade de estrutura por tipo, em Pernambuco. Dos 285 dessalinizadores presentes no estado atualmente, 30,53% (87 equipamentos) possuem estrutura cabinada, outros dois semi cabinada (0,7%). Esse tipo de estrutura permite que o equipamento fique agrupado em uma estrutura metálica, no entanto, sem proteção (Figura 33).

Figura 32 - Divisão dos sistemas de dessalinização por tipo de estrutura.



Fonte: Autora.

Figura 33 - Dessalinizador de estrutura semi cabinada na localidade Cacimão - Pesqueira/PE.



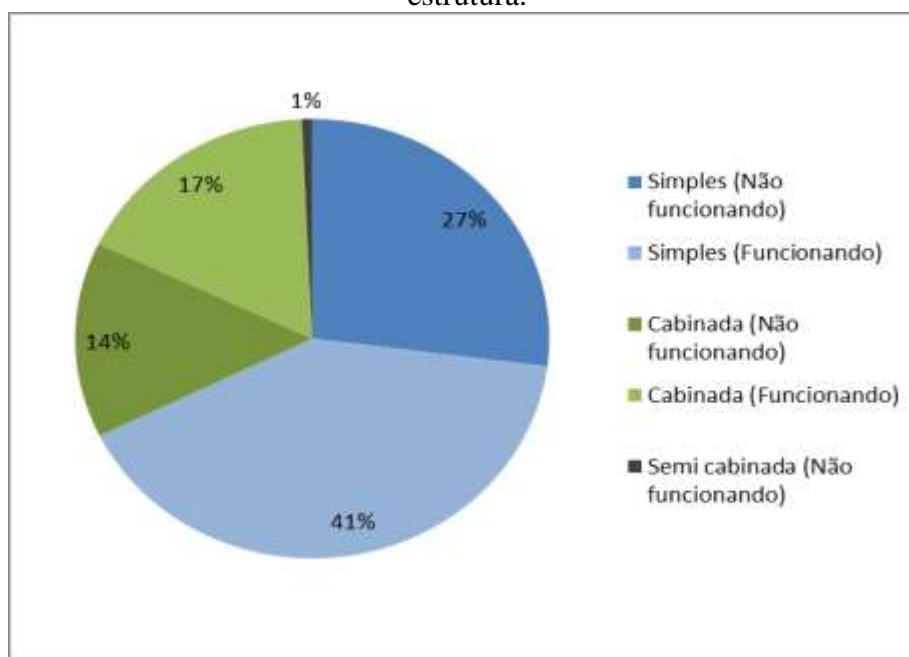
Fonte: SEINFRA (2019).

Nesse tipo de estrutura apresentada na Figura 33, apesar da compacidade do equipamento, ele possui a desvantagem de necessitar de um abrigo de alvenaria, onde a principal vantagem de um dessalinizador de estrutura cabinada é a dispensa do espaço físico de qualidade para acondicioná-lo de maneira segura e permitindo a integridade de todos os seus elementos componentes.

Dos sistemas de estrutura simples, 76 não estão funcionando; entre os cabinados, 49 estão em funcionamento, e os outros 41, não funcionando. Os dois de estrutura semi-cabinada estão sem funcionar. A paralisação desses sistemas segue os motivos de não operação descritos na Tabela 4, que vão desde a falta dos elementos auxiliares ao sistema, como caixas de água, passando pela insuficiência dos mananciais subterrâneos e problemas com energia e bombas de recalque, até a não instalação de maquinário adquirido.

Ao observar o tipo de estrutura e o funcionamento dos dessalinizadores, é possível perceber que os equipamentos de estrutura simples apresentam maior usabilidade no Estado, visto que 71% dos que estão em funcionamento são de estrutura simples e, do total de equipamentos presentes no Estado, a maioria continua sendo desse tipo de estrutura com 41%, como mostra a Figura 34.

Figura 34 - Situação dos sistemas de dessalinização por funcionamento e tipo de estrutura.



Fonte: Autora.

4.1.3 População atendida pelos sistemas

O relatório apresenta a informação da quantidade de casas que são beneficiadas com os sistemas de dessalinização nas localidades, permitindo a estimativa da quantidade

de pessoas que são atendidas por essa tecnologia no Estado. Em 27 dos locais que possuem dessalinizador, no entanto, não foi possível obter a quantidade de casas usuárias.

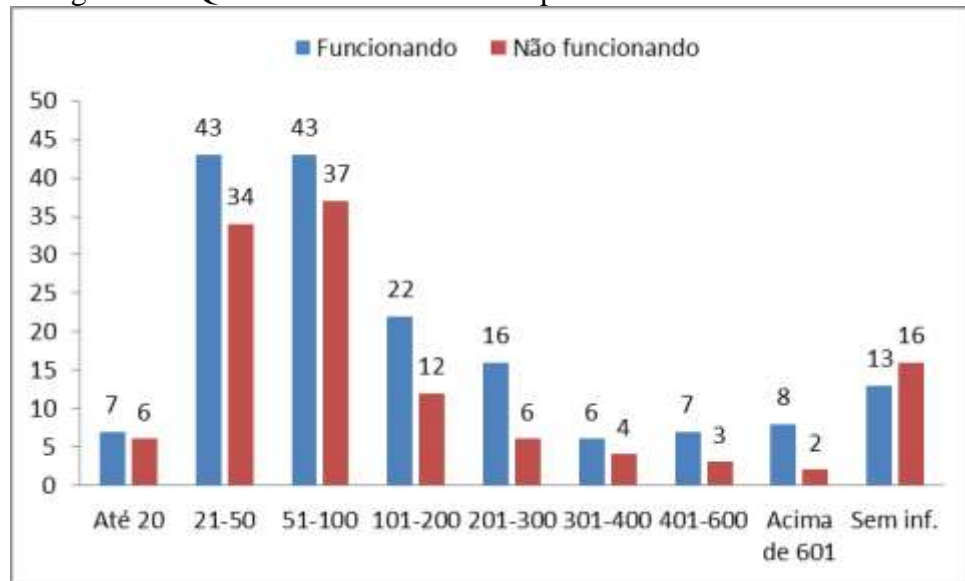
A escola técnica de Pesqueira conta com uma população de 1800 pessoas; dos quais, 1500 são estudantes que contam com uma área contruída de cerca de 20 mil m² no total⁷. Um dos hospitais (localizado em Cumaru) não apresenta essa informação e o outro, em Passira, tem população de 130 pessoas, no entanto está com o sistema sem funcionamento por falta da instalação da bomba de recalque e do quadro de máquina.

Quase 28 mil casas em todo o estado são beneficiadas com os dessalinizadores e cerca de outras 12,6 mil podem ser, com o funcionamento dos equipamentos que estão parados, em comunidades que atendam os requisitos para instalação - como a vazão suficiente no poço. Esses números refletem a importância da manutenção corretiva e preventiva desses sistemas, para o abastecimento de milhares de pessoas que necessitam de água de qualidade, todos os dias. Considerando a quantidade de 4 pessoas por família, mais de 112 mil pessoas já são abastecidas com água dessalinizada e outras 50,4 mil esperam pelo abastecimento com o funcionamento dos maquinários sem uso.

A média da quantidade de casas usuárias das demais localidades é de 151 casas/local. A maior quantidade de casas foi identificada na localidade Centro-Nova Esperança e a menor quantidade no Sítio Riacho do Uruçu, ambos no município de Riacho das Almas. Na Figura 35 apresenta-se a quantidade de localidades por intervalos de quantidade de casas usuárias.

⁷ Informações obtidas no site da instituição: <https://www.ifpe.edu.br/campus/pesqueira/o-campus>, em 14 set. 2020.

Figura 35 - Quantidade de localidades por intervalo de casas usuárias.



Fonte: Autora.

A partir das informações contidas na Figura 35, percebe-se que a maioria das comunidades possui entre 21 e 100 casas usuárias dos sistemas de dessalinização. Esse número é comum independente de sistemas em funcionamento ou não. As informações apresentadas na Figura 35 permitem afirmar a eficiência de um dessalinizador, no objetivo de atingir comunidades difusas. Levando em consideração a quantidade de casas do local, devido à proximidade entre os números de comunidades com sistemas em ativos e em paralisação, reforça-se a importância do funcionamento dos equipamentos paralisados.

4.1.4 Membranas semipermeáveis

Como visto, a dessalinização por osmose reversa depende de membranas semipermeáveis para fazer a remoção dos sais da água e torná-la potável. Todos os sistemas do Estado de Pernambuco fazem uso da OR para o tratamento da água. Nos relatórios de visita técnica foram identificados sistemas com o uso de até 18 membranas. A relação da quantidade de membranas em um dessalinizador é um fator que pode afetar tanto a qualidade da água produzida pelo sistema, quanto os custos de manutenção com o equipamento.

De acordo com o MMA (2012) “a análise sobre o tipo de unidade de membrana que será utilizada depende principalmente da avaliação detalhada da qualidade de água do manancial e de sua variabilidade ao longo do tempo”. Essa análise ocorre nas etapas anteriores à projeção de um sistema de dessalinização para uma localidade, a partir de estudos sobre o manancial de alimentação do sistema a ser implantado.

Analisando os dados de quantidade de membranas e a sua relação com a concentração de sais presentes na água a ser tratada, notou-se que não há um padrão ou intervalo de valor de STD para a quantidade de membranas que são utilizadas nos sistemas atualmente implantados. Também não foram encontradas na literatura, fontes que comprovem uma relação de dependência entre esses dois elementos.

Contudo, mesmo que a quantidade de membranas de um sistema de dessalinização não esteja diretamente relacionada com a quantidade de sais presente na água bruta, essa informação deve ser levada em consideração nos cuidados a serem empregados às membranas em operação em cada sistema. Por exemplo, uma membrana que trata água de um poço cujo STD é de 1000 ppm está exposta a uma quantidade de sais maior que outra que trata uma água com 700 ppm; assim, a primeira precisará de manutenção em intervalos de tempo menores que a segunda. Portanto, a investigação da qualidade da água bruta permite a aplicação de medidas corretas no uso de membranas num sistema.

Nos dessalinizadores implantados e mantidos pela SEINFRA, normalmente são instaladas 03 (três) membranas de 6” (seis polegadas) para vazões de manancial entre 1.500 e 1800 L/h, para a produção de uma vazão de 1000 L/h de água potável. A utilização de uma grande quantidade de membranas encarece muito o sistema, tornando-o, muitas vezes, inviável para as vazões obtidas no interior do Estado.

No arquipélago de Fernando de Noronha, o dessalinizador operado pela Compesa possui uma maior quantidade de membranas devido ao grande volume e a alta salinidade da água do mar por ele tratada⁸. É válido ressaltar que a diferença de STD da água do mar

⁸ Informações obtidas através do Geólogo envolvido com as ações em sistemas de dessalinização da SEINFRA.

para a água salobra encontrada nos poços do semiárido é bastante elevada, tendo a primeira um teor de sais significativamente maior (acima de 35.000 ppm)..

Na Tabela 5 são apresentadas as relações entre a quantidade de sistemas em funcionamento em Pernambuco, e a quantidade de membranas identificadas. A partir dela, podemos verificar que 57,6% dos sistemas (95 dessalinizadores), em funcionamento possuem 03 (três) membranas em seu sistema operacional. A segunda maior quantidade de sistemas (18,8% dos sistemas, 31 dessalinizadores) tem 06 (seis) membranas e verificou-se em apenas um sistema a presença de 18 membranas – no Hospital, em Cumaru. Através das fichas não foi possível perceber o porquê da elevada quantidade de membranas – que pode ser devido aos resultados de análise da qualidade da água ou um cuidado especial, visto que a água seria utilizada num hospital.

Tabela 5 - Quantidade de sistemas em funcionamento x quantidade de membranas.

Quantidade de membranas	Quantidade de dessalinizadores
01	02
02	14
03	95
04	06
05	04
06	31
09	09
18	01
Sem informação	03

Fonte: Autora.

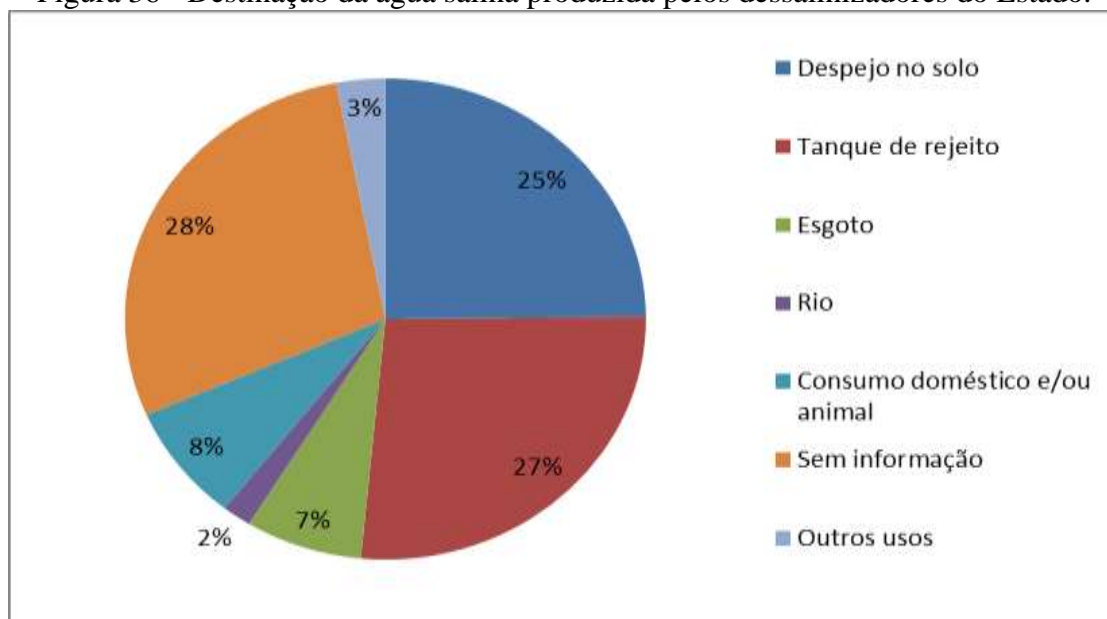
A presença de um operador, que conheça o sistema e a dinâmica de funcionamento do dessalinizador, fará com que o mesmo reconheça o padrão de produção de água potável do sistema, evitando uma parada por causa de problemas com as membranas, como, por exemplo, a incrustação de sais, que é a manifestação patológica mais comum no funcionamento rotineiro do equipamento.

4.1.5 Destinação da água salina

Nas fichas de manutenção existe um campo para a informação do tipo de destinação que é dada à água com teor de STD maior que a própria água bruta, que também é produto da dessalinização e representa cerca de 60% do volume⁹ de água que é introduzido no sistema para passar pelo processo de dessalinização. Ou seja, para cada 1000 litros de água bruta que alimenta o dessalinizador, são produzidos 400 litros de água tratada e 600 litros de água salina.

Visto que um elevado volume de água, com grande concentração de sais, produzido a cada uso do sistema de dessalinização, é de grande importância o conhecimento do uso e destinação dados a esse produto nas comunidades do semiárido pernambucano. Na Figura 36 é apresentado o quadro da destinação desse produto nos sistemas em funcionamento no ano 2019.

Figura 36 - Destinação da água salina produzida pelos dessalinizadores do Estado.



Fonte: Autora.

Como pode ser visualizado na Figura 36, não há informação sobre o destino dado à água salina em boa parte do percentual de destinação final nas comunidades (47 sistemas) visitadas para manutenção. Em 44 (quarenta e quatro) sistemas essa água é destinada a tanques próprios para este fim (27%). Esses tanques são cobertos por lonas impermeáveis que protegem o solo do contato com os sais (Figura 37). Entretanto, a

⁹ Informação dada por gestores responsáveis pelos sistemas de dessalinização na SEINFRA/SERH (2019).

destinação dada a esse produto após a armazenagem nesses tanques não foi identificada em nenhum dos relatórios.

Figura 37 - Tanque de destinação da água salina no Sítio Bento, em Riacho das Almas-PE.



Fonte: SEINFRA (2019).

A partir da Figura 37 é possível constatar que, para a locação de um tanque de rejeito, é necessária a “inutilização” de um espaço físico considerável, que será destinado a preparação do tanque de rejeito, com escavação e impermeabilização para recebimento da água salina. No entanto, essa mobilização pode trazer à localidade que a possui diversos benefícios, que iniciam com o sustentáculo das propriedades do solo e podem chegar ao uso dessa água salina para outras atividades sociais e econômicas.

Outra situação encontrada nas visitas, acerca dos tanques de armazenamento da água salina, é que em algumas comunidades esse tanque não apresenta as condições ideais de uso. Na Figura 38 é possível perceber más condições na lona de proteção do

tanque, expondo o solo à ação dos sais da água. O tanque continuava a ser usado para despejo da água salina, apesar da condição encontrada, onde não funciona como um reservatório, visto que a água se infiltra no solo.

Figura 38 - Tanque de água salina em más condições no Sítio Ramada, em Riacho das Almas-PE.



Fonte: SEINFRA (2019).

Esse tipo de situação visualizada na Figura 38, além de não oferecer proteção adequada ao solo dos sais presentes na salmoura, também não permite o uso dessa água nas atividades da comunidade, sejam elas atividades de uso comum ou que gerem renda para os moradores.

O material que faz a impermeabilização do solo, cobrindo os tanques que recebem a água concentrada, são mantas de PVC pré-fabricadas com 0,89 mm de espessura, resistente a ação dos raios ultravioleta, conforme indicação em Brasil (2012). No entanto, a depender do fabricante, esse tipo de material apresenta em média 05 anos de garantia, necessitando de trocas periódicas, visto que o tempo de utilização de um dessalinizador é superior, dependendo da qualidade de operação e manutenção aplicadas nele. A Figura 41 mostra o detalhe de uma lona em boas condições.

Figura 39 - Detalhe da manta de PVC que faz a cobertura dos tanques de concentrado.



Fonte: Autora.

No gráfico da Figura 36 percebe-se também que o terceiro maior destino do volume de água salina é o solo das comunidades. Para esse destino, é possível perceber que o despejo no solo pode ser feito de duas maneiras, exemplificadas na Figura 38. A primeira delas quando a água é destinada diretamente do dessalinizador no solo (Figura 42a) e a outra quando a capacidade total do reservatório, para o qual a água salina é encaminhada após a dessalinização, atinge a sua capacidade total (Figura 42b).

Figura 40 - Destinação inadequada da água salina.



Fonte: SEINFRA (2019).

(a) Despejo diretamente no solo

(b) Despejo no solo, após reservatório atingir capacidade total.

Na Figura 42a é possível perceber, mesmo em meio a um solo irrigado – pela água concentrada –, que parte da vegetação rasteira encontra-se seca, podendo estar relacionada com o início do acúmulo de sais no solo do local. Na Figura 42b o reservatório que comporta a água concentrada, além de despejar a água no solo, encontra-se destampado, permitindo o acúmulo de sujeira, além da proliferação de agentes transmissores de doenças. Vale salientar também que nas duas situações ocorre o desperdício de água, que pode ser um meio alternativo para utilização em fins não potáveis, numa região que a falta de água é motivo de sofrimento de milhares de pessoas.

Em relato de 12 (doze) comunidades (7% dos locais apresentados nas fichas) foi identificado o local de despejo da água salina como sendo o esgoto. Mas não foi encontrada nenhuma informação ou imagem que represente como é o sistema de esgotamento sanitário nas localidades que informaram esse tipo de finalidade, não sendo possível verificar nem se esse serviço é realmente realizado nas comunidades. Essa informação, porém, deixa claro que nessas comunidades esse produto não é aproveitado e acaba por receber destino inadequado.

O consumo dessa água para a realização de atividades domésticas e/ou cuidado com animais foi relatado em 13 (treze) locais e, em outras 05 (cinco), são realizadas outras atividades, como uso em plantações e para a criação de peixes. Esses usos comprovam a usabilidade dessa água que ainda tem um elevado nível de rejeição. O uso dela pode ser mais uma alternativa de acesso a água, com emprego em atividades que tolerem o seu elevado teor de STD.

4.2 Características das comunidades com estudo prévio, referente a relatório consolidado dos Sistemas de Saneamento Rural do Governo do Estado

Das 76 (setenta e seis) comunidades visitadas que compuseram o universo da pesquisa para o Estudo de Modelos de Saneamento Rural, 15 (quinze) localidades estão presentes no contexto de localidades com sistema de dessalinização que receberam, em 2019, visita técnica de manutenção através da SERH. Esse item apresenta uma análise das características dessas localidades quanto ao uso dos dessalinizadores e sistema de abastecimento de água no geral.

4.2.1 Comparação do status de funcionamento em 2018 e 2019

As localidades que tiveram suas informações obtidas a partir de visita local à comunidade, na fase de pesquisa que originou o relatório das comunidades referente ao estudo dos Sistemas de Saneamento Rural (SSR) do Governo do Estado, estão apresentadas na Tabela 6, assim como o seu *status* de funcionamento no ano de 2018 (o relatório dos SSR Governo do Estado) e de 2019 (fichas de manutenção).

Tabela 6 - Localidades que possuem informações sobre o sistema de abastecimento.

Município	Localidade	Status 2018	Status 2019
Taquaritinga do Norte	Jerimum	Funcionando	Não funcionando
Taquaritinga do Norte	Algodões	Não funcionando	Não funcionando
Araripina	Sítio Alagoinha	Funcionando	Não funcionando
Pedra	Tenebre	Funcionando	Funcionando
Pedra	Horizonte Alegre	Não funcionando	Funcionando
Passira	Poço do pau	Funcionando	Funcionando
Passira	Sítio Apara	Funcionando	Funcionando

Ibimirim	Agrovila 8	Não funcionando	Não funcionando
Floresta	Assent. Cacimba nova	Funcionando	Funcionando
Gravatá	Telha Branca	Funcionando	Funcionando
Venturosa	Serra do Tará	Sem indícios de instalação	Funcionando
Venturosa	Grotão	Funcionando	Não funcionando
Riacho das almas	Sítio Chambá	Funcionando	Funcionando
Riacho das almas	Camurim	Funcionando	Funcionando
Surubim	Capoeira do milho	Sem indícios de instalação	Não funcionando

Fonte: Autora.

Como pode ser visualizado na Tabela 6, as 15 (quinze) comunidades estão distribuídas em 10 (dez) municípios. Em 03 (três) delas, os sistemas encontravam-se em funcionamento na primeira visita (2018) e haviam parado de funcionar na visita de manutenção (2019). Ao verificar o motivo de paralisação dos sistemas, observou-se que a comunidade de Jerimum apresentou problemas com as bombas e sistema de energia; para o Sítio Alagoinha não foi possível identificar o motivo de paralisação na ficha de manutenção, havia apenas o registro da troca de filtros, o que pode indicar uma possível paralisação temporária.

Na comunidade Grotão o sistema parou de funcionar devido à existência de um rachão no vaso de pressão que comporta as membranas e é essencial na ocorrência da osmose reversa. O equipamento ainda apresentava necessidade de troca das membranas e manutenção da bomba dosadora.

No Sítio Horizonte Alegre percebeu-se o inverso, em 2018 o sistema encontrava-se parado e em 2019 funcionando. A paralisação ainda foi percebida na visita de manutenção de 2019, devido a um problema no quadro de máquinas, que foi solucionado; o sistema, no entanto, necessita de um chafariz para a distribuição a população.

Em 07 (sete) das localidades abordadas nos dois conteúdos, os sistemas encontraram-se em funcionamento nas duas visitas. Em outras duas, no ano de 2018, não haviam sistemas de dessalinização instalados, mas em 2019 a comunidade estava no cadastro de manutenção, dando indícios de nova instalação. Na localidade Serra do Tará, no ano de 2019, o sistema encontrava-se em pleno funcionamento, enquanto na localidade Capoeira do milho, o sistema não estava instalado, visto que o poço estava

perfurado, o maquinário sob os cuidados da prefeitura e, além disso, existia a necessidade das outras estruturas das quais o dessalinizador necessita para o funcionamento.

A comunidade Agrovila 8 é um dos locais com maquinário parado nas duas visitas. Ela tem sua paralisação justificada por problemas com a bomba de recalque, além da necessidade de troca de membranas, dissertado em ambos os documentos. Outra informação relatada nas duas visitas é que os dois reservatórios que armazenam a água bruta e a água tratada pelo dessalinizador se encontram sem tampa ou qualquer tipo de proteção superior – fato que pode trazer problemas à saúde dos usuários, visto que a água já tratada e própria para o consumo fica exposta a agentes externos.

A comunidade Algodões encontrou-se sem funcionamento nas duas visitas, porém os dois relatórios indicam motivos diferentes para a paralisação: enquanto o relatório consolidado dos Sistemas de Saneamento Rural (SSR) do Governo do Estado informa que o sistema parou de funcionar devido a vazão insuficiente do poço, a ficha de manutenção alega que o sistema não funciona devido à falta de bomba no poço. Embora os motivos estejam diretamente relacionados, o relatório das comunidades referente aos SSR afirma que o sistema entrou em colapso por volta de 2017, com uma baixa severa na vazão do poço.

Esse tipo de situação mostra a necessidade de elaboração de um plano de manutenção que venha a garantir a precisão nas informações coletadas durante as visitas técnicas de manutenção, bem como uma maior riqueza de detalhes e informações que possam contribuir para o avanço e melhoramento tanto das técnicas de manutenção, quanto da tecnologia e partes do sistema propriamente dito.

4.2.2 Situação das ações de abastecimento de água nas comunidades

Dentre as localidades avaliadas e destacadas na Tabela 6, apenas Grotão, no município de Venturosa, possui a dessalinização por osmose reversa como única fonte de abastecimento hídrico potável local. Essa situação existe pois o outro sistema de abastecimento da comunidade - que conta com um poço, reservatório de 80 m³ e rede de distribuição domiciliar - encontrasse em fase de construção com as obras paralisadas

(portanto, não operante). A dessalinização nessa localidade, tem produzido água tratada a uma vazão de 0,5 m³/h para o abastecimento de 110 famílias da própria localidade e de outras três comunidades próximas. Contudo, não se sabe a vazão que cada uma das famílias tem direito de retirar do sistema de chafariz e como se dá a distribuição de água para o abastecimento.

Nas outras 14 comunidades analisadas foram encontradas diversas opções de sistema de abastecimento de água alternativo. Entre elas estão as de uso da água bruta do próprio poço que alimenta o dessalinizador ou de outros poços locais, sem tratamento antes do consumo. Para essas opções, a água conseguida pelo sistema de dessalinização é utilizada apenas para atividades nobres e é ofertada em quantidade reduzida a cada família, sendo a água bruta essencial no complemento da demanda para as demais atividades.

Outras fontes de abastecimento alternativas são: cisternas para captação de água de chuva, operação carro-pipa do exército, carro pipa adquirido pela própria comunidade, poços, cacimbas, adutora e sistema de bombeamento de poço através de cata-vento. Em uma das comunidades, apenas uma família é cadastrada na operação carro-pipa, a qual distribui água para todas as outras famílias. É válido ressaltar que apenas uma das comunidades é abastecida pela concessionária estadual de água. A Tabela 7 apresenta as fontes alternativas das comunidades.

Tabela 7 - Fontes de abastecimento de água (potável ou não) alternativas.

Município	Localidade	Fontes de abastecimento alternativas
Taquaritinga do Norte	Jerimum	Cisterna para captação de águas pluviais
Taquaritinga do Norte	Algodões	Operação Carro Pipa do Exército e compra de carro pipa
Araripina	Sítio Alagoinha	Compra de carro pipa
Pedra	Tenebre	Coleta manual na barragem Tenebre
Pedra	Horizonte Alegre	4 poços alternativos com uso de água bruta
Passira	Poço do pau	Poço com uso de água bruta
Passira	Sítio Apara	Poços com uso de água bruta
Ibimirim	Agrovila 8	Adutora com água bruta de um poço
Floresta	Assentamento Cacimba nova	Poço com uso de água bruta
Gravatá	Telha Branca	Poço com uso de água bruta
Venturosa	Serra do Tará	Cisterna para captar águas pluviais, carro pipa do exército e água bruta de poço

Venturosa	Grotão	Poço com uso de água bruta
Riacho das almas	Sítio Chambá	Operação Carro Pipa do Exército
Riacho das almas	Camurim	Poço com uso de água bruta
Surubim	Capoeira do Milho	Poço com uso de água bruta e barragem pela Compesa (sem volume)

Fonte: Autora.

Percebe-se que existem dois meios de distribuição da água tratada, sendo eles o chafariz e o fichário. O chafariz consiste na colocação de torneira no reservatório que armazena a água onde o volume de água a ser ofertado é controlado pelos usuários. O fichário, por sua vez, é um sistema onde o controle da quantidade de água é realizado pelo próprio equipamento.

A quantidade de água a que cada família tem direito é variável de local a local. Em três das comunidades que adotam o sistema de fichário, por exemplo, as famílias recebem 20 litros de água tratada por cada ficha adquirida. Na localidade Sítio Alagoinha, em Araripina, cada ficha libera 18 litros e as famílias podem adquirir até 03 fichas por dia (54 litros).

O relatório não informa o custo de cada ficha, contudo, nessas comunidades, o hábito de instalação de fichas é apenas para controle da quantidade da água, sendo inseridas pelo próprio operador do sistema durante o seu funcionamento. No relato de 08 das 15 comunidades havia informações da quantidade de água tratada pelo sistema que é disponibilizada as famílias. A Tabela 8 explicita esses dados, além da forma como é feita essa distribuição.

Tabela 8 - Quantidade de água tratada distribuída e meio de distribuição.

Município	Localidade	Vazão/família	Modo de distribuição
Taquaritinga do Norte	Jerimum	-	Chafariz
Taquaritinga do Norte	Algodões	-	-
Araripina	Sítio Alagoinha	54 L/dia (3 fichas)	Fichário
Pedra	Tenebre	-	Chafariz
Pedra	Horizonte Alegre	-	Chafariz
Passira	Poço do pau	20.000 L/dia*	Chafariz
Passira	Sítio Apara	200 L/semana	Chafariz
Ibimirim	Agrovila 8	40 L/dia	Chafariz
Floresta	Assent. Cacimba nova	30 L/dia	-
Gravatá	Telha Branca	-	-

Venturosa	Serra do Tará	-	-
Venturosa	Grotão	20 L/ficha	Fichário
Riacho das almas	Sítio Chambá	20 L/ficha	Fichário
Riacho das almas	Camurim	-	Fichário
Surubim	Capoeira do milho	20 L/ficha	Fichário

Fonte: Autora.

*Produção de água tratada que é distribuída para as famílias, escolas e creches do município.

A localidade Poço do Pau, em Passira, utiliza a água tratada pelo dessalinizador para o abastecimento de creches e escolas do município, além das famílias que convivem no lugar. Nenhuma das outras localidades informou o uso da água tratada para outro tipo de abastecimento além do doméstico.

4.3 Os municípios de Riacho das Almas e Cumaru

Esse item descreve as ações e análise dos dados coletados durante as visitas de campo nas comunidades dos municípios Riacho das Almas e Cumaru. O Apêndice A desse documento apresenta a localização desses municípios no estado de Pernambuco.

Durante o ano de 2020 não foi possível a contratação de empresa de manutenção nos sistemas de dessalinização pelo Governo de PE, devido à crise sanitária e humanitária que afetou todas as áreas da sociedade civil. Esse ano também contou com eleições municipais para os cargos de prefeito e vereadores dos municípios do país. Esses fatos estão aqui mencionados pela grande influência que tiveram na realidade encontrada nas visitas aos sistemas de dessalinização nos municípios visitados.

4.3.1 Riacho das Almas

Em Riacho das Almas, de acordo com o relatório de 2019, 15 (quinze) dessalinizadores funcionavam e haviam outros 5 paralisados. Nas visitas realizadas no início de 2021, constatou-se que a realidade quantitativa de funcionamento permaneceu a mesma. No entanto, houve uma troca de *status* de funcionamento entre alguns dos sistemas, que pode ser observada na Tabela 9.

Tabela 9 - *Status* de funcionamento dos dessalinizadores em Riacho das Almas.

Localidade	Status 2019	Status jan/2021
Centro-Nova esperança	Funcionando	Funcionando
Lagoa Três Irmãos	Funcionando	Parado
Pau Ferro	Funcionando	Funcionando
Pau Ferro 2	Parado	Funcionando
Pinhões	Funcionando	Funcionando
Riacho do Uruçu	Parado	Parado
Salinas	Funcionando	Funcionando
Sítio Bento	Funcionando	Parado
Sítio Caldeirão	Parado	Funcionando
Sítio Camorim 2	Funcionando	Funcionando
Sítio Chambá	Funcionando	Funcionando
Sítio Dois Riachos	Funcionando	Funcionando
Sítio Gavião	Funcionando	Funcionando
Sítio Guaritas	Funcionando	Funcionando
Sítio Ramada	Funcionando	Funcionando
Sítio Rendeiro	Funcionando	Parado
Sítio Rendeiro 2	Funcionando	Funcionando
Sítio Tanquinho	Parado	Parado
Sítio Trapiá	Parado	Funcionando
Sítio Vila Nova	Funcionando	Funcionando

Fonte: Autora.

O gestor responsável pela área de infraestrutura hídrica no município, assim como moradores e usuários das localidades beneficiadas, afirma que alguns sistemas foram colocados em funcionamento durante a nova gestão da prefeitura, que assumiu em janeiro de 2021; são esses sistemas, os das comunidades: Pau Ferro 2, Pinhões, Sítio Caldeirão, Sítio Chambá, Sítio Ramada e Sítio Trapiá.

De acordo com o responsável pelo funcionamento dos mesmos, os reparos realizados nos sistemas que voltaram a funcionar foram a instalação e/ou manutenção de bombas elétricas, além de uma limpeza química nas membranas dos sistemas. O gestor informou que, ainda que para o funcionamento dos equipamentos paralisados, foi investido um total de aproximadamente R\$3.000,00. Os sistemas que não fizeram parte do plano de resgate do secretário são aqueles cujo problema está relacionado à saturação das membranas e equipamentos quebrados, sem condição de funcionamento.

Um aspecto observado em Riacho das Almas é que a troca da gestão municipal acarretou na substituição dos operadores dos sistemas. Apenas em duas das comunidades, o operador cuida do sistema há mais de 20 anos, e os mesmos são funcionários concursados da prefeitura e com treinamento adequado para a operação dos sistemas. Na comunidade Pau Ferro o operador, que cuida do sistema desde a sua instalação, faz todos os tipos de reparo no sistema e resolve, inclusive, problemas relacionados à energia elétrica, como a substituição de fiação.

Nas demais localidades, onde os operadores são contratados para fazer funcionar o sistema, observou-se uma grande rotatividade, visto que esse é um cargo ofertado e prometido em períodos eleitorais. Dessa forma, os operadores dos 13 demais sistemas encontravam-se no primeiro mês, semana ou até mesmo dia de operação. Em todos os casos, sem nenhum treinamento, sendo instruídos pelo secretário local, que gere os sistemas de dessalinização.

A alta rotatividade gerada pela comum troca de operadores dos sistemas – sem o devido treinamento e conhecimento das particularidades de cada equipamento – prejudica a durabilidade das peças e partes que compõe o sistema. O funcionamento em potencial dos sistemas também é prejudicado, visto que operadores novos e sem treinamento adequado não são aptos a operarem o sistema com a eficiência esperada. No município de Riacho das Almas, portanto, a principal necessidade é de profissionalização dos operadores.

A frequência de abastecimento de água potável (pelos sistemas de dessalinização) em Riacho das Almas é diária na maioria das localidades. Nas comunidades Camorim 2 e Pau Ferro, no entanto, o abastecimento é de segunda a sábado. Os sistemas funcionam de 04 (quatro) a 06 (seis) horas por dia, de manhã e/ou tarde. A quantidade de água que é disponibilizada em cada localidade é apresentada na Tabela 10, acompanhado da população abastecida.

Tabela 10 - Volume de água disponibilizado para as famílias em Riacho das Almas

Localidade	Volume	Quantidade de casas
Centro-Nova esperança	40L/família	1600
Pau Ferro	20L/pessoa	100
Pau Ferro 2	80L/família	20
Pinhões	De 40 a 80L/família	80
Salinas	40 L/família	800
Sítio Caldeirão	80L/família	25
Sítio Camorim 2	25 L/pessoa	40
Sítio Chambá	Até 80 L/família	40
Sítio Dois Riachos	-	30
Sítio Gavião	20L/pessoa	40
Sítio Guaritas	-	50
Sítio Ramada	Livre acesso	150
Sítio Rendeiro 2	40 L/familia	30
Sítio Trapiá	20 L/pessoa	80
Vila Nova	20 L/pessoa	20

Fonte: Autora.

Analisando a Tabela 10, pode-se perceber que não há um padrão da quantidade de água que é ofertada as famílias no município de Riacho das Almas. Percebe-se, no entanto, que as localidades que ofertam menor volume de água, são as mais populosas: Centro-Nova Esperança e Sítio Ramada, cada uma oferecendo 40 litros de água potável por dia a cada família. Nos sítios Dois Riachos e Guaritas, não foi possível obter essa informação devido a ausência dos operadores.

De todos os sistemas em funcionamento, apenas o do Centro-Nova Esperança possui distribuição por fichário. Os demais utilizam torneira para distribuição, por meio de chafariz, onde o volume de água é controlado pelo próprio usuário do sistema. Em centro-Nova Esperança, no entanto, as fichas não são distribuídas a população, o próprio operador coloca as fichas no equipamento para fazer a distribuição de água.

Em todas as localidades a água concentrada tem algum tipo de interação com solo, rio ou riacho. Nas localidades que possuem tanque de rejeito, quando a capacidade do tanque é alcançada a água concentrada também é encaminhada para os destinos dos mesmos locais sem o tanque. As lonas de revestimento dos tanques, nas comunidades que

a possuem, apresentam-se, em sua maioria, ressecadas ou com danos que impedem a completa proteção do solo, como na Figura 41.

Figura 41 - Tanque de concentrado do Sítio Rendeiro 2.



Fonte: Autora.

4.3.2 Cumaru

No município de Cumaru, por sua vez, no ano de 2019 haviam 11 dessalinizadores funcionando e 12 paralisados, enquanto na visita de janeiro de 2021, percebeu-se que 18 equipamentos estão parados e 5 em condições de funcionamento, mas apenas 3 encontram-se beneficiando a população. O *status* de funcionamento das localidades de Cumaru pode ser visualizado na Tabela 11.

Tabela 11 - *Status* de funcionamento dos dessalinizadores em Cumaru.

Localidade	Status 2019	Status jan/2021
Água Doce de Baixo	Funcionando	Parado
Água Doce de Cima	Funcionando	Funcionando
Assentamento Gavião	Funcionando	Funcionando
Campos Novos	Funcionando	Funcionando
Hospital	Funcionando	Parado
Lagoa de Aninha	Parado	Parado
Malhadinha	Parado	Parado
Pau D'Arco	Funcionando	Parado
Pilões	Parado	Parado
Poço de Pedra	Funcionando	Funcionando*
Riacho do boi	Parado	Parado
Serra de Umari	Parado	Parado

Sítio água salgada	Parado	Parado
Sítio Cabaças	Parado	Parado
Sítio Caboju	Parado	Parado
Sítio Camarada	Parado	Parado
Sítio Campo do buraco	Parado	Parado
Sítio Gavião 1	Funcionando	Funcionando*
Sítio Gavião 2	Funcionando	Parado
Sítio Jurema	Funcionando	Parado
Sítio Táboas	Funcionando	Parado
Vila de Ameixa	Parado	Parado
Vila de Poços	Parado	Parado

Fonte: Autora

*Localidade com sistema em condições de funcionamento, mas sem atendimento a população.

O dessalinizador do hospital - que era a única fonte de abastecimento de água potável da unidade de saúde local – parou de funcionar por volta de junho/2020. Essa paralisação se deu devido a problemas nas membranas, bombas e vasos do equipamento. Após a paralisação do sistema, a água do poço não tem sido utilizada em nenhuma atividade e a única fonte de abastecimento do hospital tem sido caminhões-pipa da concessionária estadual de água, pagos pela prefeitura do município.

Os equipamentos das localidades Poço de Pedra e Sítio Gavião 1, são equipamentos com perfeitas condições de uso, mas que atualmente não estão sendo utilizados para abastecimento das comunidades em que estão locados. O sistema de Poço de Pedra é alimentado por um poço locado em comunidade particular, onde o proprietário utiliza grandes vazões de água diariamente, para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, não permitindo que uma vazão necessária ao abastecimento da comunidade seja utilizada para alimentar o sistema.

No Sítio Gavião 1 o problema esta relacionado com a falta de ligação elétrica. Durante 10 anos o equipamento abasteceu a comunidade com ligação elétrica em situação irregular, até que há cerca de 5 (cinco) anos a ligação foi cortada e uma multa foi aplicada sobre a residência do operador do sistema que ainda paga a dívida. Atualmente, o mesmo utiliza o sistema ligado em sua residência para produzir água potável apenas para o seu abastecimento domiciliar.

Além da falta de instalação elétrica, o sistema do Sítio Gavião 1 precisa de uma reforma em seu abrigo, que se encontra em condições precárias, oferecendo risco de acidentes aos moradores e possíveis usuários do sistema, conforme pode ser visualizado nas Figuras 44 e 45.

Figura 42 - Abrigo do dessalinizador do Sítio Gavião 1



Fonte: Autora.

Figura 43 - Detalhe do muro de alvenaria do abrigo do Sítio Gavião 1 rachado.



Fonte: Autora.

A elevada quantidade de sistemas paralisados no município de Cumaru também está relacionada com a forte disputa política no local. As localidades que possuem sistemas, mas os moradores não foram apoiadores da gestão eleita, estão com seus sistemas paralisados, mesmo aqueles com boas condições de uso e necessidade de pequenos reparos, como os realizados pela atual gestão de Riacho das Almas.

Quanto à frequência de abastecimento das localidades em funcionamento, em Água Boa de Cima a água potável é disponibilizada nas segundas, quartas e sextas-feiras, das 05h às 08h. No Assentamento Gavião e em Campos Novos o abastecimento ocorre todos os dias, tanto no turno da manhã, quanto no da tarde. Em Campos Novos não há restrição de volume para cada família; em Água Boa de Cima cada família tem direito a 100 litros de água, enquanto no Assentamento Gavião o volume é de 20 litros por pessoa (uma ficha).

Em Cumaru, os operadores de sistema de dessalinização (em funcionamento ou paralisados) possuem maior média de idade, entre 40 e 80 anos de idade. Possuem maior tempo de operação que os do município de Riacho das Almas, além de que todos alegam ter tido algum tipo de treinamento. Os 03 sistemas em operação, no período da visita, operam há 04 anos; um deles trabalhou numa fazenda com um dessalinizador e os outros dois receberam instruções da empresa instaladora e mantenedora dos sistemas.

O destino da água concentrada nos sistemas em operação são caixas d'água de 5 mil litros, onde a população possui livre acesso para uso. Em Água Boa de Cima o operador afirma que a população utiliza essa água para limpeza e para os animais. No Assentamento Gavião a água também é utilizada para rega de plantas. Em Campos Novos o operador não recomenda o uso da água concentrada e informou que já solicitou um tanque para depósito do concentrado.

4.3.3 Análise das amostras de água coletadas dos dessalinizadores

A coleta de amostras de água dos sistemas de dessalinização foi realizada em 15 localidades no total; 11 (onze) no município de Riacho das Almas e 04 (quatro) no município de Cumaru. A partir da coleta e análise das amostras de água, é possível perceber como está a qualidade da água dessalinizada produzida pelos sistemas de dessalinização instalados.

A condutividade elétrica (CE) de uma amostra é capaz de quantificar a capacidade potencial da solução em transferir cargas elétricas, de forma que, quanto mais sais há

numa solução, maior o seu potencial. Na Tabela 13 observa-se os dados de CE das amostras.

Tabela 12 - CE das amostras de água das localidades.

Município	Localidade	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
		Poço	Permeado	Concentrado
Riacho das Almas	Sítio Chambá	11.610	1.137	16.280
	Sítio Trapiá	5.670	758	6.990
	Pau Ferro	8.900	269	9.920
	Pau Ferro 2	9.570	588	10.040
	Centro-Nova Esperança	3.000	567	4.030
	Pinhões	10.860	367	11.550
	Camorim 2	12.090	2.080	12.590
	Sítio Ramada	5.170	1195	8.430
	Vila Nova	16.350	6.240	18.600
	Sítio Caldeirão	12.470	9.850	16.780
	Sítio Salinas	3.520	181	5.340
Cumarú	Assentamento Gavião	6.690	111	8.950
	Água doce de cima	5.000	1489	6.810
	Campos Novos	16.240	1.135	21.100
	Poço de pedra	9.110	1022	11.690

Fonte: Autora.

Por meio da Tabela 13 é possível observar a diferença entre os valores de CE para as distintas amostras de água das localidades. Observa-se uma redução da CE da água bruta disponível nas fontes subterrâneas (poço) para a água permeada, além de um aumento quando relacionada à água com maior concentração de sais (concentrado), que não raramente é descartada.

A quantidade de STD segue o padrão dos dados de CE, com concentração mais elevada para as amostras de concentrado, seguida da água do poço e menor concentração para as amostras de permeado. Os resultados de STD obtidos para as amostras coletadas em cada uma das localidades com equipamento de dessalinização visitadas, encontram-se na Tabela 14.

Tabela 13 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD) das amostras de água coletadas nas localidades.

Município	Localidade	STD (mg/L)			Classificação Silveira et al. (2015)		
		Poço	Permeado	Concentrado	Poço	Permeado	Concentrado
Riacho das Almas	Sítio Chambá	11870	1098	17190	Mod. salobra*	Lig. salobra	Fort. Salobra***
	Sítio Trapiá	4877	728	5464	Lig. salobra**	Doce	Mod. salobra
	Pau Ferro	4587	475	5879	Lig. salobra	Doce	Mod. salobra
	Pau Ferro 2	7221	910	7877	Mod. salobra	Doce	Mod. salobra
	Centro-Nova Esperança	2302	442	3279	Lig. salobra	Doce	Lig. salobra
	Pinhões	6890	1181	10780	Mod. salobra	Lig. salobra	Mod. salobra
	Camorim 2	9629	1638	10820	Mod. salobra	Lig. salobra	Mod. salobra
	Sítio Ramada	3463	635	3638	Lig. salobra	Doce	Lig. salobra
	Vila Nova	4689	3998	10745	Lig. salobra	Lig. salobra	Mod. salobra
	Sítio Caldeirão	10757	6273	12685	Mod. salobra	Mod. salobra	Mod. salobra
Cumarú	Sítio Salinas	2543	1030	3303	Lig. salobra	Lig. salobra	Lig. salobra
	Assentamento Gavião	2220	385	6432	Lig. salobra	Doce	Mod. salobra
	Água doce de cima	3005	357	4360	Lig. salobra	Doce	Lig. salobra
	Campos Novos	10824	1221	14579	Mod. salobra	Lig. salobra	Mod. salobra
	Poço de pedra	5214	251	7380	Mod. salobra	Doce	Mod. salobra

*Moderadamente salobra; ** Ligeiramente salobra; *** Fortemente salobra.

Fonte: Autora

A análise da Tabela 14 permite afirmar que a qualidade da água de todos os poços analisados, nos quais há um dessalinizador implantado, é salobra (STD acima de 1.000 mg/L). O trabalho de análise prévia da localidade para instalação de um dessalinizador conta com a análise da qualidade da água do poço, que, para os referidos casos, confirmou a necessidade de um sistema de dessalinização para melhorar a qualidade da água disponível nas fontes subterrâneas dessas localidades.

Com relação ao permeado - água tratada pelo dessalinizador para consumo da população -, apenas 08 (oito) das 15 (quinze) localidades tinham acesso à água em condições de potabilidade para uso humano, de STD máximo de 1.000 mg/L, que é o

Valor Máximo Permitido (VMP) para consumo humano de acordo com o Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

Já se levada em consideração a Resolução n° 357 (CONAMA, 2005) – resolução para enquadramento de corpos hídricos - para analisar os parâmetros de água doce, apenas 05 (cinco) do total de localidades apresentaram permeado com concentração inferior a 500 mg/L. Os valores de STD para os sistemas fora do padrão de potabilidade estão bem abaixo dos valores de STD da água do poço dessas localidades. Contudo, para esses sistemas, a remoção de sais apesar de notável, é insuficiente para ofertar água de qualidade a população que atendem.

O concentrado, que também é produto da dessalinização – com elevado nível de concentração de sais – como se esperava, apresenta concentração maior que a água bruta (do poço) que é introduzida no sistema. Para as comunidades em estudo o concentrado, apesar de ter um teor de sais mais elevado, também é salobro (STD até 3.000 ppm).

É importante levar em consideração que as coletas de água desses sistemas aconteceram em período em que a manutenção dos sistemas foi prejudicada, devido às paralisações de serviços realizados pelos órgãos públicos em função da Pandemia da Covid 19. No entanto, mesmo durante esse período e principalmente nele (em virtude dos cuidados de higiene redobrados), a população localizada nessas e em outras comunidades tiveram necessidades do uso de água de boa qualidade.

As localidades que apresentaram água permeada com STD acima de 1.000 mg/L têm empregado esse produto em atividades nobres de consumo, possivelmente sem saber que a quantidade de sais ainda é imprópria para o consumo. Apesar de os dessalinizadores dessas comunidades reduzirem consideravelmente a quantidade de sais da água do poço, o permeado produzido não apresenta a qualidade mínima para ser considerada utilizável para o consumo humano, conforme recomendado pelas normas e autoridades de saúde no Brasil.

Essa deficiência na remoção de sais pode estar relacionada, principalmente à qualidade e tempo de uso das membranas semipermeáveis, visto que elas são as principais responsáveis pela separação dos sais da água na dessalinização por osmose

reversa. A deficiência de manutenção, seja com ausência, frequência ou qualidade do serviço prestado, também pode estar relacionada com a baixa qualidade da água produzida por esses sistemas. A Tabela 15 traz a eficiência na remoção de sais da água permeada com relação à água do poço.

Tabela 14 - Eficiência na remoção de sais pelos dessalinizadores de OR.

Município	Localidade	Eficiência STD (%)	Eficiência CE (%)
Riacho das Almas	Sítio Chambá	90,75	90,21
	Sítio Trapiá	85,07	86,63
	Pau Ferro	89,64	96,98
	Pau Ferro 2	87,40	93,86
	Centro-Nove Esperança	80,80	81,10
	Pinhões	82,86	96,62
	Camorim 2	82,99	82,80
	Sítio Ramada	81,66	76,89
	Vila Nova	14,74	61,83
	Sítio Caldeirão	41,68	21,01
	Sítio Salinas	59,50	94,86
	Cumarú	Assentamento Gavião	82,66
Água doce de cima		88,12	97,03
Campos Novos		88,72	93,01
Poço de pedra		95,19	88,78

Fonte: Autora.

Para a maioria das localidades (10 localidades), a eficiência de remoção de sais tem valores inferiores para o cálculo a partir do STD com relação a CE. Ao comparar a eficiência na remoção de sais (Tabela 16) com o STD da água permeada (Tabela 15) é possível perceber que uma grande percentagem na remoção de sais não implica, necessariamente, na qualidade da água permeada para consumo humano.

No Sítio Chambá, por exemplo, a eficiência por meio do STD foi superior a 90%, no entanto, a água permeada ainda possui STD superior a 1.000 mg/L. Na localidade Centro-Nova Esperança, por sua vez, para a eficiência de remoção em 80%, a água permeada possui STD abaixo de 500 mg/L.

Contudo, de acordo com as informações apresentadas na Tabela 17, a maioria dos sistemas em funcionamento apresenta bom desempenho de dessalinização. Para a CE a média de eficiência, de 84%, é superada em 11 (onze) das 15 (quinze) localidades com

sistema em funcionamento. A maior eficiência CE identificada é a do dessalinizador do Assentamento Gavião (98,34%). A eficiência STD para esse dessalinizador também é elevada (82,66%) e acima da média de STD, que é de 76,79%.

Esse sistema possui estrutura cabinada e é gerenciado pelo município de Cumaru, apesar de ser localizado dentro do município de Riacho das Almas, na divisa entre os dois municípios. Funciona com 03 (três) membranas, atende mais de 100 famílias e apresenta aspecto bem cuidado e limpo. Seu operador tem 53 anos de idade e atua no sistema desde a instalação do equipamento, em 2016. O operador recebeu treinamento da equipe que fez a instalação do sistema. A Figura 44, ilustra o equipamento.

Figura 44 - Dessalinizador do Assentamento Gavião.



Fonte: Acervo pessoal.

Contudo, para apenas 05 (cinco) dos sistemas visitados a água permeada alcançou a classificação de água doce, de acordo com CONAMA (2005), para redes públicas de abastecimento. A Tabela 16 apresenta a eficiência mínima para que todos os sistemas em funcionamento, nas comunidades dos dois municípios, atinjam o STD máximo para classificação como água doce (500mg/L) nos padrões do CONAMA.

Tabela 15 - Eficiência mínima para atingir STD de 500 mg/L.

Município	Localidade	Eficiência mínima para 500 mg/L (%)
Riacho das Almas	Sítio Chambá	95,79
	Sítio Trapiá	89,75
	Pau Ferro	89,10
	Pau Ferro 2	93,08
	Centro-Nova	78,28
	Esperança	92,74
	Pinhões	92,74
	Camorim 2	94,81
	Sítio Ramada	85,56
	Vila Nova	89,34
	Sítio Caldeirão	95,35
	Sítio Salinas	80,34
Cumarú	Assentamento Gavião	77,48
	Água doce de cima	83,36
	Campos Novos	95,38
	Poço de pedra	90,41

Fonte: Autora.

Em nenhum dos casos é exigida uma eficiência de remoção de sais de 100% para a oferta de água com qualidade. Dessa forma, faz-se necessário o reparo e melhoria desses dessalinizadores a fim de torná-los eficientes na remoção de sais de água salobra de poços das comunidades localizadas em municípios do semiárido de Pernambuco. Essa melhoria é benéfica para a população que vive nas localidades difusas do interior do estado de Pernambuco.

4.4 Custos

Todo tipo de benefício e tecnologia possui um custo atrelado, seja de implantação, de manutenção, de uso ou de todos concomitantemente. O investimento aplicado pelos gestores em todas as esferas do poder público, no entanto, não pode ser visto unicamente como um custo financeiro. O valor que é atribuído aos sistemas de dessalinização de água, tecnologia em estudo nesse documento, deve levar em consideração todos os benefícios que proporcionam as famílias atendidas pelos sistemas.

4.4.1 Custos de manutenção dos sistemas em 2019

Durante o ano de 2019, o Governo do Estado investiu mais de R\$650 mil reais na manutenção dos sistemas de dessalinização do Estado de Pernambuco. Essa quantia está relacionada tanto com a aquisição de materiais e serviços, quanto com o pagamento de equipe e locação de veículos para acesso as localidades. A Tabela 16 apresenta detalhes sobre os custos gerais de manutenção do ano de 2019.

Tabela 16 - Custo de manutenção dos dessalinizadores do Estado de PE, em 2019.

Relatório	Período	Quantidade de equipes	Custo materiais e serviços	Veículo e equipe
1	fevereiro e março	02	R\$ 29.852,42	R\$ 24.939,20
2	abril	03	R\$ 103.362,46	R\$ 36.107,22
3	abril e maio	01	R\$ 8.728,23	R\$ 2.493,92
4	julho	03	R\$ 22.310,37	R\$ 37.408,80
5	fevereiro, março, abril, julho e agosto	03	R\$ 44.540,77	R\$ 37.408,80
6	setembro	03	R\$ 70.079,20	R\$ 18.704,40
7	outubro	03	R\$ 48.219,39	R\$ 32.521,28
8	outubro e novembro	03	R\$ 99.782,23	R\$ 37.408,80
Total			R\$ 426.875,06	R\$ 226.992,42
Total Geral				R\$ 653.867,48

Fonte: SEINFRA/SERH (2019).

As informações de custo - das visitas técnicas de inspeção, instalação e manutenção de dessalinizadores - foram divididas em 08 (oito) relatórios de detalhamento. O período refere-se a datas em que houve visitas às localidades que receberam algum tipo de interferência da equipe técnica. Nos diferentes relatórios que possuíam a mesma localidade foram verificadas datas de visita e a descrição dos serviços, onde não foi encontrado nenhum tipo de repetição de informações.

Os meses que aparecem em diferentes relatórios também foram verificados, não havendo repetições das localidades ou serviços prestados. Os relatórios 3 e 6 referem-se a períodos de tempo inferiores a um mês, 06 (seis) e 15 (quinze) dias, respectivamente. Os valores de veículo e equipe são explicados por:

- Locação de caminhonete com tração 4X4, inclusive combustível: R\$6.109,40 (equipamento/mês);
- Equipe Técnica (02 técnicos): R\$ 6.360,20 (equipe/mês).

De acordo com a Tabela 16, mais de um terço (34,72%) dos custos com manutenção refere-se à locação de veículo e pagamento de equipe técnica para deslocamento e realização dos serviços. Os materiais e serviços inclusos nesses custos vão desde a aquisição de peças hidráulicas e conexões simples de baixo custo monetário, até a troca das membranas semipermeáveis de osmose reversa, que representam a parte mais onerosa de um sistema de dessalinização.

Para a análise do custo da água dessalinizada, por litro, dos dessalinizadores de cada comunidade em particular, conferiu-se em todos os relatórios a presença das localidades com sistema em funcionamento. Foram apanhados e conferidos todos os dados de custos dessas localidades e relacionados com os dados de vazão de água permeada. Esse produto permitiu a quantificação do custo de manutenção/litro de água potável produzida para o ano 2019.

Dos 165 sistemas em funcionamento, em 2019, 156 possuíam dados de vazão permeada, possibilitando mensurar o volume de água produzida para um mês. Para esses sistemas foi encontrada a relação com os custos de manutenção. Nas localidades que possuem mais de uma visita registrada ao longo do ano, o custo de manutenção foi considerado a soma de todos os custos obtidos no ano. Os resultados encontrados estão expostos no Apêndice B.

Conforme as informações expressas no Apêndice B, pode-se concluir que os custos anuais com manutenção, para cada litro de água potável produzida, foram inferiores a R\$0,01 em todas as localidades. Desta forma, qualquer irrisório valor cobrado pelo consumo de água é suficiente para cobrir todos os custos de manutenção, incluindo os mais onerosos, como a troca das membranas semipermeáveis de osmose reversa.

Ao condensar a cobrança do que é gasto em manutenção na produção de água potável de 01 (um) mês, o valor gasto nas manutenções de apenas 10,3% das localidades (16 sistemas) representaria um custo/litro superior a R\$0,10. Ainda nessa perspectiva, a

manutenção de apenas um desses sistemas ultrapassa R\$0,40, chegando ao valor de R\$1,16. O sistema que alcança esse valor, no ano de 2019, teve a troca de 06 (seis) membranas semipermeáveis de osmose reversa e está localizado no Distrito de Picos, no município de Igaraci.

Influenciam na dificuldade de unificação dos gastos com manutenção as diferentes vazões produzidas pelos sistemas instalados em cada localidade, assim como a variedade de materiais necessários ao funcionamento dos sistemas de dessalinização. Por exemplo, um sistema que, no dia da visita técnica, esteja necessitando de manutenção em tubos e conexões hidráulicas terá um custo de manutenção muito inferior a uma localidade que necessita da troca das membranas. Uma descrição dos serviços realizados durante as visitas de manutenção e o preço dos mesmos é apresentada no Anexo B.

Examinando a tabela do Anexo B é possível identificar que os materiais e serviços de menor preço são as peças hidráulicas como joelhos, “tês” e adaptadores. Já os 04 (quatro) serviços mais onerosos são relativos às eletrobombas, responsáveis pela circulação de água no sistema de dessalinização. Esse elevado custo pode ser configurado como responsável pelo não funcionamento de 17% dos sistemas que se encontram paralisados devido à falta ou quebra de bombas, conforme visto no item 4.1.1.

O preço unitário das membranas semipermeáveis de osmose reversa aparece como o sétimo na ordem de mais onerosos. Contudo, cada sistema funciona com pelo menos 03 (três) membranas, o que faz com que o custo com substituição de membranas por equipamento se torne o mais expressivo entre os materiais e serviços necessários ao funcionamento de um dessalinizador.

4.4.2 Composição de Custo (C)

Para a composição do Custo (C) de um dessalinizador, o primeiro item considerado foi a implantação do sistema. A estimativa do Custo de Implantação (CI) foi composta pelos materiais e serviços que estão descritos no Anexo C, onde também estão apresentados os preços dos mesmos, com cotações de abril/2021³.

Ao considerar a mediana dos preços de cotação com um equipamento de dessalinização, mais o serviço de instalação do sistema, o preço de implantação de um sistema de dessalinização de capacidade nominal de 1.200L/h (20L/min) é de R\$123.863,32. Na construção desse preço foi utilizado o kit fotovoltaico para transformação com bomba elétrica convencional em solar de 2 CV. A escolha de equipamentos de dessalinização com outras capacidades nominais, assim como de kit fotovoltaico com outras potências, causam alterações no preço de instalação.

É válido ressaltar que os valores apresentados não incluem os Benefícios e Despesas Indiretas (BDI). Também não estão inclusos os materiais hidráulicos e eletrobombas externas ao equipamento, que fazem a captação de água do poço até a unidade de dessalinização, visto que a configuração de cada localidade é variada.

A produção anual do dessalinizador utilizado como modelo é de 1.267.200L de água permeada. Dessa forma o CI de um equipamento de dessalinização de estrutura cabinada, com produção nominal de 1.200L/h e funcionamento através de energia fotovoltaica, em um ano de produção, é de R\$0,098/litro. Faz-se importante o destaque de que a implantação do sistema em uma comunidade é um evento único e duradouro. Portanto, após o primeiro ano de uso do sistema, esse custo torna-se inexistente.

O Custo de Manutenção (CM) é um dos custos que permanecem durante todo o tempo de vida do dessalinizador. Ele pode sofrer alterações ao longo do tempo, por variações de preços dos materiais e serviços, como também da necessidade de reparos e funcionalidade de cada sistema. A manutenção preventiva tende a amenizar gastos, visto que previne ou faz o tratamento precoce de problemas maiores, sendo essencial em todo sistema de dessalinização. A Tabela 17 apresenta os gastos com manutenção para o sistema aqui considerado.

Tabela 17 – Custo anual com a manutenção de um dessalinizador tipo OR.

Descrição Material/Serviço	Quantidade	Unidade	Preço	Frequência anual	Custo total
Substituição de elemento filtrante em polipropileno, com 25 cm de comprimento de 5 micra, tipo cartucho.	3	Und	R\$55,60	12	R\$2.001,60

Substituição de membrana de osmose inversa com diâmetro de 4" e comprimento 40" (percentual de rejeição de sais 99,5%) para água com resíduo seco até 10.000ppm	3	Und	R\$2.055,54	0,2	R\$1.233,32
Revisão Geral de Bombas	1	Und	R\$488,73	4	R\$1.954,92
Ácido clorídrico 37% P.A. para lavagem química de membrana de osmose inversa com diâmetro de 4" e comprimento 40" (percentual de rejeição de sais 99,5%)	1	Und	R\$16,00	12	R\$192,00
Anti Incrustante Flocon	1	Kg	R\$119,34	4	R\$477,36
Manutenção de tubulações hidráulicas	1	Und	R\$274,16	4	R\$1.096,64
Total					R\$ 6.955,84

Fonte: Autora

Anualmente, o montante gasto com materiais e serviços para manutenção de um dessalinizador não é superior a R\$7.000,00. Esse valor tende a anular o custo de manutenção (R\$0,006/litro) quando levada em consideração a produção anual de água dessalinizada do sistema (1.267.200 L). Contudo, nesse valor não estão incluídos os custos com transporte, mão de obra e estadia do técnico aos sistemas. Portanto, ele representa a manutenção, desde que seja realizada completamente pelo operador do sistema ou técnico do município, de forma preventiva.

Quando a manutenção corretiva é necessária, devido à quebra de alguma peça ou mal funcionamento do equipamento, além dos custos com os materiais para o conserto, faz-se necessária a despesa com os técnicos e transporte dos mesmos. A presença de profissionais capacitados para os reparos nos municípios é, portanto, um ponto que traria além de benefícios para o funcionamento dos sistemas, uma economia dos recursos financeiros estaduais.

O componente Custo de Operação (CO) leva em consideração os gastos com energia elétrica e o salário do operador atualmente. A conta de energia elétrica de um sistema de dessalinização, paga pela prefeitura municipal, é na média de R\$200,00/mês; e o salário pago ao operador corresponde a um salário mínimo¹⁰. O salário mínimo no

¹⁰ Informações obtidas a partir de contato com o gestor de infraestrutura do município de Riacho das Almas, valores referentes ao primeiro trimestre de 2021.

Brasil, no ano de 2021, é de R\$1.100,00 (BRASIL, 2020). Esses custos são permanentes ao longo de todos os meses do ano. A Tabela 18 apresenta gastos com operação do sistema.

Tabela 18 - Custos de operação de um dessalinizador tipo OR.

Descrição Material/Serviço	Preço	Frequência anual	Custo total
Energia elétrica	R\$ 200,00	12	R\$ 2.400,00
Salário do operador	R\$ 1.100,00	12	R\$ 12.540,00
Total			R\$ 15.600,00

Fonte: Autora.

A operação de um dessalinizador durante um ano foi estimada em R\$ 15.600,00, que para a produção anual do dessalinizador, gera um CO de R\$ 0,012/litro. Diante das três parcelas do custo calculadas, o custo (C) de um sistema de dessalinização pode ser observado na Tabela 19.

Tabela 19 - Resumo de custos com um dessalinizador tipo OR.

Parcela	Custo	Custo/litro
Custo de Implantação (CI)	R\$ 123.863,32	R\$ 0,098
Custo de Manutenção (CM)	R\$ 6.955,84	R\$ 0,006
Custo de Operação (CO)	R\$ 15.600,00	R\$ 0,012
Custo (C)	R\$ 146.419,16	R\$ 0,116

Fonte: Autora.

De acordo com a Tabela 20, pode-se perceber que o custo total anual com um sistema de dessalinização com sua implantação não ultrapassa os R\$150.000,00. Esse valor representa R\$0,12/litro de água potável, considerando o total de água potável, produzida ao longo de um ano, de um dessalinizador com vazão nominal de 1.200 L/hora, funcionando 4 h/dia de segunda a sexta-feira. Se retirado o custo de implantação do sistema, o custo/litro de um dessalinizador é de R\$0,02.

Para uma família com 04 pessoas, que tem acesso a 20 litros de água/pessoa/dia - realidade da maioria das localidades - o acesso à água potável produzida pelo dessalinizador custa R\$211,20/mês, contando com o CI, e R\$35,20/mês se considerados apenas os CM e CO. Dessa forma, pode ser analisada a implantação da cobrança de uma

taxa pelo acesso a água potável dessalinizada a fim de custear a manutenção e operação do sistema.

Essa cobrança implica ainda na redução dos gastos do Governo do Estado com a visita de técnicos para manutenção, visto que, atualmente, todos os gastos com materiais e serviços são pagos com recurso estadual. O valor gasto no ano de 2019 (apresentado na Tabela 16) com a manutenção dos sistemas já existentes seria suficiente para a implantação de 05 (cinco sistemas) que beneficiariam centenas de famílias que ainda convivem com a dificuldade de acesso a água potável nas localidades difusas do semiárido pernambucano.

4.5 Sugestão de melhora na operação, manutenção e instalação de novos equipamentos

Para que todo o investimento que é feito na implantação de um sistema de dessalinização, numa localidade, proporcione a qualidade de vida esperada aos beneficiários, é necessário que todas as partes envolvidas e etapas decorrentes do processo sejam desempenhadas com êxito. O planejamento de cada etapa de um sistema de dessalinização pode fazer com que a sua vida útil seja ampliada.

Diante das informações obtidas a partir das fichas técnicas de manutenção e estudo das características das comunidades que possuem os sistemas em destaque nesse trabalho, este tópico trata de propostas para a operação dos sistemas de dessalinização, manutenção dos mesmos e também para a identificação de novas comunidades para serem instalados novos sistemas.

4.5.1 Operação

A boa operação de um sistema de dessalinização pode prevenir problemas causados pelo mau uso, além da identificação de características que venham a diminuir os custos com manutenção, uma vez que o acompanhamento e conhecimento do sistema pode permitir a identificação de falhas em sua fase inicial.

- Profissionalização do operador

É de suma importância que a operação desse sistema seja realizada por moradores das comunidades, visto que são eles que convivem diariamente no local e também são beneficiados pelo produto da dessalinização. Contudo, a realização de treinamento a fim de tornar a operação dos sistemas profissional é um fator essencial ao bom funcionamento dos dessalinizadores no estado e que certamente trará benefícios ao uso.

A escolha – feita pela própria comunidade – de pelo menos duas pessoas para realizarem a operação desse sistema traria segurança na boa usabilidade do mesmo, visto que, dada a impossibilidade e/ou ocorrência de imprevisto com um dos operadores, o outro estaria apto e o sistema não teria que ser operado por alguém inexperiente ou mesmo ficar inoperante.

Outra forma de operação do sistema, por mais de um operador, poderia se dar pela implantação de escalas de trabalho, a fim de diminuir a carga de trabalho dos envolvidos. O diálogo e a constante troca de informações entre os operadores são dois fatores essenciais para o sucesso de eficácia de uso e operação do sistema.

A profissionalização dos escolhidos se daria em três módulos. O primeiro deles para a apresentação do sistema, da importância do mesmo para as comunidades e de como ele funciona; esse módulo, inclusive, poderia ser disponibilizado por meio de palestra para os demais membros da comunidade, visando o conhecimento básico sobre como se dá o SAA que os beneficia com água tratada. Essa fase teria como temas abordados:

- Contextualização da realidade hídrica da comunidade;
- O que é um sistema de dessalinização de água;
- Quais os benefícios de um SAA para uma comunidade difusa;
- Como funciona um sistema de dessalinização;
- Os produtos do processo de dessalinização, sua importância, aplicações e usos;
- Quanto vale a água ofertada pelo sistema de dessalinização: custos de operação, uso e manutenção de um sistema.

Esse módulo teria como principal objetivo fazer a diferença na forma como a comunidade lida com o sistema de dessalinização, vindo a reconhecer sua importância e valor tanto econômico, quanto socioambiental. Nela também seria importante apresentar o valor da água dessalinizada e explicar todos os benefícios para o sistema e, conseqüentemente, para a localidade, da cobrança pelo acesso a água potável.

O segundo módulo dessa profissionalização trataria da parte técnica do maquinário, com o desmembramento de cada uma das partes que compõe o sistema, desde a produção do manancial, passando pela parte elétrica, até as estruturas que compõe o dessalinizador propriamente dito. Nessa etapa, os operadores teriam a oportunidade de entender o porquê de cada peça, assim como o manuseio correto de cada uma delas e a operação do sistema num todo.

O terceiro módulo abordaria a manutenção do sistema. Desde a limpeza de reservatórios e equipamentos, até a percepção de possíveis falhas e suas origens, troca e periodicidade de troca de membranas e filtros, realização de limpeza química e todos os demais itens que precisam ser cuidados durante a vida útil de um sistema de dessalinização. Essa etapa poderia contemplar, ainda, o aspecto financeiro por trás da operacionalidade de um sistema, explicando ao operador a importância do sustento do sistema pela própria comunidade.

Para essa profissionalização seria exigido dos candidatos a certificação de conclusão de ensino médio, para que fosse assegurada a qualidade e aproveitamento do curso. Como bonificação e incentivo, os operadores poderiam ser certificados como “Operador de sistema de dessalinização”, podendo surgir a possibilidade de qualificar à nível técnico a profissionalização desses operadores.

Uma vez profissionalizados, os operadores teriam, além de uma qualificação, uma remuneração mensal fixa pela operação do sistema, a ser paga pela própria comunidade ou pelo órgão municipal, a depender da situação particular de cada caso.

- Controle da quantidade e qualidade de água produzida

Aferir a vazão de água produzida pelo sistema é uma medida que pode facilitar a identificação de possíveis problemas com o sistema, assim como a qualidade da água tratada. Na comunidade Poço do Pau, do município de Passira, as famílias comentaram sobre o sabor salobro na água mesmo após o tratamento, pelo dessalinizador, em 2018. Esse fato indica necessidade de reparos no sistema, possivelmente devido ao desgaste das membranas.

A qualidade da água que é produzida, a partir da água bruta dos poços, pode ser identificada desde pela comunidade, por meio de análise da aparência e do gosto, com uma simples prova do produto, até por meio de análise físico-química de amostras coletadas. É importante que as amostras de água sejam encaminhadas a laboratórios para análise com periodicidade pré-definida, a fim de garantir que a água oferecida pelos sistemas às localidades está dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, referência de padrão de potabilidade..

A quantidade produzida pode ser acompanhada por meio da vazão, nos dias de funcionamento do equipamento. Com a verificação de grandes diferenças na quantidade de água, que indiquem defeitos nos sistemas. Essas medidas podem ajudar na identificação de irregularidades, facilitando o diagnóstico e solução das mesmas, após reportar essas informações para os responsáveis pela manutenção; ou para reparo imediato no caso da presença de operadores qualificados.

Outra medida que poderia ser eficiente é o contato periódico entre o operador do sistema e a Secretaria responsável pelos sistemas, ou empresa de manutenção, a fim de informar o status do sistema, assim como o relato de alguma irregularidade e solicitação de uma visita técnica de manutenção. Ainda poderia caber à comunidade e operadores do sistema a responsabilidade de fazer a troca de membranas e de outros itens, com frequência determinada.

4.5.2 Manutenção

No caso das manutenções realizadas pelo Governo do Estado, através da SEINFRA/SERH, a adoção de algumas medidas também pode melhorar a qualidade do

serviço prestado às comunidades, assim como o acesso a informações que facilitem a análise e gestão dos sistemas. Também pode facilitar a busca por melhorias tanto nos serviços de manutenção, quanto no funcionamento dos dessalinizadores que compõe os SAA das comunidades do interior do Estado.

É válido ressaltar que as ações aqui propostas são baseadas na dificuldade de acesso e leitura dos dados recolhidos nas manutenções realizadas em 2019 e nas visitas realizadas aos sistemas dos municípios de Riacho das Almas e Cumaru, no fim de 2020 e início de 2021.

- Acompanhamento de colaboradores da SEINFRA

Como o serviço de manutenção dos dessalinizadores do Governo do Estado é terceirizado por meio de contrato firmado após processo público de licitação, fica a cargo da empresa contratada a responsabilidade por todas as operações realizadas, assim como dos dados recolhidos nas visitas, sobre cada um dos sistemas. Espera-se da empresa contratada a integridade e transparência tanto na realização das manutenções, quanto na disponibilização dos dados coletados em campo.

Contudo a presença e orientação dada pelos colaboradores da SEINFRA/SERH, responsável pela contratação, pode aumentar a eficiência do serviço prestado. Essa orientação pode ser realizada ao menos nas primeiras visitas de manutenção, a partir da efetivação do contrato.

A importância desse acompanhamento é justificada pelo conhecimento do colaborador a respeito das informações sobre os sistemas, que são de grande importância para a gestão dos mesmos e que pode deixar de ser coletada pela equipe de manutenção. O acompanhamento inicial serviria como uma espécie de treinamento para que a empresa de gestão desenvolva o hábito de olhar o sistema com os olhos dos gestores, não deixando de coletar dados de extrema importância.

- Definição, precisão e padronização nos dados coletados

É de extrema importância que os dados coletados sobre os sistemas de dessalinização sejam precisos e confiáveis para a elaboração de relatórios e análise da qualidade e funcionalidade dos sistemas em operação. Nos relatórios de manutenção do ano de 2019, percebeu-se que para todas as comunidades não havia a anotação de algumas das informações requisitadas na ficha, assim como a anotação de informações em locais inadequados e uso de diferentes tipos de unidades de medida para uma mesma informação.

Esse tipo de ocorrência causa insegurança na veracidade dos dados coletados, quando analisados por terceiros que não estiveram presentes no momento da visita. Portanto, a definição dos dados a serem coletados é uma fase que precisa ser bem estruturada para que o relatório seja o mais objetivo e completo possível. A precisão na aferição e anotação dos dados é um item que cabe aos responsáveis pela visita técnica de manutenção, uma vez que os dados que estiverem sendo solicitados na ficha serão de extrema importância.

A padronização no registro dos dados solicitados é uma medida que pode vir a facilitar a leitura dos dados, o tratamento dos mesmos e a análise e comparação entre dois ou mais sistemas. Essa medida ainda pode melhorar a identificação de irregularidades tanto nos instrumentos de aferição, quanto no próprio sistema, de forma a dar objetividade às causas a serem tratadas tanto na visita de manutenção em andamento, quanto na obtenção de equipamentos e peças para a realização de alguma troca, em próxima visita ou em outras localidades.

- Informatização dos dados coletados

Outra dificuldade percebida no tratamento das informações foi a respeito da legibilidade dos dados coletados. Nas cadernetas com anotações manuais a escrita do técnico que anota as informações coletadas nem sempre facilita a leitura de terceiros que venham a fazer uso dos dados recolhidos. Esse método de escrita manual também pode levar a perda de alguma das folhas do cadastro, além da possibilidade de anexação de fotos de diferentes locais a um mesmo relatório.

Com a informatização, os dados seriam registrados, por meio de um dispositivo móvel, numa plataforma de dados com compartilhamento automático numa rede que permitiria o salvamento das informações e disponibilidade dos dados logo após preenchimento e envio dos mesmos, além de fotos e outros tipos de dados que viessem a fazer parte do conjunto de dados de cada comunidade. Esse sistema pode ser configurado para só permitir o envio dos dados, por exemplo, após o completo preenchimento das informações necessárias, alertando os técnicos para a verificação de todas as informações julgadas como de elevada importância.

Outro benefício que pode ser alcançado com a informatização dos dados é a economia de tempo em digitalizar e repassar os dados à secretaria, visto que os mesmos já se encontrariam em plataforma de acesso remoto dos colaboradores responsáveis pela gestão dos sistemas. A melhor forma de realização dessa informatização pode ser discutida entre os gestores do sistema, através da Secretaria e das empresas contratadas para a realização das manutenções. Esse tipo de plataforma para inserção de dados deve funcionar sem a necessidade de rede, visto que há uma grande dificuldade no acesso à internet móvel para a transmissão de dados em áreas remotas.

4.5.3 Instalação de novos sistemas

Para a instalação de novos sistemas, é necessária a identificação de localidades onde a implantação de um dessalinizador implicará em benefícios para a localidade, o que só é possível por meio do bom funcionamento do sistema. O Programa Água Doce - PAD (BRASIL, 2012) traz uma série de requisitos que compõe o Índice de Condição de Acesso a Água - ICAA, os quais definem a ordem dos municípios na prioridade de recebimento de um sistema de dessalinização por meio da osmose reversa.

Contudo, esse índice qualifica os municípios, não as localidades em que o sistema será instalado. Uma localidade remota inserida dentro de um município “A” que tenha um ICAA menor que um município “B” com índice mais crítico, não receberá o sistema, mesmo que essa localidade tenha maior dificuldade de acesso à água do que qualquer outra localizada no município “B”.

Como esse critério foi definido e está sendo seguido pelo Governo Federal na instalação de Sistemas de Abastecimento de Água - SAAs nos municípios do semiárido brasileiro, cabe às autoridades estaduais complementar esse benefício nas localidades que não serão atendidas pela implantação do PAD.

Entre 2020 e 2021 foi realizado um cadastro de todas as localidades presentes no interior do Estado de Pernambuco, como parte das ações da SEINFRA/SERH para a solução dos problemas de abastecimento da região semiárida do Estado ¹¹. Por meio desse cadastro é possível identificar todas as formas de abastecimento de água das localidades, além da quantidade de habitantes e outras informações relevantes à verificação da necessidade de água das comunidades instaladas.

Após a identificação das localidades mais críticas de abastecimento de água potável, uma visita técnica-sócio-ambiental deve ser realizada para averiguação da real situação da localidade. Nessa visita deve ser analisada a situação da fonte da água subterrânea e a coleta de amostras de água para verificação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, além da vazão do poço e possibilidade de descarte adequado da água salina. Essa visita tem por fim definir se a água daquela fonte tem potencial de alimentar um dessalinizador, e a comunidade tem responsabilidade e interesse pelo sistema, gerando a possibilidade de ter como produto água potável para abastecer a comunidade.

Outro critério importante a ser verificado antes da escolha da localidade para instalação de um sistema de dessalinização é o nível de interesse da população local. Nas visitas a campo foi verificado que algumas famílias não fazem uso da água dessalinizada presente em sua localidade por não acreditarem que a água produzida pelo sistema seja de qualidade, ou porque a água que é fornecida às localidades, por meio do projeto carro-pipa do exército, tem acesso mais cômodo.

Sendo o envolvimento da localidade essencial para o bom desempenho de um sistema de dessalinização, a aceitação e envolvimento dos moradores da localidade que serão beneficiados é indispensável. As atividades desenvolvidas pelos moradores também é um fator que importa no momento de decisão do que fazer com a parte da

¹¹ Informação obtida a partir dos gestores da SEINFRA/SERH, em agosto de 2021.

dessalinização correspondente ao concentrado. Em localidades com população ativa, vale o estudo para aproveitamento desse produto em diversas atividades econômicas, além de somente implantar o tanque para evaporação da água.

A identificação e capacitação dos operadores do sistema também é importante na fase de pesquisa da localidade. Se há na comunidade, pessoas dispostas a se comprometerem com o dessalinizador a ponto de se profissionalizarem para sua operação, as chances de sucesso no funcionamento do equipamento serão mais evidentes. Todas as percepções possíveis e visíveis para o empenho de uma localidade no êxito do sistema devem ser levadas em conta, além dos fatores técnicos que permitam a instalação de um dessalinizador nas localidades em avaliação.

Dessa forma, todas as esferas do governo trabalhariam em prol da convivência com a seca e amenização do sofrimento que é a falta de abastecimento de água em localidades difusas da região semiárida. Tornando mais palpável a existência de vida com qualidade, mesmo nas regiões mais remotas do estado de PE e de outros que têm a seca e solos cristalinos como realidade.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

No semiárido do estado de Pernambuco, mais de 200 sistemas de dessalinização por osmose reversa contribuem com o acesso de famílias inteiras à água potável a partir da água salobra de poços. Essa tecnologia social de convivência com a seca conta com um elevado investimento tanto do Governo Estadual quanto de instituições públicas que buscam colaborar com a amenização do sofrimento que é a falta de acesso à água de qualidade nas comunidades difusas presentes nas zonas rurais das áreas mais secas do Estado.

Esse elevado investimento vai desde a aquisição e implantação do sistema até gastos com a manutenção e renovação dos materiais essenciais para o bom funcionamento dos dessalinizadores. No entanto, apenas o elevado investimento feito não é sinônimo de sucesso, visto que o maquinário do sistema não funciona sem uma estrutura base e sem a devida operação do sistema. Por isso há, em meio a tantos casos de sucesso, muitos sistemas paralisados por diversos motivos distintos.

O sucesso de um sistema de dessalinização não está ligado apenas à necessidade da comunidade, visto que o fator hidrogeológico é essencial na alimentação do sistema, e um grande número deles é paralisado por insuficiência das vazões disponíveis nos poços das localidades. Foi comprovada a importância de uma rede elétrica nas localidades, visto que a maioria das causas de insucesso é devida a falta de ligação ou instalações elétricas, cortes na alimentação de energia do sistema e, ainda, bombas elétricas – que tem um custo relativamente elevado – quebradas ou nunca instaladas.

O investimento no equipamento para instalação e aproveitamento de energia fotovoltaica nos sistemas de dessalinização de Pernambuco, é uma alternativa que tende a aumentar o de sucesso de funcionamento de dessalinizadores, na região semiárida, para o abastecimento de famílias em comunidades difusas. Essa alternativa esta relacionada principalmente com a diminuição/término da cobrança pelo uso da energia elétrica que tanto causa paralisações nos sistemas.

Em todas as etapas do processo de uso de um sistema de dessalinização, a comunidade e a prefeitura – que são as principais interessadas no sucesso do sistema – devem estar empenhadas. O bom e constante funcionamento desses equipamentos depende desses envolvidos desempenharem com êxito o papel que lhes cabe, visto que a situação de abastecimento de cada município é de pleno conhecimento de seus gestores, e a comunidade é a maior interessada no acesso à água de qualidade.

Outro fator esclarecido é que a água com elevada concentração de sais, que é maioria do produto na dessalinização, ainda não tem destinação adequada na maioria das localidades do estado. Faz-se necessário um estudo sobre as melhores aplicações para esse concentrado (salino), visto que também possui grande potencial de utilização em atividades que admitam o seu uso. Muitos exemplos bem-sucedidos podem ser encontrados em outras comunidades, tanto em Pernambuco, quanto em outros estados no Nordeste.

A capacidade de remoção de sais do dessalinizador é imprescindível na avaliação da importância do sistema para a localidade. Um equipamento com baixa eficiência de remoção de sais, sem a capacidade de remoção que lhe é devida, compromete a qualidade da água oferecida à população, tanto quanto o uso da água bruta, com alto teor de sais. O conhecimento desse parâmetro também é importante para a verificação da qualidade dos componentes do sistema, indicando a necessidade ou não de ajustes na manutenção ou na regularidade em que é realizada.

Percebe-se também que o desempenho dos sistemas de dessalinização presentes no Estado, depende principalmente do interesse dos gestores municipais, em levar benefícios às comunidades. Os gestores atuam como facilitadores ou não da operação dos sistemas. Com o estudo nos municípios foi possível perceber que não importa a idade do operador, desde que haja um bom treinamento para o sucesso dessa tecnologia de convivência com a seca.

Os sistemas que não são operados por funcionários concursados da prefeitura, possuem uma grande rotatividade de operadores, o que pode vir a prejudicar o desempenho do sistema. Já quando um sistema é operado por um funcionário permanente do governo municipal/estadual; esses sistemas possuem mais chance de sucesso, do sistema.

A forte disputa política nos municípios do semiárido costuma ser prejudicial ao uso dos dessalinizadores. A criação de critérios técnicos de desempenho ao uso de praticas para enfrentamento a seca, tais como o dessalinizador nas comunidades, é uma medida que pode vir a incentivar a boas praticas e responsabilidade com os sistemas de dessalinização instalados pelo estado. Esses critérios poderiam ser criados para transformar em pontuação para a gestão do município o engajamento e implantação de ações sociais com responsabilidade de operação, manutenção e monitoramento.

Na investigação da eficiência na remoção de sais da água desses sistemas, verificou-se que a média de eficiência para a condutividade elétrica é superior a 80%, mas que esse dado pode ser melhor avaliado quando obtido por meio da quantidade de sólidos totais dissolvidos das amostras. Viu-se também que não existe uma eficiência de remoção de sais mínima específica para atingir a potabilidade da água salobra, visto que a quantidade de sólidos das fontes salobras é variável.

Não é necessária uma eficiência na remoção de sais de 100% para se obter uma água nas condições de potabilidade para o consumo humano. No entanto, é importante verificar periodicamente, qual a qualidade da água que é ofertada à população como água permeada, observando se os valores máximos permitidos para as substâncias estão sendo atendidos.

Verificou-se também que a instituição da cobrança pelo consumo da água dessalinizada é uma medida capaz de trazer inúmeros benefícios para o sistema. O custo anual com manutenção foi inferior a R\$0,01/litro de água potável produzida em todas as localidades, em 2019. Desta forma, qualquer irrisório valor cobrado pelo consumo de água é suficiente para cobrir todos os custos de manutenção, incluindo os mais onerosos como a troca das membranas semipermeáveis de osmose reversa.

O custo de água dessalinizada produzida por um dessalinizador com vazão nominal de 1.200L/hora, funcionando 4h/dia de segunda a sexta-feira é de R\$0,12/litro de água potável. Esse valor considera o total de água potável produzida ao longo de um ano, incluindo os custos com a implantação do sistema. Se retirado o custo de implantação do sistema, o custo/litro de um dessalinizador é de R\$0,02.

A cobrança de uma taxa pelo acesso à água potável dessalinizada a fim de custear a manutenção e operação do sistema implica na melhoria da operação e manutenção dos sistemas. Fator que contribui para o aumento das taxas de sucesso dessa técnica de convivência com a seca nas áreas que enfrentam a baixa disponibilidade hídrica superficial e ainda baixa qualidade da água de fontes subterrâneas.

Essa cobrança colabora ainda na redução dos gastos do Governo do Estado com a visita de técnicos para manutenção, visto que, atualmente, todos os gastos com materiais e serviços são pagos com recurso estadual. O valor que atualmente é investido na manutenção poderia ser empregado na implantação de novos sistemas que beneficiariam centenas de famílias que ainda convivem com a dificuldade de acesso a água potável nas localidades difusas do semiárido pernambucano.

Os sistemas de dessalinização que utilizam a técnica da osmose reversa na remoção de sais são eficientes para o tratamento de água salobra de poços. Essa eficiência, porém, depende que os equipamentos apresentem boas condições de funcionamento, a fim de garantir a produção de água com qualidade consumível para a população presente nas localidades beneficiadas com esses sistemas.

A existência de operadores integrados com a dinâmica de uso do dessalinizador pela comunidade é um fator que agrega valorização da comunidade com o sistema. A prática de operação do sistema na localidade faz com que o operador reconheça o padrão de produção de água do sistema, evitando paralizações por problemas que podem ser facilmente identificados e reparados. Quanto mais a comunidade se sentir responsável pelo sistema e integrada com o mesmo, maior será a sua valorização no município.

A manutenção, além de amenizar os custos de dessalinização, também garante o bom funcionamento do equipamento, aumentando seu tempo de vida útil. Toda melhoria no sistema, é benéfica principalmente para a população difusa que vê na dessalinização uma alternativa à escassa quantidade de água em qualidade aceitável para o consumo.

Os critérios políticos por trás de qualquer iniciativa social, não só na região estudada, mas no país como um todo, também podem vir a impedir que comunidades mais necessitadas recebam o sistema, em detrimento de outras que possam vir a se beneficiar do sistema político dos municípios.

A boa operação de um sistema de dessalinização pode prevenir problemas causados pelo mau uso, além da identificação de características que venham a diminuir os custos com manutenção, uma vez que o acompanhamento e conhecimento do sistema pode permitir a identificação de falhas em sua fase inicial.

5.2 Recomendações

Recomenda-se para trabalhos futuros a análise de alternativas para uso do concentrado nas localidades que possuem o sistema de dessalinização, mas não aproveitam essa água que é subproduto da dessalinização. Outra forma de avaliar a água com alta concentração de sais é investigar se nas localidades em que ela tem sido usada – para diversos fins – tem sido bem empregada, ou se tem gerado algum dano ambiental ao solo das localidades.

Outros parâmetros que influenciam na qualidade da água não foram investigados nesse estudo, além da condutividade elétrica e do teor de STD. Logo, para comprovação da qualidade da água é necessário analisar se, dentre os sais remanescentes na água permeada, parâmetros como dureza, cor, turbidez entre outros, encontram-se dentro dos limites máximos permitidos para consumo humano, que aqui ficam registrados como sugestão para trabalhos posteriores.

No estado de Pernambuco, mais de 60 municípios possuem comunidades com sistemas de dessalinização instalados. O acesso à todos os sistemas para coleta e análise das águas seria importante para avaliar a eficiência na remoção de sais de muitos outros dessalinizadores e ter uma visão geral de quão útil é o uso dessa técnica no nosso estado. Contudo, as dificuldades para localizar todas os equipamentos, além da disponibilidade dos gestores e operadores dos sistemas, não permitiram a investigação dos sistemas em funcionamento nos demais municípios do estado.

Sugere-se também a investigação dos sistemas de dessalinização por meio do PAD, sua evolução, uso e custos, e uma análise comparativa das principais diferenças entre os sistemas instalados pelo PAD e os primeiros dessalinizadores do estado – além daqueles que já se encontram em funcionamento.

A comparação da qualidade e custo-benefício entre um dessalinizador de estrutura simples e cabinada, com as mesmas condições de operação do sistema, também é uma medida para verificar a eficácia do modelo mais compacto e, portanto, menos oneroso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - Agência Nacional De Águas. ANA sugere que água seja centro de políticas públicas. **Notícias**, 2008. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/ana-sugere-que-a-gua-seja-centro-de-polaticas.2019-03-14.0987063738>. Acesso em: 09 jun. 2020.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Relatório de situação de recursos hídricos do Estado de Pernambuco 2011/2012**. Recife: Apac, 2013.
- AL-KARAGHOULI, ALI; KAZMERSKI, LAWRENCE L. Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** (Letter to the Editor), v. 24, p. 343–356, 2013.
- ALLAM, Ahmed R.; SAAF, Ele-Jan; DAWOUD, Mohamed A. Desalination of brackish groundwater in Egypt. **Desalination: The international journal on the science and technology of desalting and water purification**, Amsterdã, vol. 152, p. 19-26, 2003.
- ALMEIDA, Juliano Penteadado de; KUMMER, Ana Carolina Barbosa; CARRANZA, Gabriel; CAMPOS, Luiza Cintra; SZÉLIGA, Marcos Rogério; ACEVEDO, Miguel; Gevarsoni, Ronald; WIECHETECK, Giovana Katie. Eficiência de um sistema piloto de dessalinização de água salobra. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n.1 p. 107-114, 2020.
- AL-OBAIDI, Mudhar. A.; ALSARAYREH, Aktham A.; AL-HROUB, A.M.; ALSADAIED, S.; MUJTABA, Iqbal M. Performance analysis of a medium-sized industrial reverse osmosis brackish water desalination plant. **Desalination**, v. 443, p. 272-284, 2018.
- W.L., Ang; D., Nordin; A.W., Mohammada; A.; Benamor; N., Hilal. Effect of membrane performance including fouling on cost optimization in brackish water desalination process. **Chemical engineering research and design**, n. 117, p. 401–413, 2017.
- ARAÚJO FILHO, José Ambrósio de. Histórico do uso dos solos da caatinga. In: ARAUJO, Quitino Reis de (org). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 329-337.
- AZEVEDO, Andrea Carla de. **Avaliação de políticas públicas para o desenvolvimento regional/local: o caso do Programa Água Doce no semiárido paraibano**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.
- BEZERRA, Vanessa Rosales; LIMA, Carlos Antônio Pereira de; MELO, Valneli Da Silva; ALBUQUERQUE, Maria Virginia da Conceição; MONTERO, Luis Reyes Rosales. Reutilização de rejeito de dessalinizadores na Paraíba. **Mix Sustentável**, Florianópolis, vol. 5, n.1, p. 105-116, 2019.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 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. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 27 set. 2019.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília: Diário Oficial da União, 08 de janeiro de 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 05 ago 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). **Portaria nº 3.174, de 02 de dezembro de 2019.** Dispõe sobre o Programa Nacional de Saneamento Rural e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 02 de dezembro de 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-3.174-de-2-dezembro-de-2019-231273910>. Acesso em: 17 nov. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa água doce** – documento base. Brasília: Distrito Federal, 2012.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). MDR investe R\$ 33,2 milhões na instalação de 170 dessalinizadores em Pernambuco. **Notícias** [site], Brasília, 27 de Abril de 2020. Disponível em: <https://www.mdr.gov.br/ultimas-noticias/12819-mdr-investe-r-33-2-milhoes-na-instalacao-de-170-dessalinizadores-em-pernambuco-pe>. Acesso em: 30 jul. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Programa Água Doce conclui repasse de recursos para Pernambuco. **Notícias** [site], Brasília, 10 de novembro de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/programa-agua-doce-conclui-repasse-de-recursos-para-pernambuco>. Acesso em: 08 nov. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). MDR lança capacitação para operadores do Programa Água Doce e plataforma de tecnologias e serviços para o Semiárido. **Notícias** [site], Brasília, 23 de março de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/mdr-lanca-capacitacao-para-operadores-do-programa-agua-doce-e-plataforma-de-tecnologias-e-servicos-para-o-semiarido>. Acesso em: 08 nov. 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, e dá outras competências. Brasília: Diário Oficial da União, 16 de julho de 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm. Acesso em: 17 ago. 2020.

BRASIL. **Medida provisória nº 1.021, de 30 de dezembro de 2020.** Dispõe sobre o valor do salário mínimo a vigorar a partir de 1º de janeiro de 2021. Brasília: Diário Oficial da União, 31 de dezembro de 2020. Disponível em: <http://www.normaslegais.com.br/legislacao/medida-provisoria-1021-2020.htm>. Acesso em: 02 jun. 2021.

BRIÃO, Vandrê Barbosa; MAGOGA, Jonas; HEMKEMEIER, Marcelo; BRIÃO, Edesnei Barbosa; GIRARDELLI, Laisa; SBEGHEN, Luana; FAVARETTO, Danúbia Paula Cadore. Reverse osmosis for desalination of water from the Guarani Aquifer System to produce drinking water in southern Brazil. **Desalination: The international journal on the science and technology of desalting and water purification**, Amsterdã, v. 344, p. 402-411, 2014.

CASTRO, Sebastião Venâncio de. **Análise do Sistema Integrado de Saneamento Rural – Sisar, em sua dimensão político-institucional, com Ênfase no empoderamento das**

comunidades participantes. 2015. Tese (doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

CHAHIN, Ricardo Reis. Gestão da Demanda de Água Através de Convênios e Parcerias com o Governo do Estado de São Paulo e Prefeitura da Cidade de São Paulo – SABESP. *In: International Workshop: Advances in Cleaner Production*, 3., 2011, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Universidade Paulista, 2011. 8 p.

CHU, Kyoung Hoon; OH, Byoung Geu; KOOK, Seungho; KO, Jeongho; LIM, Jihun; KIM, Hyeong Kyu; CHAE, Kyu-Jung; HWANG, Moon-Hyun. Operational strategies for brackish water desalination plants in island regions of South Korea. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123540, 2021.

CIRILO, José Almir. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**, São Paulo, n. 106, p. 45-58, 2015.

CIRILO, José Almir.; SILVA, Simone Rosa da.; JUCÁ, Marcella Vasconcelos Q.; FERREIRA, José de Assis; RAMOS, Nyadja Menezes R. Sistemas de dessalinização no semiárido pernambucano. **Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades**, Recife: CREA-PE, v. 14, n. 14, [2022]. No Prelo.

COMPANHIA DE ENGENHARIA HÍDRICA E SANEAMENTO DA BAHIA (CERB). Manual de dessalinizador. **Sala de imprensa: publicações**, Salvador, 16 de março de 2011. Disponível em: [http://www.cerb.ba.gov.br/sites/www.cerb.ba.gov.br/files/sala_de_imprensa/publicacoes/MANUAL%20DESSANILIZADOR\[1\].pdf](http://www.cerb.ba.gov.br/sites/www.cerb.ba.gov.br/files/sala_de_imprensa/publicacoes/MANUAL%20DESSANILIZADOR[1].pdf). Acesso em: 18 abr. 2020.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Manual de medições in loco: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido**, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geologia_medica/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf. Acesso em: 27 abr. 2020.

CONDEPE/FIDEM) - Agência Estadual De Planejamento E Pesquisas De Pernambuco. **Bacia hidrográfica do rio Goiana e sexto grupo de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos – GL6: Série bacias hidrográficas de Pernambuco nº 2**. Recife, 2005, 65 p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 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. Brasília: Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

COSTA FILHO, Waldir Duarte; COSTA, Waldir Duarte. Caracterização hidrogeológica do estado de Pernambuco. *In: Joint World Congress on Groundwater*, 1., 2000, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), 2000, 19 p.

COSTA NETO, Pedro Luis de Oliveira. Estatística. 3 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

COSTA, Victor Sobrinho. **Plano de manutenção em um sistema de dessalinização de água em Ipirá-BA**. 2018. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2012.

CPRH-PE - Agência Estadual de Meio Ambiente, Pernambuco. **(Diagnóstico socioambiental - litoral norte: o meio físico da área.** Publicações CPRH/MMA – PNMA 11. 10p., 2005.

DE SÁ MOREIRA, Marina; SANTOS, Ivan Felipe S.; FREITAS, Liliam Ferreira; FREITAS, Flávio Ferreira; BARROS, Regina Mambeli; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. Energy and economic analysis for a desalination plant powered by municipal solid waste incineration and natural gas in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-28, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Obtenção de água potável por osmose inversa com acondicionamento dos rejeitos.** Petrolina, 1999.

FERREIRA, Daianni Ariane da Costa; FERREIRA, Ana Kaline da Costa; MARINHO, Ana Cecília da Costa Sinclair; CAVALCANTE, Fernanda Lima; TRAVASSOS, Kaline Dantas; SOUSA, Ana Cláudia Medeiros. Qualidade da água dessalinizada destinada às comunidades rurais de Mossoró/RN". São Paulo. *In: Encontro Regional de Química, 5; Encontro Nacional de Química, 4.*, 2015, São Paulo. **Anais[...]**.São Paulo: Blucher Chemistry Proceedings v.3, n.1, 2015, p. 1080-1090.

FREIRE, Eduardo Machado; MARCO, Fernando Silva Di; MARTINS, Viviade de A. Prado. **Análise comparativa da viabilidade ambiental, financeira, comercial e tecnológica entre métodos de dessalinização.** 2015. Monografia (Graduação). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

FREITAS, Marcos Alexandre de. **Hidrogeoquímica e isotopia de águas com alta salinidade do Sistema Aquífero Serra Geral na região do alto rio Uruguai, Brasil.** 2016. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR).** Brasília, DF: Ministério da Saúde. 2019. ISBN: 978-85-7346-065-0. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf. Acesso em: 18 nov. 2021.

GAIO, Susana Sofia Marques. **Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica.** 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Faculdade de ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

GOMES, Albert Tiago Porto; BORJA, Patrícia Campos. PROGRAMA ÁGUA DOCE (PAD) E CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO: UMA AVALIAÇÃO DA AUTOGESTÃO DOS SISTEMAS A PARTIR DO MUNICÍPIO DE BRUMADO NA BAHIA. In: **48º Congresso Nacional de Saneamento da Assemae-Anais.** Assemae, Fortaleza/CE. 2018.

GOOGLE. 2012. **Google Maps.** Disponível em: <https://www.google.com/maps/dir/Cumaru,+PE,+55655-000/Riacho+das+Almas,+PE,+55120-000/@-8.0704379,-35.9030386,11z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x7abcdcc4b1ee9c1:0xa693b1b73c83024b!2m2!1d-35.6991942!2d-8.0045473!1m5!1m1!1s0x7aa29700cb8f63d:0xf29e4b28d0442e6a!2m2!1d-35.8545744!2d-8.1358177!3e0>. Acesso em 26 out. 2021.

GUERREIRO, Mário Luís F. Brandão. **Dessalinização para produção de água potável: perspectivas para Portugal**. 2009. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

HIRATA, Ricardo; CONICELLI, Bruno Pirilo; PINHATTI, Antonio; LUIZ, Mariana Bernardino; PORTO, Rubem; FERRARI, Luiz. O sistema Aquífero Guarani e a crise hídrica nas regiões de campinas e são paulo (sp). **Revista USP**, São Paulo, n. 106, p. 59-70, 2015.

IDA - INTERNACIONAL DESALINATION ASSOCIATION . **31º Inventário Mundial de Plantas Dessalinizadoras da Associação Internacional de Dessalinização**, 2018. <https://idadesal.org/> (página inicial). Acesso em 03 ago. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>. Acesso em: 09 dez. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Censo Demográfico 2010: Características da população e dos domicílios. Resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 270 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 24 ago 2021.

IPA - INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. Pernambuco vai mapear o acesso à água nas comunidades rurais. **Notícias** [site], Recife, 09 de junho de 2020. Disponível em: <http://www.ipa.br/novo/noticia?n=2262>. Acesso em: 05 ago. 2020.

JACOMINE, Paulo Klinger Tito. Caracterização do estágio atual dos solos sob Caatinga. In: ARAUJO, Quitino Reis de (org). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 365-397.

JONES, Edward; QADIR, Manzoor; VAN VLIET, Michelle T. H.; SMAKHTIN, Vladimir; KANG, Seong-mu. The state of desalination and brine production: A global outlook. **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 1343-1356, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076><https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>.

KABIR, Kazi M.; MATIN, Mahmud A.; MISRAN, H.; AMIN, Nowshad. Solar photovoltaic assisted cost-efficient brackish water purification system. In: **2018 4th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (iCEEICT)**. Ieee, 2018. p. 510-513. <https://doi.org/10.1109/ceeict.2018.8628127>.

KUBITZA, Fernando. Tilápia em água salobra e salgada. In: **Revista Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, vol. 15, nº 88, p. 14-18, 2005.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Brasília: Embrapa, 2001. (Documentos 33). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/23443/1/doc-33.pdf>. Acesso em: 25 set. 2019.

LIU, Xitong; SHANBHAG, Sneha; BARTHOLOMEW, Timothy V.; WHITACRE, Jay F.; MAUTER, Meagan S. Cost comparison of capacitive deionization and reverse osmosis for brackish water desalination. **ACS ES&T Engineering**, v. 1, n. 2, p. 261-273, 2021.

LOPES, Tiago Motta Novaes. **Caracterização experimental de um dessalinizador de água por membrana polimérica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), 2018. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

LUO, Tianyi; YOUNG, Robert; REIG, Paul. Aqueduct projected water stress country rankings. **Technical Note**. Washington, D.C.: World Resources Institute, 2015. Disponível em: www.wri.org/publication/aqueduct-projected-water-stresscountry-rankings. Acesso em: 17 jul. 2020.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas subterrâneas**: um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília, 2007. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf Acesso em: 15 jun. 2020.

MS - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Gabinete do Ministro, [2017]. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-desetem-bro-de-2017.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2020.

MOCOCK, Juliana Ferreira Bezerra; PÊSSOA, Clarissa Nogueira; KOHLMAN RABBANI, Emilia Rahnemay. Estudo dos métodos de dessalinização de águas subterrâneas: proposta mais adequada para abastecimento de populações difusas do semiárido brasileiro. *In*: Fórum Ambiental da Alta Paulista, 14 (versão online), 2018, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ANAP, 2018.

MOGHEIR, Yunes; FOUL Ahmad A.; ABUHABIB, A. A.; MOHAMMAD, A. W. Assessment of large scale brackish water desalination plants in the Gaza Strip. **Desalination**, v. 314, p. 96-100, 2013.

MOHSEN, Mousa S.; AL-JAYYOUSI, Odeh R. Brackish water desalination: an alternative for water supply enhancement in Jordan. **Desalination: The international journal on the science and technology of desalting and water purification**, Amsterdã, vol. 124, p. 163–174, 1999.

NEOSOLAR. **Neosolar**: energia solar fotovoltaica, 2021. Tabela-kit fotovoltaico. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/tabela-kit-bomba-solar>. Acesso em: 30 mai. 2021.

NEVES, Antônia Leila Rocha; ALVES, Mailson Pereira; LACERDA, Claudivan Feitosa de; GHEYI, Hans Raj. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, vol. 12, n. 1, p. 124-135, 2017.

PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH-PE)**, v.8, 1998.

PATEL, Sohun K.; BIESHEUVEL, P. Maarten; ELIMELECH, Menachem. Energy Consumption of Brackish Water Desalination: Identifying the Sweet Spots for Electrodialysis and Reverse Osmosis. **ACS ES&T Engineering**, v. 1, n. 5, p. 851-864, 2021. <https://doi.org/10.1021/acsestengg.0c00192>.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos (SRH); Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). **Projeto de sustentabilidade hídrica de Pernambuco - manual de operações**. Recife, 2012. Disponível em: http://www.srh.srh.pe.gov.br/site/attachments/article/309/MANUAL%20DE%20OPERA%C3%87OES_PSHPE.pdf. Acesso em: 17 ago. 2020.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE). **Dessalinizadores**, 2012. Disponível em: http://www.sirh.srh.pe.gov.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=464. Acesso em: 01 abr. 2020.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.922, de 18 de março de 2013**. Institui a Política Estadual de Convivência com o Semiárido. Pernambuco: Diário Oficial do Estado. Recife, 2013. Disponível em: [https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=14922&complemento=0&ano=2013&tipo=&url=#:~:text=\(Regulamentada%20pelo%20Decreto%20n%C2%B0,de%20Conviv%C3%Aancia%20com%20o%20Semi%C3%A1rido](https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=14922&complemento=0&ano=2013&tipo=&url=#:~:text=(Regulamentada%20pelo%20Decreto%20n%C2%B0,de%20Conviv%C3%Aancia%20com%20o%20Semi%C3%A1rido). Acesso em: 02 set. 2020.

PERNAMBUCO. **Diário Oficial do Estado, 18 de julho de 2020**. Poder Executivo, ano XCVII, n. 132, Recife, 2020.

QTAISHAT, Tala H; SEDER, Nayef; AL-KARABLIEH Emad K.; SALMAN Amer Z.; TABIEH Mohammad A.; AL-QUDAH Hussain F. Economic analysis of brackish-water desalination used for irrigation in the Jordan Valley. **Desalin. Water Treat**, v. 72, p. 13-21, 2017.

RAO, Prakash; MORROW, William R.; AGHAJANZADEH, Arian; SHEAFFER, Paul; DOLLINGER, Caroline; BRUESKE, Sabine; CRESKO, Joe. Energy considerations associated with increased adoption of seawaterdesalination in the United States. **Desalination: The international journal on the science and technology of desalting and water purification**, Amsterdã, vol. 445, p. 213-224, 2018.

REBOUÇAS, Aldo da Cruz. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B; TUNDISI, J G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

REBOUÇAS, Aldo da Cruz. Água e desenvolvimento rural. **Estudos Avançados**, São Paulo v. 15, n. 43, p. 327-344, 01 dez. 2001.

REBOUÇAS, Aldo da Cruz. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia análise & dados**, Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.

REED, L. K. Capacity building as a policy instrument in water conservation: a case study on commercial, industrial, and institutional consumers. **Water Resources Management**, European Water Resources Association (EWRA) v. 26, n. 13, p. 3819–3829, 2012.

ROCHA, Thelma Soares da. **Avaliação da qualidade das águas dos poços da bacia do rio do peixe equipados com dessalinizadores, com vista ao aproveitamento econômico do sal de rejeito**. 2008. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

ROLAND, Nathalia; HELLER, Léo; REZENDE, Sonaly. A entrada na agenda brasileira do Projeto Nacional de Saneamento Rural (1985). **Revista de Administração Pública**, v. 54, p. 1654-1671, 2020.

ROSA FILHO, Ernani Francisco da; BITTENCOURT, André Virmond Lima; HINDI, Eduardo Chemas; BITTENCOURT, Alexander. Estudo sobre os tipos das águas e as

condicionantes estruturais do Sistema Aquífero Guarani no extremo oeste do estado do Paraná. **Revista Águas Subterrâneas**, v.20, n.2, p.39-48, 2006.

RUIZ-GARCÍA, Alejandro; NUEZ, I. Long-term intermittent operation of a full-scale BWRO desalination plant. **Desalination**, v. 489, p. 114526, 2020.

SANTOS, Mauro Carneiro dos (org.). Solos do semiárido do Brasil. **Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades** / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco, v. 10, n. 10, 2017. Recife: EDUFRPE, 2017.

SCHISTEK, Harald. **A água no semiárido brasileiro**. Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (site), publicações, cartilhas e livros; [20-]. Disponível em: <https://irpaa.org/ebookbr/master.htm>. Acesso em: 29 mar. 2020

SEINFRA/SERH - SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Secretária Executiva de Recursos Hídrico. **Estudo de modelos de gestão de sistemas rurais de abastecimento de água e esgotamento sanitário para o estado de Pernambuco**. Recife, 2018.

SEINFRA/SERH - SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Secretária Executiva de Recursos Hídricos. **Fichas de cadastro e manutenção dos sistemas de dessalinização do estado de Pernambuco**. Recife/PE: Acquapura, 2019.

SHEA, Andrew, L. Status and Challenges for Desalination in the United States. *In: Japan - U.S. Joint Conference On Drinking Water Quality Management and Wastewater Control*, 4 mar. 2009, Las Vegas, 2009. **Environmental Protection Agency** (document), Washington, 2009. Disponível em: <https://www.niph.go.jp/soshiki/suido/pdf/h21JPUS/abstract/r9-1.pdf>. Acesso em: 29 out. 2019.

SHIKLOMANOV, Igor Alekseyevich. **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris: UNESCO, 1998.

SILVA, Carlos Henrique R. Tomé. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil. *In: Temas e agendas para o desenvolvimento sustentável* (Boletins do Legislativo). Brasília: Senado Federal, 2012.

SILVA, Héliida Karla Philippini da; SILVA, Vicente Natanael L.; SILVA, Marcílio Monteiro da. Projeto de recuperação e manutenção de dessalinizadores de água subterrânea no semiárido do estado de Pernambuco. *Revista Águas Subterrâneas* (eletrônico). **Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2014.

SILVEIRA, Ana Paula P.; NUVOLARI, Ariovaldo; DEGASPERI, Francisco Tadeu; Firsoff, Wladimir. **Dessalinização de Águas**. São Paulo: Oficina de texto, 2015.

SISTEMA INTEGRADO DE SANEAMENTO RURAL (SISAR). **O Modelo de Gestão Sisar. Banco de práticas ODS 2018**. Fortaleza, 2018.

SISAR - Sistema Integrado de Saneamento Rural. **Modelo de Gestão Sisar**. Banco de práticas ODS 2018. Fortaleza, Ceará: ENAP, 2018. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/3635/1/SFL%20-%20Modelo%20de%20Gest%c3%a3o%20SISAR%20-%20final.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

SOARES, Tales M.; SILVA, Iran J. O. da; DUARTE, Sergio N.; SILVA, Ênio F. de F. E. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p. 730-737, 2006.

SOUSA, Carlos Di Stefano Silva; SOUSA, Scarlet Cristina Silva; ALVARES, Aline Melo. Diretrizes normativas para o saneamento básico no Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v.25, n.43, p. 102-115, 2015.

SOUSA, James. Optimal management of water distribution networks with simulated annealing: the c-town problem. **Journal of Water Resources Planning and Management**, United States, v. 142, n. 5, p. 1–9, 2016.

SOUSA NETO, Osvaldo Nogueira de; DIAS, Nildo da Silva; FERREIRA NETO, Miguel; LIRA, Raniere Barbosa de; REBOUÇAS, Jonatas Rafael Lacerda. Utilização do rejeito da dessalinização da água na produção de mudas de espécies da caatinga. In: **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 123-129, 2011.

STANTON, Jennifer S.; DENNEHY, Kevin F. Brackish groundwater and its potential to augment freshwater supplies. US Department of the Interior, **US Geological Survey**, 3054, 4 p, 2017. <https://doi.org/10.3133/fs20173054>.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Mapa de delimitação do semiárido**. Ministério da Integração Nacional: SUDENE, 2017. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/mapa-semiarido-1262municipios-Sudene.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do Semiárido - 2021**. Ministério da Integração Nacional: SUDENE, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiario/relatorionv.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022.

TAHA, Manal; AL-SA'ED, Rashed. Application potential of small-scale solar desalination for brackish water in the Jordan Valley, Palestine. **International Journal of Environmental Studies**, v. 75, n. 1, p. 214-225, 2018.

TORRI, Júlia Betina. **Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Diplomação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Secondary drinking water standards - Guidance for nuisance chemicals**. U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www.epa.gov/sdwa/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals>. Acesso em: 20 set. 2021.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Aqueduct Water Risk Atlas**, 2020. Disponível em: https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=w_awr_def_tot_cat&lat=-17.644022027872726&lng=-62.7539062500001&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=optimistic&scope=baseline&timeScale=annual&year=baseline&zoom=3. Acesso em: 17 jul. 2020.

YOUNOS, Tamim; TULOU, Kimberly E. Overview of Desalination Techniques. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, Virginia, v. 132, n. 1, p. 3-10, 2005.

ZANATTA, Lauro César; ANDRADE, Carlos Augusto Viana; COITINHO, João Batista Lins. Qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Guarani para abastecimento público no estado de Santa Catarina. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas [**anais**]. São Paulo, v. 22, n. 1, 2008.

**ANEXO A –
Modelo de Ficha técnica de visita de manutenção**

FICHA TÉCNICA DE VISITA, CADASTRO, MANUTENÇÃO E INSTALAÇÃO						Acqua Pura	
1. DADOS DO CLIENTE E LOCALIDADE							
Cliente:	SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DE PERNAMBUCO					Data Visita:	
Endereço:	CUMARU			Localidade:	VILA DE POÇOS		
Latitude(S):	x			Longitude (W):	Ruim ()		
Quantidade Casas Usuaris:	600	Escola? Sim (x) Não ()	Posto Saúde? Sim (x) Não ()				
Nome Responsável:	MONICA					Telefone:	18181807620
Proprietário:	+ J. de Jesus Borges Junior					Telefone:	
Equipamento funcionando?	Sim (x) Não ()						
2. DADOS DOS EQUIPAMENTOS							
Equipamento:	PERENEUE			Estrutura:	SEM PLAS		
Vaso(S)	NACIONAL	Quantidade:	2	Quantidade de Membranas	5		
Bomba Alta Pressão:	DALCOR	CV/HP:	3	Voltagem:	220		
Bomba Auxiliar/Modelo:	NÃO	CV/HP:		Voltagem:			
Bomba Limpeza/Modelo:	NÃO	CV/HP:		Voltagem:			
Bomba Dosadora:	PRATTA			Pré-filtro:	Quantidade:	3	
Rotômetro:	Quantidade:	NÃO	Vazão Permea:	Quantidade:	Vazão Concom:		
Manômetro:	Quantidade:	2	Pressão:	0,450	Quantidade:	E	
Estrutura do Equipamento:	PITURA			Mangueira do Manômetro:	Bitola:		
Quadro de Comando	Falta de Fase (fab./esc.)	NÃO			Sistema de Automação	NÃO	
	Relé Térmico (fab./esc.)	NÃO			Bola na caixa de alimentação	NÃO	
	Voltímetro (fab./esc.)	SIM			Bola na caixa do permeado	NÃO	
	Amperímetro (fab./esc.)	SIM			Manual / Automático	NÃO	
	Emergência	NÃO	Signalizador	NÃO	Horímetro (fab./hora)	NÃO	
Tubulações e Conexões	PVC	32-25-20					
	PPE CHC	28-22					
	Registros:	32-25-20					
	Valvulas Insc:	5/4					
Manguéras:							
3. POÇO, REDE HIDRÁULICA E ELÉTRICA							
Origem da Água Tratada:	POÇO		Profundidade:	40m	Vazão:	1,20	Horas operação:
Bomba do Poço:				CV/HP:	Voltagem:		
Ratô de Nível ()	Situação:	Ruim ()	Regular (x)	Otimo ()	Bola do Poço ()	Situação:	Ruim ()
Bola Água Bruta ()	Situação:	Ruim ()	Regular ()	Otimo ()	Bola Permeado ()	Situação:	Ruim ()
Situação do Quadro Elétrico:	Ruim ()		Regular (x)	Otimo ()	Observação:	Foto ()	
4. CONSTRUÇÃO CIVIL							
Abrigo Desalinizador:	Ruim (x)	Regular (x)	Otimo ()	Internamente:	Ruim (x)	Regular ()	Otimo ()
Bases caixas:	Ruim (x)	Regular (x)	Otimo ()	Cx D'Água:	3	Capacidade:	5.000
Tubulações e Conexões	PVC ()	50	32				Foto ()
Chafariz:	Ruim ()	Regular (x)	Otimo ()				Foto ()
5. MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO							
PARAMETROS	LOCAL	ANTES MANUTENÇÃO	DEPOIS MANUTENÇÃO	VOLTAGEM ALIMENTAÇÃO			
VAZÃO	Permeado	NÃO TEM		380			
	Concentrado	420 TEM		TEMPERATURA ÁGUA ALIMENTAÇÃO			
TDS	Água Bruta	4282					
	Água de Permeado	1000 EFO					
	Água Concentrado	5595					
CONDUTIVIDADE	Água Bruta	8409					
	Água de Permeado	312					
	Água Concentrado	120					
PRESSÃO	Bomba do poço	—		OBSERVAÇÕES:			
	Antes filtros polimento	0 PSI					
	Após filtro polimento	—					
	Após bomba alta	200					
pH	Água Bruta	2.50					
	Água de Permeado						
	Água Concentrado						
BOMBA ALTA	Amperagem						
BOMBA AUXILIAR	Amperagem						
IMPORTANTE: VERIFICAR TODOS OS PARÂMETROS, EQUIPAMENTOS, FILTROS, FLOCON, REDES HIDRÁULICAS, POÇO, RESERVATÓRIOS DE FORMA DE NÃO SÓ CORRIGIR DEFEITOS E PREVENIR QUEBRAS FUTURAS.							

6. CHECK LIST DO SISTEMA						
DESSALINIZADOR	RUIM ()	REGULAR (X)	BOM ()	FOTO ()	Observação	
BOMBA DE ALTA PRESSÃO	RUIM ()	REGULAR (X)	BOM ()	FOTO ()	Observação	
BOMBA AUXILIAR	RUIM ()	REGULAR ()	BOM ()	FOTO ()	Observação	
BOMBA RETROLAVAGEM	RUIM ()	REGULAR ()	BOM ()	FOTO ()	Observação	
BOMBA DOSADORA	RUIM ()	REGULAR (X)	BOM ()	FOTO ()	Observação	
BOMBA SUBMERSA	RUIM ()	REGULAR (X)	BOM ()	FOTO ()	Observação	
ABRIGO	RUIM (X)	REGULAR ()	BOM ()	FOTO ()	Observação	
RESERVATÓRIOS	RUIM ()	REGULAR ()	BOM ()	FOTO ()	Observação	
TANQUE DO CONCENTRADO	RUIM ()	REGULAR ()	BOM ()	FOTO ()	Observação	
TANQUE DO CONCENTRADO	RUIM ()	REGULAR ()	BOM ()	FOTO ()	Observação	
REDE ELETRICA	RUIM ()	REGULAR (X)	BOM ()	FOTO ()	Observação	
POÇO	RUIM ()	REGULAR (X)	BOM ()	FOTO ()	Observação	
CHAFRIZ	RUIM ()	REGULAR (X)	BOM ()	FOTO ()	Observação	
MORADORES COLETANDO ÁGUA BOA				FOTO ()	Observação	
GERAL COM PLACA COM O NOME DA LOCALIDADE				FOTO ()	Observação	
7. TANQUE E CONCENTRADO						
INFORMAÇÕES (FOTOS LOCAL SAÍDA E DO ENTORNO DO CONCENTRADO E DE TANQUES SE EXISTIR)						
QUANTIDADE:	—	Dimensões:	Comprimento:	—	Largura:	—
Nível (cm)	—	Média de horas trabalho / dia		—	Profundidade:	—
Utilização Água do Concentrado para que?:				ÁGUA NO SOLO		
Concentrado causa danos ao local onde é derramado, se sim quais?:				NÃO		
8. ESTOQUE DE INSUMOS						
Estoque de Elemento Filtrante:	SIM ()	NÃO (X)	Tip:		Quantidade:	
Estoque de Anti-incrustante:	SIM ()	NÃO (X)	Tip:		Quantidade:	
9. SERVIÇOS EXECUTADOS:						
Limpesa Química:	Marcar	Hora Inicial:	Hora Final:	PRODUTO QUIMICO UTILIZADO	QUANTIDADE	UND
ACIDA						
ALCALINA						
DESINFECTANTE						
OUTROS SERVIÇOS EXECUTADOS:						
ESTALACAÇÃO DA BOMBA DE ALTA						
ESTALACAÇÃO DOS ROTAMENTOS SÁZS E BOMBA						
OXIG. A E TROCA DOS VASO E MEMBRANAS						
OBSERVAÇÕES:						

ANEXO B –
Custos de serviços realizados durante as visitas de manutenção

Material/serviço	Preço
BOMBA BOSSTER 2CV - 380V	R\$ 5.043,50
SUBSTITUIÇÃO DE ELETROBOMBA CENTRIFUGA MULTI-ESTÁGIO DE ALTA PRESSÃO ATÉ 3CV - MONOFÁSICA	R\$ 3.584,06
SUBSTITUIÇÃO DO CONJUNTO ELETROBOMBA SUBMERSA, 220 V MONOFÁSICA COM POTÊNCIA DE 1/2 A 1CV, C/ROTOR EM AÇO INOXIDÁVEL.	R\$ 2.947,58
KIT IMPULSOR DANCOR 3.2B25	R\$ 2.666,66
SUBSTITUIÇÃO DE VASO (TUBO DE PVC) DE ALTA PRESSÃO DE 2 SEÇÕES PARA MEMBRANAS DE 4"	R\$ 2.653,30
EIXO INTERMEDIÁRIO AÇO INOX 4 A 7,5CV	R\$ 2.100,00
SUBSTITUIÇÃO DE MEMBRANA DE OSMOSE INVERSA COM DIÂMETRO DE 4" E COMPRIMENTO 40" (PERCENTUAL DE REJEIÇÃO DE SAIS 99,5%) PARA ÁGUA COM RESÍDUO SECO ATÉ 10.000 PPM	R\$ 2.055,54
KIT CONJUNTO DE 25 ROTORES PARA BOMBA DE ALTA PRESSÃO	R\$ 1.886,00
BOMBA AUXILIAR 1/3	R\$ 880,00
SUBSTITUIÇÃO DE ELETROBOMBA CENTRIFUGA AUXILIAR DE ATÉ 1/2 CV MONOFÁSICA 220 V 60 HZ	R\$ 733,11
SUBSTITUIÇÃO DE ELETROBOMBA CENTRIFUGA AUXILIAR DE ATÉ 1/2 CV MONOFÁSICA 220 V 60 HZ	R\$ 707,60
SERVIÇO DE PARAMETRIZAÇÃO E TROCA DE PLACA IHM DO ADV50 -GEFRAN	R\$ 680,00
PLACA BOMBA DOSADORA	R\$ 509,00
REVISÃO GERAL DE BOMBAS	R\$ 488,73
EIXO INTERMEDIÁRIO AÇO INOX 4 A 7,5CV	R\$ 380,00
ENROLAR O MOTOR	R\$ 290,00
FRENTE DA CARÇAÇA AUXILIAR CP4	R\$ 270,00
REFAZER PONTA DO EIXO	R\$ 267,00
CONTACTOR COM RELÊ TÉRMICO 220V 6,3 A 10A	R\$ 253,14
RECUPERAÇÃO DA CARÇAÇA DO MOTOR INCLUINDO PINTURA	R\$ 244,37
MANÔMETRO GLICERINADO DE 0 À 35 KGF/CM ²	R\$ 227,67
ENLUVAMENTO DE EIXO	R\$ 177,80
RELÊ DE NÍVEL INCLUINDO OS ELETRODOS	R\$ 175,33
RELÊ FALTA DE FASE	R\$ 166,89
VÁLVULA DE PÉ - BOMBA DOSADORA	R\$ 148,90
ELEMENTO FILTRANTE 810-1 - 10" - 5 MICRA	R\$ 148,60
PLACA BOMBA DOSADORA	R\$ 147,00
REGISTRO AÇO INOX 1"	R\$ 140,00
REGISTRO AÇO INOX 1/2"	R\$ 123,00
ROLAMENTOS DOS MOTORES	R\$ 122,19
TAMBOR 40 LT	R\$ 120,00
ANTI INCRUSTANTE FLOCON	R\$ 119,34

REGISTRO AÇO INOX 3/4"	R\$ 118,15
CONTACTORA 6X50910 LUKIMA	R\$ 112,00
REVISÃO E/OU SUBSTITUIÇÃO DE TAMPÃO DE NYLON DE 100MM	R\$ 102,77
CONTACTORA 8 X 0910 LUKIMA	R\$ 102,45
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TAMPÃO DE AÇO EM CHAPA DE 3/16" PARA POÇO	R\$ 100,26
O'RING DO COPO DA BOMBA	R\$ 78,00
TUBO PPR 32 MM	R\$ 71,77
NIPLE 3/4 X 1"	R\$ 70,75
VÁLVULA INJEÇÃO PARA BOMBA DOSADORA DE 1/2"X1/4"	R\$ 69,08
RELE TERMICO 12 - 18A	R\$ 68,00
NIPLE METAL 1 "	R\$ 63,00
SUBSTITUIÇÃO DE ELEMENTO FILTRANTE EM POLIPROPILENO, COM 25CM DE COMPRIMENTO DE 5 MICRA, TIPO CARTUCHO.	R\$ 55,60
ROTORES EM TERMOPLÁSTICO	R\$ 45,62
SELO MECÂNICO	R\$ 45,62
TUBO PPR 25 MM	R\$ 43,68
TUBO PVC 32 MM	R\$ 42,19
UNIÃO PPR 25 MM	R\$ 36,54
DIFUSORES EM TERMOPLÁSTICO	R\$ 35,83
ADAPTADOR PPR 25 X 1/2"	R\$ 33,34
VALVULA LABIAL	R\$ 33,00
DISJUNTOR BIPOLAR 32 AMP.	R\$ 31,80
REGISTRO PVC ESFERA SOLDÁVEL 32 MM	R\$ 30,13
ORINGUE DE BORRACHA 100MM	R\$ 23,26
CABO PP 4 X 4MM	R\$ 22,90
ADAPTADOR DE METAL 1/2 X 1/4	R\$ 22,00
ADAPTADOR PARA TUBO PLÁSTICO DE METAL 1/2 X 1/4	R\$ 22,00
REGISTRO PVC ESFERA SOLDÁVEL 25 MM	R\$ 21,62
NIPLE DE METAL DE 1/2"	R\$ 16,90
REGISTRO PVC ESFERA SOLDÁVEL 20 MM	R\$ 16,78
ÁCIDO CLORÍDRICO 37% P.A. PARA LAVAGEM QUÍMICA DE MEMBRANA DE OSMOSE INVERSA COM DIÂMETRO DE 4" E COMPRIMENTO 40" (PERCENTUAL DE REJEIÇÃO DE SAIS 99,5%)	R\$ 16,00
FLANGE 20X 1/2	R\$ 15,80
DISJUNTOR MONOPOLAR TERMOMAGNÉTICO ATE 30A,220V, PIAL OU SIMILAR, INCLUSIVE SUBSTITUIÇÃO EM QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO.	R\$ 15,00
JOELHO PPR 32 MM	R\$ 12,94

DISJUNTOR MONOPOLAR TERMOMAGNÉTICO ATE 30A,220V, PIAL OU SIMILAR, INCLUSIVE INSTALAÇÃO EM QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO.	R\$ 11,97
CABO PP 3X4 MM	R\$ 11,95
UNIÃO PVC SOLD. P/ÁGUA FRIA PREDIAL 32 MM	R\$ 11,81
LUVAS GALVANIZADA 1"	R\$ 9,33
FLANGE 25X 3/4	R\$ 8,48
ANILHA DE AÇO110MM	R\$ 7,76
CURVA LONGA 40 MM 90° PVC	R\$ 7,50
TORNEIRA DE JARDIM	R\$ 7,15
CURVA LONGA 32MM 90° PVC	R\$ 6,60
MANGUEIRA P/ MANOMETRO	R\$ 5,90
MANGUEIRAS PARA BOMBA DOSADORA	R\$ 5,70
UNIÃO PVC SOLD. P/ÁGUA FRIA PREDIAL 20 MM	R\$ 5,55
CABO PP 4 X 4MM	R\$ 4,18
FLANGE DE 20X1/2	R\$ 3,69
CABO PP 3X1 MM	R\$ 3,45
MANGUEIRA TRANÇADA 3/4	R\$ 3,42
CORDA 5 1/6	R\$ 3,38
ADAPTADOR 20X1/2	R\$ 3,20
TE PVC SOLD. P/ ÁGUA FRIA PREDIAL 32 MM	R\$ 3,19
TUBO PVC SOLD. P/ÁGUA FRIA PREDIAL 25 MM	R\$ 3,09
ADAPTADOR PVC P/POLIETILENO PE-5 32MMX1"	R\$ 2,89
PARAFUSO SEXTAVADO DE 3/8 X 1"	R\$ 2,75
FITA VEDA ROSCA EM ROLOS DE 18MMX10M	R\$ 2,46
JOELHO 20X1/2	R\$ 1,90
LUVA LR PVC 25MMX 3/4"	R\$ 1,60
ADAPTADOR PVC P/POLIETILENO PE 25MMX 3/4"	R\$ 1,47
ADAPTADOR PVC P/POLIETILENO PE-5 20MMX1/2"	R\$ 1,44
LUVA PVC SOLD. P/ÁGUA PREDIAL 32 MM	R\$ 1,38
JOELHO DE PVC DE 32 MM	R\$ 1,37
LUVA DE PVC - 3/4"	R\$ 1,32
TE PVC SOLD. P/ ÁGUA FRIA PREDIAL20 MM	R\$ 0,92
BUCHA REDUÇÃO PVC SOLD. CURTA P/ÁGUA FRIA 32X25 MM	R\$ 0,85
JOELHO DE PVC DE 25 MM	R\$ 0,53
JOELHO PVC SOLD. P/ÁGUA FRIA 25 MM	R\$ 0,53
PLUG PVC C/ROSCA P/ÁGUA PREDIAL 1/2"	R\$ 0,46
JOELHO PVC SOLD. P/ÁGUA FRIA 20 MM	R\$ 0,41

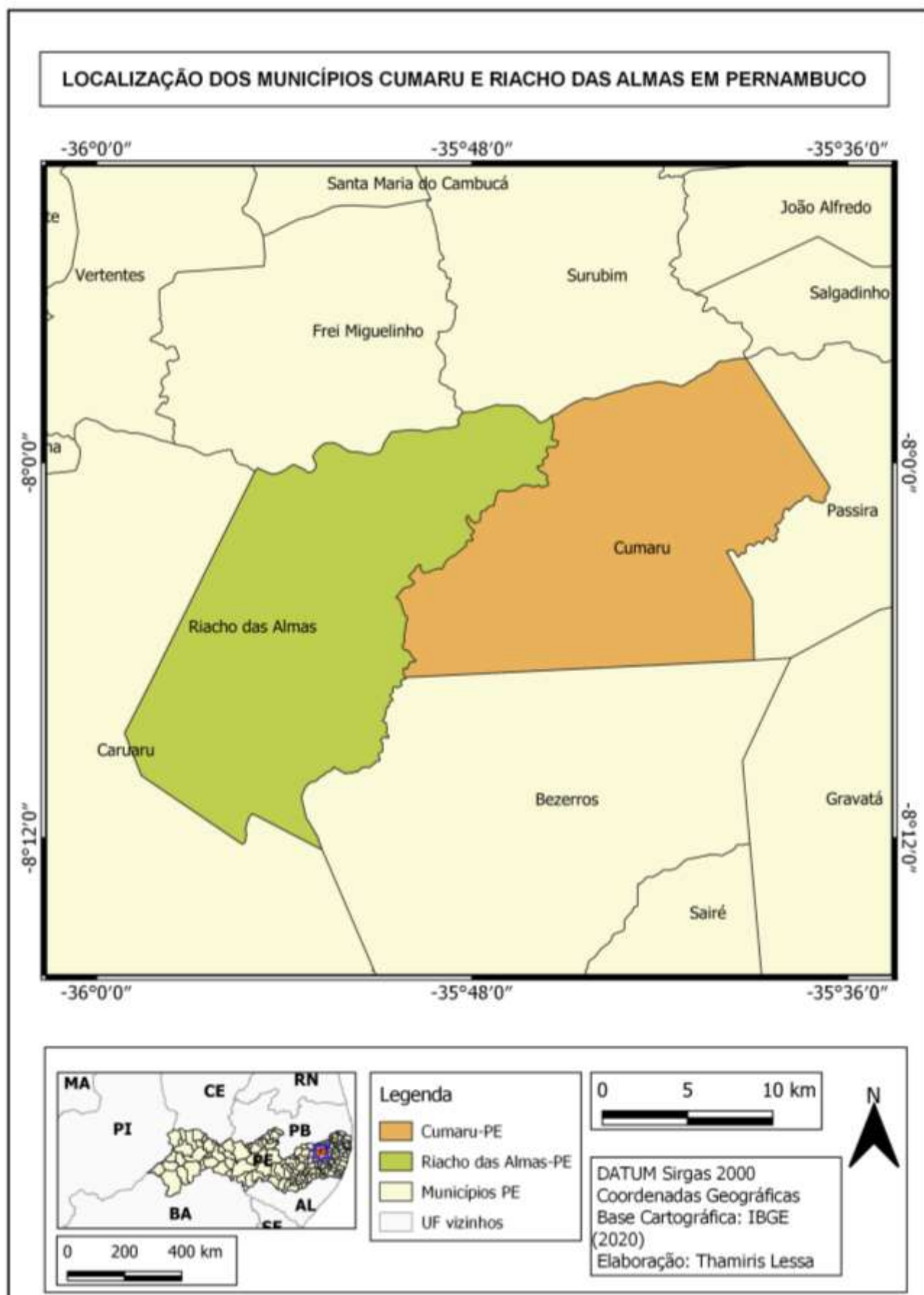
Fonte: SEINFRA/SERH (2019).

ANEXO C –
Preços e cotações de custos de implantação

Descrição Material/Serviço	Cotações			Mediana
	Empresa 01	Empresa 02	Empresa 03	
ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA	R\$ 708,50	R\$ 650,00	R\$ 695,50	R\$ 695,50
ANÁLISE BACTERIOLÓGICA	R\$ 381,50	R\$ 350,00	R\$ 374,50	R\$ 374,50
TESTE DE VAZÃO EM POÇOS COM 6 HORAS DE DURAÇÃO E 1 HORA DE RECUPERAÇÃO	R\$ 2.782,00	R\$ 2.600,00	R\$ 2.912,00	R\$ 2.782,00
EQUIPAMENTO DE DESSALINIZAÇÃO COMPACTO, AUTOPORTANTE, MONTADO EM CABINE METÁLICA COM 2 MEMBRANAS COM CAPACIDADE NOMINAL DE 400L/H, INCLUINDO VASOS DE ALTA PRESSÃO, SISTEMAS DE PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO, QUÍMICO E DE RETROLAVAGEM, MEDIDORES DE PRESSÃO E VAZÃO, BOMBA DE ALTA PRESSÃO, SISTEMA DE PROTEÇÃO, QUADRO ELÉTRICO, KIT CLORAÇÃO E CHAFARIZ ELETRÔNICO - FORNECIMENTO	R\$ 76.104,10	R\$ 74.611,87	R\$ 77.596,34	R\$ 76.104,10
EQUIPAMENTO DE DESSALINIZAÇÃO COMPACTO, AUTOPORTANTE, MONTADO EM CABINE METÁLICA COM 4 MEMBRANAS COM CAPACIDADE NOMINAL DE 800L/H, INCLUINDO VASOS DE ALTA PRESSÃO, SISTEMAS DE PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO, QUÍMICO E DE RETROLAVAGEM, MEDIDORES DE PRESSÃO E VAZÃO, BOMBA DE ALTA PRESSÃO, SISTEMA DE PROTEÇÃO, QUADRO ELÉTRICO, KIT CLORAÇÃO E CHAFARIZ ELETRÔNICO - FORNECIMENTO	R\$ 83.600,42	R\$ 81.961,20	R\$ 85.239,65	R\$ 83.600,42
EQUIPAMENTO DE DESSALINIZAÇÃO COMPACTO, AUTOPORTANTE, MONTADO EM CABINE METÁLICA COM 6 MEMBRANAS COM CAPACIDADE NOMINAL DE 1200L/H, INCLUINDO VASOS DE ALTA PRESSÃO, SISTEMAS DE PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO, QUÍMICO E DE RETROLAVAGEM, MEDIDORES DE PRESSÃO E VAZÃO, BOMBA DE ALTA PRESSÃO, SISTEMA DE PROTEÇÃO, QUADRO ELÉTRICO, KIT CLORAÇÃO E CHAFARIZ ELETRÔNICO - FORNECIMENTO	R\$ 94.360,74	R\$ 92.510,53	R\$ 96.210,95	R\$ 94.360,74
EQUIPAMENTO DE DESSALINIZAÇÃO COMPACTO, AUTOPORTANTE, MONTADO EM CABINE METÁLICA COM 8 MEMBRANAS COM CAPACIDADE NOMINAL DE 1600L/H, INCLUINDO VASOS DE ALTA PRESSÃO, SISTEMAS DE PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO, QUÍMICO E DE RETROLAVAGEM, MEDIDORES DE PRESSÃO E VAZÃO, BOMBA DE ALTA PRESSÃO, SISTEMA DE PROTEÇÃO, QUADRO ELÉTRICO, KIT CLORAÇÃO E CHAFARIZ ELETRÔNICO - FORNECIMENTO	R\$ 104.509,06	R\$ 102.459,87	R\$ 106.558,26	R\$ 104.509,06
KIT FOTOVOLTAICO PARA TRANSFORMAÇÃO DE BOMBA ELÉTRICA CONVENCIONAL EM SOLAR DE 2 CV	R\$ 24.004,40	R\$ 23.766,73	R\$ 25.192,74	R\$ 24.004,40
KIT FOTOVOLTAICO PARA TRANSFORMAÇÃO DE BOMBA ELÉTRICA CONVENCIONAL EM SOLAR DE 3 CV	R\$ 29.143,77	R\$ 28.855,22	R\$ 30.586,54	R\$ 29.143,77
KIT FOTOVOLTAICO PARA TRANSFORMAÇÃO DE BOMBA ELÉTRICA CONVENCIONAL EM SOLAR DE 4 CV	R\$ 37.781,99	R\$ 37.407,91	R\$ 39.652,39	R\$ 37.781,99
KIT FOTOVOLTAICO PARA TRANSFORMAÇÃO DE BOMBA ELÉTRICA CONVENCIONAL EM SOLAR DE 5 CV	R\$ 42.742,71	R\$ 42.319,51	R\$ 44.858,68	R\$ 42.742,71
INSTALAÇÃO DE SISTEMA DESSALINIZADOR CABINADO COM ENERGIA FOTOVOLTAICA, NÃO INCLUSO O FORNECIMENTO		R\$ 1.646,18		R\$ 1.646,18

Fonte: SEINFRA/SERH (2019).

APÊNDICE A -**Localização dos municípios Cumaru e Riacho das Almas em PE.**



APÊNDICE B –
Custo Anual de Manutenção por Litro de Água Potável Produzida

Município	Localidade	Vazão permeada (L/min)	Vol. diário de água permeada (L)	Vol. Anual (L)	Custo anual	Custo/litro (R\$/L)
Cumaru	Sítio Gavião 2	15	3600	950400	R\$ 1.334,91	R\$ 0,00140
Cumaru	Vila de água boa de baixo	12	2880	760320	R\$ 5.913,55	R\$ 0,00778
Cumaru	Pau D'arco	5	1200	316800	R\$ 686,94	R\$ 0,00217
Cumaru	Jurema	10	2400	633600	R\$ 756,64	R\$ 0,00119
Cumaru	Sítio Taboas	10	2400	633600	R\$ 15.450,10	R\$ 0,02438
Cumaru	Vila de água boa de cima	10	2400	633600	R\$ 282,07	R\$ 0,00045
Cumaru	Hospital	25	6000	1584000	R\$ 2.590,14	R\$ 0,00164
Cumaru	Assentamento Gavião	20	4800	1267200	R\$ 7.332,55	R\$ 0,00579
Cumaru	Sítio Gavião 1	20	4800	1267200	R\$ 467,80	R\$ 0,00037
Cumaru	Sítio Poço de pedra	12	2880	760320	R\$ 1.809,05	R\$ 0,00238
Cumaru	Campos novos	3	720	190080	R\$ 4.002,61	R\$ 0,02106
Cumaru	Água doce de baixo	12	2880	760320	R\$ 341,74	R\$ 0,00045
Cumaru	Água doce de cima	9	2160	570240	R\$ 400,84	R\$ 0,00070
Águas Belas	Currais novos	15	3600	950400	R\$ 2.897,02	R\$ 0,00305
Águas Belas	Sítio Garcia	6	1440	380160	R\$ 222,40	R\$ 0,00059
Afogados da Ingazeira	Sítio Queimadas	14	3360	887040	R\$ 646,83	R\$ 0,00073
Limoeiro	Sítio Ribeiro Fundo	10	2400	633600	R\$ 779,48	R\$ 0,00123
Limoeiro	Vila Mendes	18	4320	1140480	R\$ 40,30	R\$ 0,00004
Passira	Poço do pau	22	5280	1393920	R\$ 826,53	R\$ 0,00059
Passira	Cotias	4	960	253440	R\$ 383,31	R\$ 0,00151
Passira	Cacimbinha	7	1680	443520	R\$ 530,11	R\$ 0,00120
Passira	Povoado pedra tapada	9	2160	570240	R\$ 393,27	R\$ 0,00069
Passira	Sítio Borba	11	2640	696960	R\$ 333,60	R\$ 0,00048
Passira	Carrapicho	12	2880	760320	R\$ 429,00	R\$ 0,00056
Passira	Varjada de cima	14	3360	887040	R\$ 689,49	R\$ 0,00078
Passira	Bebedouro	9	2160	570240	R\$ 166,80	R\$ 0,00029
Passira	Candiais	10	2400	633600	R\$ 665,45	R\$ 0,00105
Passira	Fazenda Maracajá	-	-	-	R\$ 226,47	-
Passira	Aparas	14	3360	887040	R\$ 222,40	R\$ 0,00025
Passira	Várzea de passira	14	3360	887040	R\$ 452,94	R\$ 0,00051

Passira	Lagoa rasa	12	2880	760320	R\$ 393,27	R\$ 0,00052
Riacho das Almas	Salinas	10	2400	633600	R\$ 4.503,49	R\$ 0,00711
Riacho das Almas	Lagoa três irmãos	-	-	-	R\$ 6.009,21	-
Riacho das Almas	Sítio Bento	8	1920	506880	R\$ 282,07	R\$ 0,00056
Riacho das Almas	Sítio dois riachos	7	1680	443520	R\$ 338,57	R\$ 0,00076
Riacho das Almas	Sítio ramada	9	2160	570240	R\$ 282,07	R\$ 0,00049
Riacho das Almas	Sítio gavião	5	1200	316800	R\$ 193,67	R\$ 0,00061
Riacho das Almas	Sítio Guaritas	6	1440	380160	R\$ 170,87	R\$ 0,00045
Riacho das Almas	Sítio Pau Ferro	-	-	-	R\$ 4.260,11	-
Riacho das Almas	Sítio rezeiro	-	-	-	R\$ 452,94	-
Riacho das Almas	Sítio rezeiro 2	10	2400	633600	R\$ 142,14	R\$ 0,00022
Riacho das Almas	Sítio vila nova	7	1680	443520	R\$ 222,40	R\$ 0,00050
Riacho das Almas	Pinhões	10	2400	633600	R\$ 4.085,71	R\$ 0,00645
Riacho das Almas	Sítio Camorim 2	6	1440	380160	R\$ 8.106,73	R\$ 0,02132
Riacho das Almas	Centro-Nova esperança	12	2880	760320	R\$ 1.101,76	R\$ 0,00145
Riacho das Almas	Sítio Chambá	5	1200	316800	R\$ 1.615,53	R\$ 0,00510
Surubim	Lagoa da vaca	7	1680	443520	R\$ 683,48	R\$ 0,00154
Surubim	Vagem do Lumbu do tamanduá	10	2400	633600	R\$ 0,00	R\$ 0,00000
Vertentes	Livramento	20	4800	1267200	R\$ 794,68	R\$ 0,00063
Vertentes	Povoado são dos ferrais	28	6720	1774080	R\$ 1.150,68	R\$ 0,00065
Vertentes	Sede	25	6000	1584000	R\$ 794,68	R\$ 0,00050
Glória de Goitá	Massaranduba	-	-	-	R\$ 333,60	-
Jataúba	Sede	22	5280	1393920	R\$ 5.622,15	R\$ 0,00403
Santa Cruz do Capibaribe	Carrapicho velho	6	1440	380160	R\$ 222,40	R\$ 0,00059
Taquaritinga do Norte	Vila do Socorro	15	3600	950400	R\$ 333,60	R\$ 0,00035
Taquaritinga do Norte	Sítio Pedra Preta 2	6	1440	380160	R\$ 341,74	R\$ 0,00090
Vertente do Lério	Sítio tambor	30	7200	1900800	R\$ 1.344,09	R\$ 0,00071
Sanharó	Divisão	10	2400	633600	R\$ 1.005,74	R\$ 0,00159

Sanharó	Massaranduba	6	1440	380160	R\$ 2.228,03	R\$ 0,00586
Sanharó	Sítio Mulungu	13	3120	823680	R\$ 1.758,69	R\$ 0,00214
Pesqueira	Beira mar	13	3120	823680	R\$ 5.333,06	R\$ 0,00647
Pesqueira	Papagaio	8	1920	506880	R\$ 5.264,60	R\$ 0,01039
Pesqueira	Salobro	14	3360	887040	R\$ 2.547,29	R\$ 0,00287
Pesqueira	Baraúna	3	720	190080	R\$ 4.965,02	R\$ 0,02612
Pesqueira	Pacheco	6	1440	380160	R\$ 959,69	R\$ 0,00252
Pesqueira	Cachoeira	5	1200	316800	R\$ 1.046,03	R\$ 0,00330
Pesqueira	Caldeirão	10	2400	633600	R\$ 6.318,40	R\$ 0,00997
Pesqueira	Centenário	8	1920	506880	R\$ 1.619,22	R\$ 0,00319
Pesqueira	Angola Nova	9	2160	570240	R\$ 8.460,33	R\$ 0,01484
Pesqueira	Pau Ferro 1	8	1920	506880	R\$ 3.775,07	R\$ 0,00745
Pesqueira	Pau Ferro 2	10	2400	633600	R\$ 1.867,71	R\$ 0,00295
Pesqueira	Escola Técnica	12	2880	760320	R\$ 8.005,07	R\$ 0,01053
Iguaracy	Distrito de Picos	3	720	190080	R\$ 18.342,02	R\$ 0,09650
Iguaracy	Irajaí	12	2880	760320	R\$ 170,87	R\$ 0,00022
Iguaracy	Passagem funda	10	2400	633600	R\$ 1.120,00	R\$ 0,00177
Iguaracy	Queimada dos Henriques	10	2400	633600	R\$ 705,07	R\$ 0,00111
Tuparetama	Santa Rita	10	2400	633600	R\$ 752,07	R\$ 0,00119
São José do Egito	Mundo novo	3	720	190080	R\$ 489,27	R\$ 0,00257
São José do Egito	São Sebastião do Aguiar	10	2400	633600	R\$ 1.093,03	R\$ 0,00173
São José do Egito	Borges	6	1440	380160	R\$ 498,42	R\$ 0,00131
São José do Egito	Sítio Grossos	6	1440	380160	R\$ 532,98	R\$ 0,00140
Pedra	Sítio São Francisco	6	1440	380160	R\$ 11.655,91	R\$ 0,03066
Pedra	Sítio Horizonte Alegre	15	3600	950400	R\$ 1.670,08	R\$ 0,00176
Pedra	Povoado Santo Antônio	9	2160	570240	R\$ 1.948,87	R\$ 0,00342
Pedra	Sítio Cachoeirinha	8	1920	506880	R\$ 1.630,00	R\$ 0,00322
Pedra	Sítio Caraíbas	25	6000	1584000	R\$ 13.528,60	R\$ 0,00854
Pedra	Tenebre	28	6720	1774080	R\$ 2.624,49	R\$ 0,00148
Pedra	Cacimba nova	12	2880	760320	R\$ 3.103,66	R\$ 0,00408
Venturosa	Ouro branco	10	2400	633600	R\$ 4.609,13	R\$ 0,00727
Venturosa	Pedra fixe	18	4320	1140480	R\$ 960,80	R\$ 0,00084
Venturosa	Cacimba velha	8	1920	506880	R\$ 688,02	R\$ 0,00136

Venturosa	Serra do Tará	2	480	126720	R\$ 470,04	R\$ 0,00371
Venturosa	Sítio Tarazinho	11	2640	696960	R\$ 1.352,90	R\$ 0,00194
Itaíba	Fazenda Lagoa da boca	-	-	-	R\$ 1.740,14	-
São Caetano	Engachada	7	1680	443520	R\$ 12.447,71	R\$ 0,02807
Brejinho	Placa de piedade	4	960	253440	R\$ 1.833,72	R\$ 0,00724
Brejinho	Sede	10	2400	633600	R\$ 1.020,47	R\$ 0,00161
Iati	Campo de futebol	13	3120	823680	R\$ 1.396,18	R\$ 0,00170
Iati	Sítio Matadouro	60	14400	3801600	R\$ 5.889,14	R\$ 0,00155
Iati	Povoado Quati	25	6000	1584000	R\$ 915,78	R\$ 0,00058
Iati	Sítio balanço	12	2880	760320	R\$ 5.410,20	R\$ 0,00712
Iati	Bela vista	25	6000	1584000	R\$ 1.243,38	R\$ 0,00078
Iati	Boi branco	7	1680	443520	R\$ 945,75	R\$ 0,00213
Iati	Campos do urucu	17	4080	1077120	R\$ 1.359,68	R\$ 0,00126
Iati	Sítio Emiritão	6	1440	380160	R\$ 1.103,26	R\$ 0,00290
Iati	Povoado Trapiá	12	2880	760320	R\$ 1.132,02	R\$ 0,00149
Iati	Santa Rosa 1	10	2400	633600	R\$ 1.573,08	R\$ 0,00248
Iati	Santa Rosa 2	18	4320	1140480	R\$ 14.063,61	R\$ 0,01233
Jupi	Sítio Mulungu	5	1200	316800	R\$ 0,00	R\$ 0,00000
Lajedo	Laje dos cadetes	14	3360	887040	R\$ 905,88	R\$ 0,00102
Quixaba	Açude dos Carlos	10	2400	633600	R\$ 353,14	R\$ 0,00056
Quixaba	Sítio Barreiros	10	2400	633600	R\$ 8.705,39	R\$ 0,01374
Quixaba	Sítio Batata	11	2640	696960	R\$ 454,07	R\$ 0,00065
Arcoverde	Aldeia Velha	30	7200	1900800	R\$ 1.129,47	R\$ 0,00059
Arcoverde	Assentamento Deserto 2	10	2400	633600	R\$ 593,06	R\$ 0,00094
Betânia	Sítio Melancia	20	4800	1267200	R\$ 505,90	R\$ 0,00040
Buíque	Entradas	6	1440	380160	R\$ 3.140,94	R\$ 0,00826
Buíque	Sítio Barra de Gravatá	12	2880	760320	R\$ 8.874,65	R\$ 0,01167
Buíque	Sítio São Vicente	12	2880	760320	R\$ 13.569,78	R\$ 0,01785
Capoeiras	Sítio Piado	11	2640	696960	R\$ 1.781,24	R\$ 0,00256
Carnaíba	Ibiratinga	20	4800	1267200	R\$ 451,14	R\$ 0,00036
Flores	Sítio Carvalhada	10	2400	633600	R\$ 230,54	R\$ 0,00036
Ibimirim	Sítio Bruaca	-	-	-	R\$ 1.083,84	-
Itapetim	Piedade	11	2640	696960	R\$ 599,74	R\$ 0,00086
Itapetim	São Vicente	13	3120	823680	R\$ 136,44	R\$ 0,00017

Santa Terezinha	Sítio Quatis	14	3360	887040	R\$ 970,93	R\$ 0,00109
Santa Terezinha	Vila do Tigre	10	2400	633600	R\$ 2.897,34	R\$ 0,00457
São Bento do Una	Povoado gama	25	6000	1584000	R\$ 23.393,19	R\$ 0,01477
São Bento do Una	Vila do espírito santo	6	1440	380160	R\$ 2.285,49	R\$ 0,00601
São Bento do Una	Loteamento Santo Afonso	30	7200	1900800	R\$ 814,02	R\$ 0,00043
Tacaratu	Sítio Traíras	10	2400	633600	R\$ 2.414,40	R\$ 0,00381
Carnaubeira da Penha	Aldeia Ipueira	6	1440	380160	R\$ 507,74	R\$ 0,00134
Carnaubeira da Penha	Aldeia saco grande	8	1920	506880	R\$ 637,38	R\$ 0,00126
Carnaubeira da Penha	Sítio Jaburu de cima	20	4800	1267200	R\$ 8.675,10	R\$ 0,00685
Floresta	Assentamento cacimba nova	12	2880	760320	R\$ 6.621,43	R\$ 0,00871
Floresta	Sítio Pindoba	10	2400	633600	R\$ 464,91	R\$ 0,00073
Ferreiros	Encruzilhada	30	7200	1900800	R\$ 0,00	R\$ 0,00000
Gravatá	Telha branca	13	3120	823680	R\$ 359,55	R\$ 0,00044
Bodocó	Sítio Soares	12	2880	760320	R\$ 462,47	R\$ 0,00061
Custódia	Quitibum 2	8	1920	506880	R\$ 751,26	R\$ 0,00148
Exú	Fazenda Araripe	19	4560	1203840	R\$ 381,25	R\$ 0,00032
Granito	Sítio Gravatá	8	1920	506880	R\$ 355,01	R\$ 0,00070
Salgueiro	Vila Paula	10	2400	633600	R\$ 378,70	R\$ 0,00060
Santa Filomena	Pedra branca	10	2400	633600	R\$ 379,21	R\$ 0,00060
Santa Filomena	Sítio Contentes	12	2880	760320	R\$ 364,54	R\$ 0,00048
Serra Talhada	Bernardo Vieira	14	3360	887040	R\$ 966,46	R\$ 0,00109
Serra Talhada	Cacimbinha	10	2400	633600	R\$ 763,96	R\$ 0,00121
Serra Talhada	Pilãozinho	10	2400	633600	R\$ 452,94	R\$ 0,00071
Serra Talhada	São Bento	10	2400	633600	R\$ 452,94	R\$ 0,00071
Sertânia	Albuquerque Né	15	3600	950400	R\$ 464,04	R\$ 0,00049
Sertânia	Bom nome	11	2640	696960	R\$ 1.302,31	R\$ 0,00187
Sertânia	Cacimbinha	20	4800	1267200	R\$ 222,40	R\$ 0,00018
Sertânia	Carnaúba	14	3360	887040	R\$ 222,40	R\$ 0,00025
Sertânia	Caroá de baixo	5	1200	316800	R\$ 341,74	R\$ 0,00108
Sertânia	Caroalina	20	4800	1267200	R\$ 341,74	R\$ 0,00027
Sertânia	Sítio Casa velha	9	2160	570240	R\$ 452,94	R\$ 0,00079

Sertânia	Cerecê de cima	7	1680	443520	R\$ 341,74	R\$ 0,00077
Sertânia	Várzea velha	6	1440	380160	R\$ 680,37	R\$ 0,00179
Sertânia	Sítio Piranhas	7	1680	443520	R\$ 341,74	R\$ 0,00077
Sertânia	Sítio Caroá	12	2880	760320	R\$ 405,34	R\$ 0,00053
Sertânia	Rio da barra	17	4080	1077120	R\$ 564,14	R\$ 0,00052
Sertânia	Riacho do Feliciano	10	2400	633600	R\$ 452,94	R\$ 0,00071
Sertânia	Riacho do Caroá	10	2400	633600	R\$ 365,23	R\$ 0,00058
Sertânia	Recanto verde	5	1200	316800	R\$ 395,59	R\$ 0,00125
Sertânia	Henrique Dias	13	3120	823680	R\$ 452,94	R\$ 0,00055