



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO  
DIRETORIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ELABORAÇÃO E GERENCIAMENTO  
DE PROJETOS PARA A GESTÃO MUNICIPAL DE RECURSOS HÍDRICOS**

**VICTOR SOBRINHO COSTA**

**PLANO DE MANUTENÇÃO EM UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA  
EM IPIRÁ-BA**

**FORTALEZA  
2018**

VICTOR SOBRINHO COSTA

PLANO DE MANUTENÇÃO EM UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA EM  
IPIRÁ - BA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – Campus Fortaleza, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Luís Gonzaga Pinheiro Neto.

FORTALEZA - CE

2018

---

Página reservada para ficha catalográfica.

---

VICTOR SOBRINHO COSTA

PLANO DE MANUTENÇÃO EM UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA EM  
IPIRÁ - BA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Especialização em  
Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – Campus Fortaleza,  
como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Luís Gongaza Pinheiro Neto (Orientador)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Prof. Dra. Jordania Maria Gabriel Pereira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Flávio Maria Leite Pinheiro  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

## **AGRADECIMENTOS**

Ao IFCE e à ANA, pelo apoio e oportunidade de realização da especialização.

Ao Prof. Luís pela orientação, compreensão, flexibilidade nas datas e sugestões propostas na elaboração do trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora Jordania Maria Gabriel Pereira e Flávio Maria Leite Pinheiro pelas valiosas colaborações e sugestões.

À minha esposa Jaqueline e à minha filha Laura pelo incentivo, compreensão, apoio e por sempre estarem presentes em todos os momentos.

Aos meus pais pelo apoio e incentivo de sempre.

Aos colegas da especialização pela união, conhecimentos compartilhados, críticas e sugestões.

À CERB pelo apoio, disponibilização de dados e flexibilidade no horário de trabalho.

Aos colegas da CERB pelo incentivo, críticas e sugestões.

Aos moradores, operadores e técnicos responsáveis pelo sistema de dessalinização de Cachoeirinha pela atenção e disponibilização de informações fundamentais para a realização do trabalho.

“Lembrou-se dos filhos, da mulher e da cachorra, que estavam lá em cima, debaixo de um juazeiro, com sede... Encheu a cuia, ergueu-se, afastou-se, lento, para não derramar a água salobra. Subiu a ladeira. A aragem morna acudia os xiquexiques e os mandacarus. Uma palpitação nova. Sentiu um arrepio na catinga, uma ressurreição de garranchos e folhas secas. Chegou. Pôs a cuia no chão, escorou-a com pedras, matou a sede da família.”

Graciliano Ramos, *Vidas Secas*.

## RESUMO

A exploração das águas subterrâneas tem se tornado uma alternativa para o abastecimento de água em localidades do semiárido devido à carência hídrica da região. Devido aos altos índices de sais dissolvidos presente nestas águas é necessário tratamento para torná-la potável, o que ocorre através de processos de dessalinização. No entanto, o modelo de gestão vigente nos sistemas de dessalinização dos municípios localizados no semiárido, ainda não incorporam de forma satisfatória cuidados com a manutenção de equipamentos, acarretando um grande número de paralisações nos dessalinizadores e diminuindo a disponibilidade de água potável. Nesse contexto este trabalho realizou a aplicação de um plano de manutenção em um sistema de dessalinização de água da zona rural de Ipirá - BA. Para isso foram definidos componentes e fatores que influenciam o desempenho operacional do sistema de dessalinização, identificados e classificados modos de falha dos equipamentos através da aplicação da FMEA e avaliados os custos das tarefas de manutenção propostas. Como resultado foram identificados 33 modos de falha, 39% relacionados à deterioração do sistema de dessalinização indicando necessidade de conservação dos equipamentos e 21% relacionados à falha humana mostrando a importância de realização de treinamento para os operadores. Como efeitos dos modos de falha, 33% apresentam a possibilidade de parada do sistema e devem ser priorizados na manutenção, enquanto 9% podem ocasionar contaminação ambiental e evidenciam a importância de uma boa conservação dos reservatórios do concentrado proveniente do sistema. Os custos estimados mostram que a população beneficiada através da arrecadação de um fundo de reserva para cobrir os custos do plano de manutenção pode tornar autossustentável a manutenção do sistema de dessalinização.

**Palavras-chave:** Dessalinizadores; Água Subterrânea; Manutenção de Equipamentos.

## ABSTRACT

The groundwater exploration has become an alternative for water supply in semi-arid areas due to the region's water shortage. Due to the high rates of dissolved salts present in these waters is required treatment to make it potable, which occurs through desalination processes. However, the current management model in the desalination systems of the municipalities located in the semi-arid region, still do not satisfactorily incorporate care with the maintenance of equipment, causing a great number of desalination shutdowns and reducing the availability of potable water. In this context, this work carried out the application of a maintenance plan in a water desalination system in the rural area of Ipirá - BA. In order to do this, the components and factors that influence the operational performance of the desalination system were identified, the equipment failure modes were identified and classified through the FMEA application and the costs of the proposed maintenance tasks were evaluated. As a result, 33 failure modes were identified, 39% related to the deterioration of the desalination system, indicating the need to conserve the equipment and 21% related to human failure, showing the importance of training for the operators. As the effects of failure modes, 33% present the possibility of system shutdown and should be prioritized in the maintenance, while 9% can cause environmental contamination and show the importance of a good conservation of the reservoirs of the concentrate coming from the system. The estimated costs show that the population benefiting from the collection of a reserve fund to cover the costs of the maintenance plan may make the maintenance of the desalination system self-sustaining.

**Keywords:** Desalinators; Groundwater; Equipment Maintenance.



## SUMÁRIO

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ.....	1
PRÓ-REITORIA DE ENSINO.....	1
DIRETORIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA.....	1
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ELABORAÇÃO E GERENCIAMENTO.....	1
DE PROJETOS PARA A GESTÃO MUNICIPAL DE RECURSOS HÍDRICOS.....	1
VICTOR SOBRINHO COSTA.....	2
PLANO DE MANUTENÇÃO EM UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA EM IPIRÁ - BA.....	2
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – Campus Fortaleza, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.....	2
Orientador: Prof. Dr. Luís Gonzaga Pinheiro Neto.....	2
FORTALEZA - CE.....	2
2018.....	3
.....	3
Página reservada para ficha catalográfica.....	3
.....	3
VICTOR SOBRINHO COSTA.....	4
PLANO DE MANUTENÇÃO EM UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA EM IPIRÁ - BA.....	4
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – Campus Fortaleza, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.....	4
Aprovado em: ___/___/____.....	4
BANCA EXAMINADORA.....	4
.....	4
Prof. Dr. Luís Gongaza Pinheiro Neto (Orientador).....	4
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).....	4
.....	4
Prof. Dra. Jordania Maria Gabriel Pereira.....	4
Universidade Federal do Ceará (UFC).....	4
.....	4

Prof. Me. Flávio Maria Leite Pinheiro.....	4
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).....	4
AGRADECIMENTOS.....	5
Ao IFCE e à ANA, pelo apoio e oportunidade de realização da especialização.....	5
Ao Prof. Luís pela orientação, compreensão, flexibilidade nas datas e sugestões propostas na elaboração do trabalho.....	5
Aos professores participantes da banca examinadora Jordania Maria Gabriel Pereira e Flávio Maria Leite Pinheiro pelas valiosas colaborações e sugestões.....	5
À minha esposa Jaqueline e à minha filha Laura pelo incentivo, compreensão, apoio e por sempre estarem presentes em todos os momentos.....	5
Aos meus pais pelo apoio e incentivo de sempre.....	5
Aos colegas da especialização pela união, conhecimentos compartilhados, críticas e sugestões.....	5
À CERB pelo apoio, disponibilização de dados e flexibilidade no horário de trabalho.....	5
Aos colegas da CERB pelo incentivo, críticas e sugestões.....	5
Aos moradores, operadores e técnicos responsáveis pelo sistema de dessalinização de Cachoeirinha pela atenção e disponibilização de informações fundamentais para a realização do trabalho.....	5
“Lembrou-se dos filhos, da mulher e da cachorra, que estavam lá em cima, debaixo de um juazeiro, com sede... Encheu a cuia, ergueu-se, afastou-se, lento, para não derramar a água salobra. Subiu a ladeira. A aragem morna acudia os xiquexiques e os mandacarus. Uma palpitação nova. Sentiu um arrepio na catinga, uma ressurreição de garranchos e folhas secas. Chegou. Pôs a cuia no chão, escorou-a com pedras, matou a sede da família.”.....	6
Graciliano Ramos, Vidas Secas.....	6
1 Introdução.....	12
1.1 PROBLEMA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 Justificativa.....	13
1.4 Metodologia.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	16
2.1.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	16
2.1.1.1 Manutenção Corretiva.....	16
2.1.1.2 Manutenção Preventiva.....	17
2.1.1.3 Manutenção Preditiva.....	17
2.1.2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	18
2.1.3 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS - FMEA.....	18

2.1.3.1 Função.....	20
2.1.3.2 Falhas.....	20
2.1.3.3 Modos de Falha.....	20
2.1.3.4 Causa da falha.....	21
2.1.3.5 Efeitos da falha.....	21
2.2 Dessalinização da água.....	21
2.2.1 Sistema de dessalinização de água.....	22
2.2.2 Etapas do Sistema de dessalinização de água.....	22
2.2.3 Água subterrânea no semiárido baiano.....	23
2.2.4 Programa Água Doce.....	24
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2 Características Locais.....	26
3.3 Hidrografia.....	27
3.4 Clima e vegetação.....	28
3.5 Geologia.....	28
3.6 Hidrogeologia.....	29
4 Aplicação do plano de manutenção no sistema de dessalinização de Cachoeirinha.....	30
4.1 SUBSISTEMAS DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE CACHOEIRINHA.....	30
4.1.1 Poço Tubular.....	30
4.1.2 Dessalinizador.....	31
4.1.3 Bombas do Dessalinizador.....	33
4.1.4 Reservatórios.....	34
4.2 APLICAÇÃO Do plano de manutenção.....	35
4.3 Custos Estimados.....	49
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	53
5 ConSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS.....	57
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 PROBLEMA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
1.4 METODOLOGIA.....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>

2.1 MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	16
2.1.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	16
2.1.1.1 Manutenção Corretiva.....	16
2.1.1.2 Manutenção Preventiva.....	17
2.1.1.3 Manutenção Preditiva.....	17
2.1.2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	18
2.1.3 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS - FMEA.....	18
2.1.3.1 Função.....	20
2.1.3.2 Falhas.....	20
2.1.3.3 Modos de Falha.....	20
2.1.3.4 Causa da falha.....	21
2.1.3.5 Efeitos da falha.....	21
2.2 DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA.....	21
2.2.1 SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA.....	22
2.2.2 ETAPAS DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA.....	22
2.2.3 ÁGUA SUBTERRÂNEA NO SEMIÁRIDO BAIANO.....	23
2.2.4 PROGRAMA ÁGUA DOCE.....	24
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>26</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2 CARACTERÍSTICAS LOCAIS.....	26
3.3 HIDROGRAFIA.....	27
3.4 CLIMA E VEGETAÇÃO.....	28
3.5 GEOLOGIA.....	28
3.6 HIDROGEOLOGIA.....	29
<b>4 APLICAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE CACHOEIRINHA.....</b>	<b>30</b>
4.1 SUBSISTEMAS DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE CACHOEIRINHA.....	30
4.1.1 Poço Tubular.....	30
4.1.2 Dessalinizador.....	31
4.1.3 Bombas do Dessalinizador.....	33
4.1.4 Reservatórios.....	34
4.2 APLICAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO.....	35
4.3 CUSTOS ESTIMADOS.....	45

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de água dessalinizada e de rejeito.....	21
Figura 2 – Componentes do sistema de dessalinização.....	22
Figura 3 – Fluxo de um dessalinizador.....	23
Figura 4 – Localização da área de estudo.....	26
Figura 5 – Bacia do Paraguçu.....	27
Figura 6 - Mapa Geológico da região de Cachoeirinha.....	28
Figura 7 – Poço tubular de Cachoeirinha.....	31
Figura 8 - Unidade dessalinizadora de Cachoeirinha.....	32
Figura 9 – Componentes do Dessalinizador.....	33
Figura 10 – (a) bomba de retrolavagem; (b) bomba de alta pressão; (c) bomba dosadora.....	34
Figura 11 – Reservatórios de Cachoeirinha.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Planilha de Análise de Modos e Efeitos de Falhas - FMEA.....	19
Tabela 2 - Dados técnicos do poço.....	30
Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos do poço.....	31
Tabela 4 - FMEA para o subsistema Poço Tubular.....	37
Tabela 5 - FMEA para o subsistema Dessalinizador.....	38
Tabela 6 - FMEA para o subsistema Bombas do Dessalinizador.....	39
Tabela 7 - FMEA para o subsistema Reservatórios.....	41
Tabela 8 - Plano de manutenção para o subsistema Poço Tubular.....	42
Tabela 9 - Plano de manutenção para o subsistema Dessalinizador.....	43
Tabela 10 - Plano de manutenção para o subsistema Bombas do Dessalinizador.....	45
Tabela 11 - Plano de manutenção para o subsistema Reservatórios.....	47
Tabela 12 - Serviços de manutenção e custos estimados.....	51

## 1 INTRODUÇÃO

A exploração das águas subterrâneas tem se tornado uma alternativa para o abastecimento de água em localidades do semiárido devido à carência hídrica da região. No entanto, devido aos altos índices de sais dissolvidos presente nestas águas é necessário tratamento para torná-la potável, o que ocorre através de processos de dessalinização.

O método mais utilizado para a dessalinização de água subterrânea na região nordeste como um todo, tem sido, predominantemente, o processo de osmose inversa. De acordo com Amorim (2001) o predomínio da osmose inversa se deve à simplicidade e robustez do equipamento; aos baixos custos de instalação e operação, incluindo o consumo de energia e de mão-de-obra na operação; à capacidade de tratar volumes baixos ou moderados de água bruta; à elevada taxa de recuperação; à continuidade do processo e à excelente qualidade da água tratada.

Contudo observações em visitas a campo à zona rural de Ipirá, localizada no semiárido baiano e principalmente em Cachoeirinha, localidade que será alvo do trabalho, mostram que ao longo do tempo a operação dos sistemas de dessalinização passou a apresentar problemas, como a perda na qualidade das águas tratadas e até desativação de parte dos equipamentos.

A falta de previsão de manutenção dos equipamentos somada a uma melhor gestão dos sistemas de dessalinização podem explicar as dificuldades encontradas para uma operação normal, acarretando na diminuição da disponibilidade de água potável para população. Segundo Xenos (1998) as atividades de manutenção têm o objetivo de evitar a degradação dos equipamentos e instalações, que o mau uso e o desgaste natural causam. As degradações podem se manifestar como perdas de desempenho, paradas da produção, fabricação de produtos de má qualidade, poluição ambiental, entre outros. O objetivo da manutenção não é somente o de manter ou restaurar as condições físicas do equipamento, mas também de manter suas capacidades funcionais.

Nesse cenário, este trabalho apresenta um estudo sobre manutenção e dessalinização de água, e propõe a aplicação de um plano de manutenção para o sistema de dessalinização de Cachoeirinha, localidade da zona rural de Ipirá, visando melhorias para disponibilidade de água potável para população e contribuições para a gestão de recursos hídricos vigente no município.



## 1.1 PROBLEMA

As águas subterrâneas comumente encontradas no município de Ipirá-BA são impróprias para o consumo devido aos altos índices de sais dissolvidos, necessitando de tratamento para torná-las potáveis. O uso de dessalinizadores, portanto, tornou-se uma alternativa para o aproveitamento destas águas salinas já que as medidas como construção de cisternas e açudes não têm sido suficientes para suprir o consumo, entretanto existe um grande número de paralisações nos dessalinizadores, diminuindo a disponibilidade de água potável para população.

Com base nisso e observando que o município de Ipirá (BA) ainda não adota uma política que privilegie o acompanhamento operacional dos dessalinizadores e suas respectivas consequências na manutenção de seus sistemas, o que se pretende com este trabalho é responder o seguinte questionamento, seria possível desenvolver um plano de manutenção em um sistema de dessalinização da zona rural de Ipirá?

## 1.2 OBJETIVOS

O **objetivo geral** deste trabalho é apresentar um plano de manutenção no sistema de dessalinização de água Cachoeirinha, na zona rural de Ipirá.

Como **objetivos específicos**, pretende-se:

- Definir os componentes e fatores que influenciam o desempenho operacional do sistema de dessalinização de Cachoeirinha;
- Identificar e classificar os modos de falha dos equipamentos do sistema de dessalinização de Cachoeirinha através da aplicação da FMEA;
- Determinar uma avaliação do custo das tarefas propostas na aplicação do plano de manutenção no sistema de dessalinização de Cachoeirinha;

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O modelo de gestão vigente nos sistemas de dessalinização do município de Ipirá (BA) ainda não incorpora de forma satisfatória cuidados com a operacionalização dos

equipamentos e suas manutenções. Como consequência existe um grande número de paralisações nos dessalinizadores, diminuindo a disponibilidade de água potável dos sistemas. Além disso, devido a pouca conservação, a durabilidade dos equipamentos é muita reduzida e os programas de manutenção apresentam altos custos.

O plano de manutenção do sistema de dessalinização além de trazer os benefícios para a localidade de Cachoeirinha, na zona rural de Ipirá, citados acima, incentivaria o emprego de um plano de manutenção em outras localidades da região e proporcionaria uma contribuição para possíveis melhorias na gestão de recursos hídricos vigente no município de Ipirá.

As principais vantagens a serem alcançadas com a aplicação do plano operacional no sistema de dessalinização de Cachoeirinha estão associadas a:

- Aumento da disponibilidade de água potável dos sistemas;
- Melhor conservação e durabilidade dos equipamentos;
- Redução dos custos dos programas de manutenção;

Com isto, a aplicação do plano de manutenção em um sistema de dessalinização da zona rural de Ipirá se torna prioritária, sendo este um importante aliado para a melhoria do bem estar da população que reside em áreas com água salinizada.

#### 1.4 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho se buscou o suporte necessário através de levantamentos de materiais bibliográficos disponíveis sobre a área de estudo. Publicações, relatórios, mapas e outros documentos sobre manutenção de equipamentos e dessalinização de água. Além de publicações sobre hidrografia, clima, vegetação, geologia e hidrogeologia que foram utilizadas na fundamentação teórica e na caracterização da área de estudo respectivamente.

Os dados do poço tubular localizado na região de estudo foram extraídos do banco de dados da Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB). Informações sobre manutenções de sistemas de dessalinização da região foram buscadas nos documentos base do Programa Água Doce (PAD).

Visando o reconhecimento da área de estudo e dos componentes do sistema de dessalinização de Cachoeirinha foram realizadas visitas à localidade, na zona rural de Ipirá (BA). Nestas visitas foram realizadas entrevistas com os moradores, operadores e técnicos

responsáveis pelo sistema de dessalinização e coletadas as informações e dados preponderantes para a realização da proposta no trabalho.

Após a identificação dos componentes do sistema de dessalinização, eles foram divididos em subsistemas, para a identificação e classificação dos modos de falha dos equipamentos através da Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA).

Com isso foi possível à elaboração do plano de manutenção do sistema de dessalinização de água de Cachoeirinha, com tarefas propostas e suas respectivas periodicidades, a apresentação dos resultados obtidos e outros dados relevantes.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

A manutenção tem por objetivo gerar condições para que equipamentos, instalações funcionem adequadamente, garantindo a produtividade e qualidade do produto desejado (DRAPINSKY,1973).

Xenos (1998) explica que num sentido restrito, as atividades de manutenção estão limitadas ao retorno de um equipamento às suas condições originais. Enquanto, em um sentido mais amplo, as atividades de manutenção também devem envolver a modificação das condições originais através da introdução de melhorias para evitar a ocorrência ou incidência de falhas, reduzir o custo e aumentar a produtividade.

#### 2.1.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Existem três tipos principais de manutenção: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva. Cada tipo possui um objetivo específico e uma maneira própria de ser realizada. Nesta seção serão detalhados os três tipos de manutenção com suas características e importância.

##### 2.1.1.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva tem como objetivo corrigir, reparar uma falha num equipamento que impeça seu total ou parcial funcionamento (GURSKI, 2002). Faz-se necessário uma intervenção no mesmo para que se localize o problema e defina-se como consertá-lo.

Alguns autores como o próprio Gurski (2002) dizem que a manutenção corretiva pode ocorrer de duas maneiras diferentes. Ela pode ser planejada ou não. A manutenção corretiva planejada acontece quando já é previamente definida a parada do equipamento para a manutenção. Esse tipo gera menos custos e menos perdas no processo produtivo. Já a manutenção corretiva não planejada ocorre quando o equipamento para de funcionar de maneira inesperada, sem uma prévia programação. Este tipo de manutenção não planejada gera muito mais custos e acarreta numa perda muito mais significativa da produção.

### 2.1.1.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva tem como objeto prevenir uma falha. Ela procura reparar, ou substituir um componente antes que este venha a falhar e provocar a quebra do equipamento. Composta por tarefas, tais como: inspeções, substituições de peças e reformas (DRAPINSK,1973).

Esse tipo de manutenção é realizado de maneira periódica segundo Drapinsk (1973), com intervalos de tempo bem definidos, baseando-se em uma expectativa de vida mínima dos componentes, obtida a partir da própria experiência ou seguindo as recomendações da empresa fabricante.

Como as paradas são pré-programadas, é possível que haja uma organização maior em torno do tempo de execução e do custo da interrupção, possibilitando assim, uma volta mais rápida à produção gerando uma perda de lucro menor para a empresa.

Segundo Moussa (2011), o simples fato deste tipo de manutenção reduzir o risco de paradas não planejadas, já o faz um método melhor do que a manutenção corretiva.

### 2.1.1.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva pode ser entendida como um acompanhamento constante dos equipamentos em operação (MIRSHAWKA, 1991). Para Moussa (2011), este tipo de manutenção pode ser realizada pelo próprio funcionário que trabalha na instalação, desde uma simples conferência visual, até uma inspeção munida de equipamentos mais sofisticados, denominado de exames exaustivos, tais como ultrassom e ferrografia.

Como o próprio funcionário está presente diariamente na instalação, ele já está acostumado com o barulho e com as vibrações provenientes do próprio maquinário, logo ele é a pessoa mais indicada para realizar esse tipo de manutenção, pois caso haja algum desvio de padrão no comportamento das máquinas, ele é quem poderá identificar de maneira mais rápida e eficiente.

Kardec e Nascif (2009) explicam que seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preventiva é o de predizer as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção

nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

### 2.1.2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Em pequenas unidades produtivas, segundo Costa (2005) quando se busca realizar o planejamento e gestão da manutenção, alguns aspectos devem ser analisados na hora da decisão do plano de manutenção quanto ao:

- Tipo de equipamento existente.
- Quantidade de equipamentos.
- Nível de capacitação de pessoal.
- Possíveis gastos decorrentes da manutenção.

Costa (2005) cita ainda algumas opções para a realização da manutenção em pequenas unidades produtivas como os sistemas de dessalinização. Dentre as opções estão:

- Terceirizar totalmente a manutenção.
- Realização de inspeções pelo próprio administrador do empreendimento e terceirizar os demais serviços.
- Execução de exames exaustivos e realizar a inspeção dos equipamentos.

### 2.1.3 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS - FMEA

A Análise de Modos e Efeitos de Falhas, traduzido do inglês FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), é uma técnica de análise cujo objetivo primordial é detalhar os equipamentos e componentes de um sistema a fim de levantar todas as maneiras pelas quais o componente possa vir a falhar e avaliar quais os efeitos que estas acarretam sobre os demais componentes e sobre o sistema.

É um método qualitativo, sistematizado e voltado para o aumento da confiabilidade através da identificação de modos de falha de equipamentos individualmente e os efeitos sobre o sistema, e indiretamente para a melhoria da segurança do processo, podendo ser usada na análise de risco (RAPOSO, 2004).

Apesar de ser uma técnica de análise essencialmente qualitativa, uma extensão da FMEA, a Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falhas, traduzido do inglês FMECA,



Alguns conceitos são de fundamental importância para o entendimento da Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA). Essas definições que estão associadas às falhas e os itens físicos serão apresentados abaixo.

#### 2.1.3.1 Função

De acordo com Moubrey (2000) função é o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de desempenho especificado. É o principal produto da primeira etapa da metodologia. As definições das funções são necessárias à identificação das atividades de manutenção recomendadas para cada sistema.

#### 2.1.3.2 Falhas

Uma falha consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada. Prevenir e corrigir falhas constitui os objetivos principais da manutenção. Para isto é necessário conhecer as formas como os sistemas falham (MOUBRAY, 2000).

#### 2.1.3.3 Modos de Falha

Segundo Moubrey (2000) um modo de falha é definido como qualquer evento que causa uma falha funcional, ou seja, modos de falha são eventos que levam, associados a eles, uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho.

De acordo com Siqueira (2009) a identificação dos modos de falha de um item físico é um dos passos mais importantes no desenvolvimento de qualquer programa que pretenda assegurar que o ativo continue a executar suas funções previstas. Quando em um sistema ou processo cada modo de falha foi identificado, torna-se possível verificar suas consequências e planejar ações para corrigir ou prevenir a falha.

Na prática, dependendo da complexidade de um item físico, do contexto operacional e do nível em que está sendo feita a análise, normalmente são listados vários modos de falha como causas da falha funcional. Alguns dos modos de falha típicos que podem gerar falha funcional são: fratura, separação, deformação, desgaste, abrasão, desbalanceamento,



rugosidade, desalinhamento e trincamento. A lista deve incluir também falhas causadas por erros humanos e falhas de projeto.

#### 2.1.3.4 Causa da falha

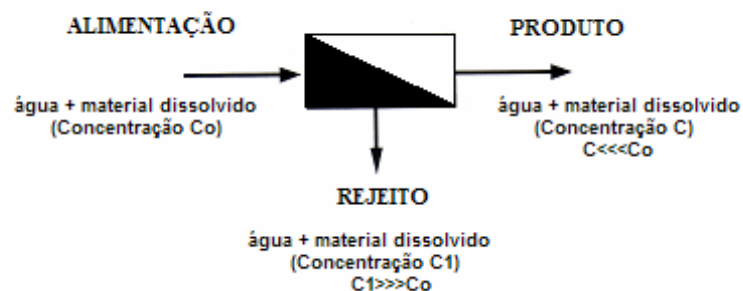
Para Moubray (2000) a causa da falha representa os eventos que geram o aparecimento do modo da falha e pode ser detalhada em diferentes níveis para diferentes situações. A causa da falha de acordo com Siqueira (2009) pode ser associada a: falha de projeto, defeito do material, deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes, defeitos de instalação e montagem, condições de serviço não previstas ou fora de projeto, erro de montagem ou operação indevida.

#### 2.1.3.5 Efeitos da falha

Os efeitos da falha é o que acontece quando um modo de falha ocorre. Esta definição evidencia a finalidade do estudo dos efeitos das falhas: pesquisar os impactos dos modos de falha nas funções do sistema e na instalação (Moubray, 2000).

## 2.2 DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA

A dessalinização separa a água salina em dois fluxos: um com baixa concentração de sais solúveis, constituindo a água doce ou potável, e o outro contendo os sais remanescentes, o concentrado ou salmoura (Figura 2). Os equipamentos que auxiliam este processo são conhecidos por dessalinizadores que operam com energia.



**Figura 1** – Produção de água dessalinizada e de rejeito  
Fonte: Dow (1988)

### 2.2.1 SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA

O sistema de dessalinização é a estação de tratamento da água salobra do poço, onde existem etapas que vão tratando e adequando essa água ao Padrão de Potabilidade para consumo humano (PAD, 2010).

O dessalinizador utiliza o processo de osmose inversa, no qual membranas semipermeáveis, que funcionam como um filtro, conseguem retirar da água salobra ou salina a quantidade de sais imprópria para consumo humano, produzindo dois efluentes, o permeado (água dessalinizada) e o concentrado.

O sistema de dessalinização é composto por poço tubular, bomba do poço, reservatório para água bruta (água do poço), abrigo de alvenaria, reservatório para o permeado (água potável), chafariz para distribuição da água potável, reservatório e tanque de contenção para o concentrado (água concentrada em sais) e o próprio dessalinizador, como é mostrado na figura 3.



**Figura 2** – Componentes do sistema de dessalinização  
Fonte: PAD (2010)

### 2.2.2 ETAPAS DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA

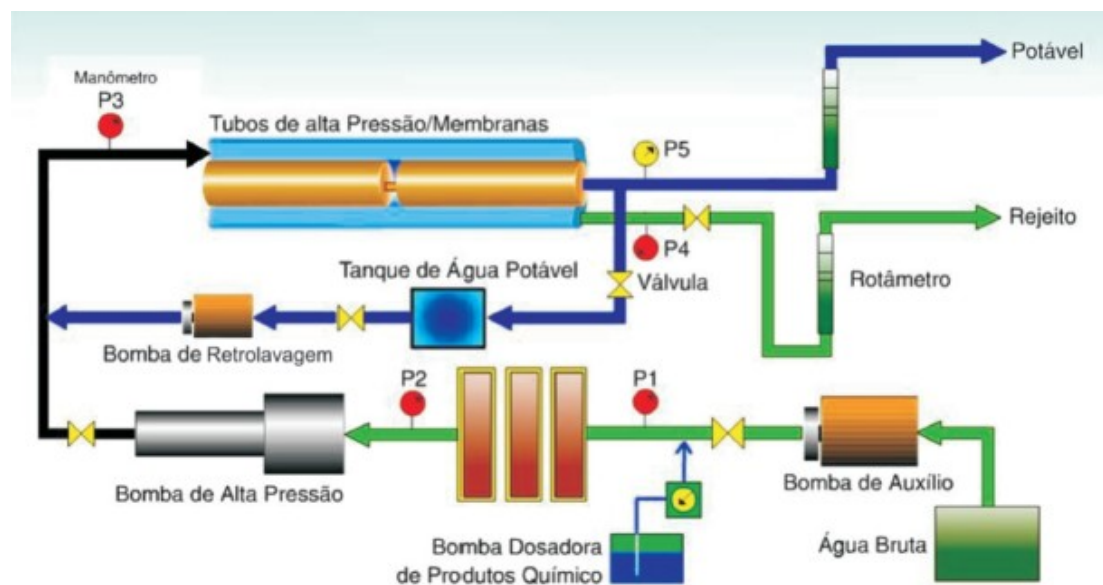
De acordo com o Programa Água Doce (2010) podemos definir as seguintes etapas para o tratamento da água salobra:

A água salobra do poço é bombeada para o reservatório de água bruta para em seguida ser bombeada para o dessalinizador passando antes por filtros que removem partículas maiores (areia, barro, argila, etc.) que causam o entupimento das membranas. Este é o chamado pré-tratamento físico da água de alimentação do dessalinizador;

Este tratamento prévio é complementado com a adição de um produto que evita que os sais se depositem prejudicando as membranas e o tratamento da água salobra do poço. Este é o chamado pré-tratamento químico da água de alimentação do dessalinizador;

Depois de tratada, a água de alimentação é bombeada para os vasos de pressão com auxílio de uma bomba que gera uma pressão suficiente e necessária para que o processo de osmose inversa aconteça;

A água dessalinizada deve ser tratada com cloro para garantir que sua qualidade biológica seja mantida até a hora do consumo. Este é o chamado pós-tratamento. Somente após a cloração do permeado é que teremos a água potável para consumo humano (Figura 4).



**Figura 3** – Fluxo de um dessalinizador.  
Fonte: PAD (2010)

### 2.2.3 ÁGUA SUBTERRÂNEA NO SEMIÁRIDO BAIANO

O Estado da Bahia ocupa uma área aproximadamente de 567.000 km<sup>2</sup>, dos quais, 55% deste território estão inseridos na região do Semiárido brasileiro. Esta região é caracterizada por incidirem secas prolongadas, ou seja, baixa precipitação, deficiência de umidade no solo agrícola e temperaturas médias elevadas. A área onde ocorre menor precipitação é definida como “Polígono das Secas” compreendida pela isoietas de 800 mm (VIEIRA, 2002).

De acordo com Rocha (2008) devido a estas características climáticas a rede superficial é constituída, em quase sua totalidade, por rios intermitentes o que dificulta o

abastecimento às populações e atividades econômicas com água superficial. Uma alternativa viável para um suprimento mais expressivo às comunidades é a exploração da água subterrânea.

Azevedo (2012) ressalta que, nas últimas quatro décadas, não faltaram diagnósticos, previsões e um conjunto de tecnologias sociais disponíveis e de baixo custo para solucionar ou pelo menos minimizar os problemas causados pela falta de chuvas na região do semiárido. No entanto, a cada seca, os antigos problemas aparecem como falta de segurança hídrica e alimentar e o fato é que as medidas tomadas apenas são paliativas, atenuam um mal, procrastinam uma crise, quando na verdade ações duradouras e efetivas deveriam ser adotadas para a convivência com o semiárido.

Os aquíferos formados nesta região são de natureza fissural e baixo potencial hídrico. Assim, com perfurações em rochas do embasamento cristalino, a produtividade dos poços fica restrita às zonas fraturadas na rocha, os poços comumente apresentam vazões entre 1 a 3m<sup>3</sup>/h, Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006) e as águas apresentam salinidade acima dos limites de potabilidade, com uma qualidade ruim e imprópria para o consumo humano.

Em se tratando do semiárido, com rochas do embasamento cristalino, a água não pode ser consumida sem um tratamento prévio devido ao alto teor de sais. Portanto, a utilização de água subterrânea do embasamento cristalino para abastecimento humano requer tratamento para retirar o sal dissolvido contido nela através do processo da dessalinização.

Este processo se difundiu amplamente no semiárido baiano devido à carência hídrica superficial e a elevada concentração de sais dissolvidos presentes nos mananciais subterrâneos.

#### 2.2.4 PROGRAMA ÁGUA DOCE

Os recursos para manutenção de sistemas de dessalinização são repassados pelo Ministério do Meio Ambiente através do Programa Água Doce (PAD), responsável pela gestão dos dessalinizadores vigente no estado da Bahia.

O PAD é uma ação do Governo Federal, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente, em parceria com diversas instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil. Visa estabelecer uma política pública permanente de acesso à água de qualidade para o consumo humano por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas,

incorporando cuidados ambientais e sociais na gestão de sistemas de dessalinização. Busca atender, prioritariamente, localidades rurais difusas do Semiárido Brasileiro (MMA, 2010).

O Programa foi formulado em 2003 de forma participativa com a contribuição de diversas entidades que tratam do tema, a nível federal, estadual e municipal, beneficiando localidades distribuídas pelo semiárido e garantindo o acesso à água potável a seus moradores.

De acordo com o Programa Água Doce (2012) suas ações são iniciadas a partir dos municípios mais críticos em cada estado e naquelas áreas mais suscetíveis ao processo de desertificação. Para isso são definidos critérios técnicos para atender primeiramente quem mais precisa. Assim, os municípios com menores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH), altos percentuais de mortalidade infantil, baixos índices pluviométricos e com dificuldade de acesso aos recursos hídricos são os primeiros a serem contemplados pelo programa.

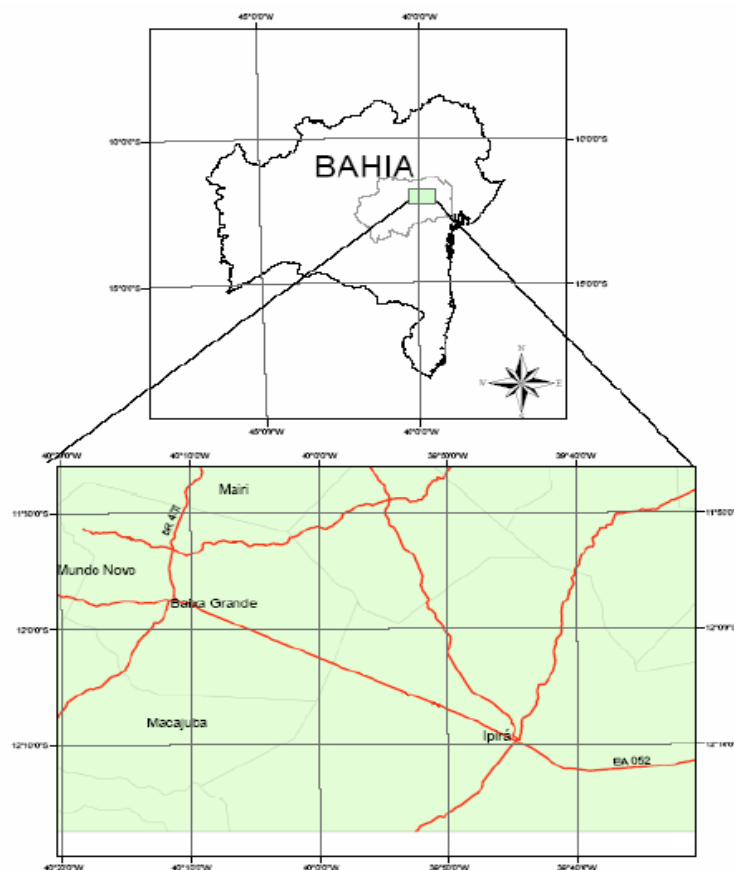
De acordo com Azevedo (2012) o Programa Água Doce se mostra como uma medida de adaptação e mitigação dos efeitos dos limites hídricos impostos pelo meio físico, e acentuado pelas mudanças climáticas, uma vez que adota uma metodologia para o aproveitamento sustentável de águas subterrâneas por meio de sistemas de dessalinização. E esse aproveitamento de águas subterrâneas se apresenta como uma das alternativas para o abastecimento humano em áreas rurais.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A localidade de Cachoeirinha, na zona rural de Ipirá, foi escolhida para ser alvo do estudo (Figura 1). Ela está situada na micro bacia do rio do Peixe, inserida na sub bacia de Ipirá, na parte central da Bacia do Médio Paraguaçu.

O principal acesso à região de estudo partindo de Salvador a Ipirá é feito pelas rodovias BR-324 e 116 e BA-052 com percurso de 202 km de estradas pavimentadas. O acesso até a localidade de Cachoeirinha é realizado por estradas não pavimentadas.



**Figura 4** – Localização da área de estudo  
Fonte: Adaptado de Rocha (2008)

#### 3.2 CARACTERÍSTICAS LOCAIS

A localidade de Cachoeirinha abriga em torno de noventa famílias e tem como principal fonte de abastecimento de água, em períodos de estiagem, a captação de água do poço tubular que passa pela unidade dessalinizadora.

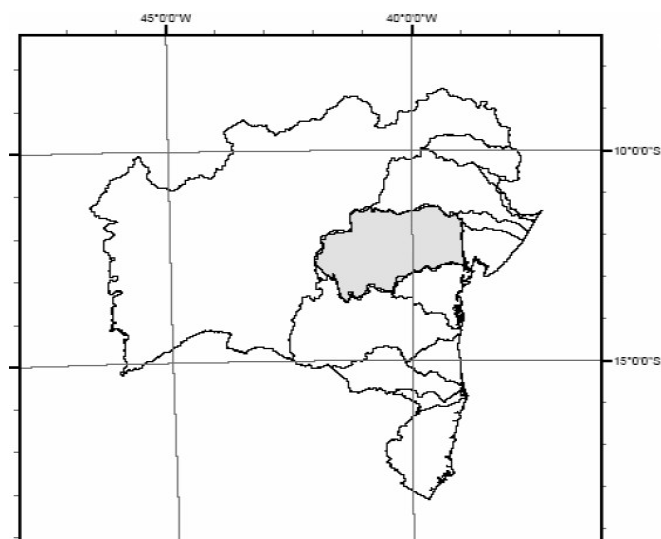
De acordo com o Banco de Dados da CERB (2018) a localidade abriga em torno de noventa famílias e é constituída por casas dispersas num raio de 3km, além de uma igreja e uma escola. A atividade principal da população local é a agricultura, representada pelo plantio de feijão, milho e mamona.

### 3.3 HIDROGRAFIA

A localidade de Cachoeirinha, área de estudo, está situada na bacia hidrográfica do Médio Paraguaçu, localizada na região centro-leste do Estado da Bahia (Figura 5). Apresenta uma forma retangular, alongada, com escoamento geral no sentido oeste-leste.

A hidrografia é considerada modesta devido ao caráter intermitente e irregular de boa parte de seus rios. A disponibilidade hídrica superficial é baixa, com reservatórios com baixa capacidade de armazenamento e uma forte tendência à salinização.

Os mananciais subterrâneos são inexpressivos, apresentando baixa capacidade de armazenamento das rochas e tem como consequência, capacidade reduzida de produção dos poços e um maior índice de salinidade de suas águas. Em decorrência dessas características, a região apresenta uma grande carência hídrica, alto índice de aridez e a evaporação é alta (SRH, 1996).



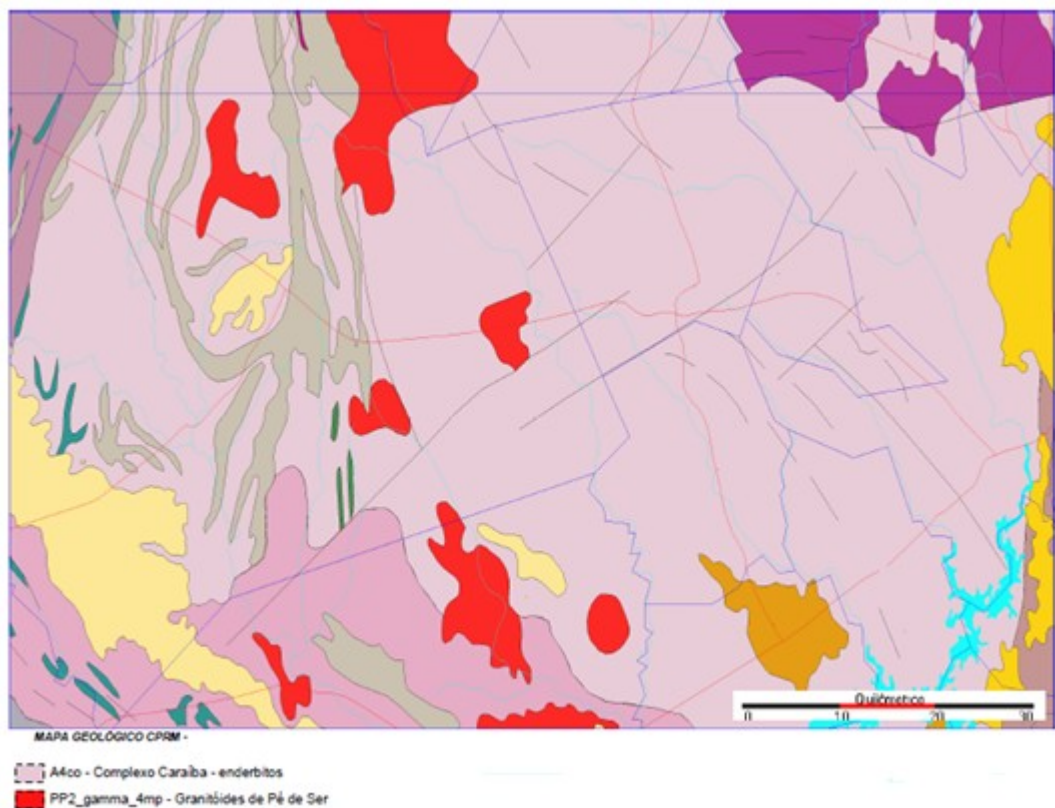
**Figura 5** – Bacia do Paraguaçu  
Fonte: Adaptado de Rocha (2008)

### 3.4 CLIMA E VEGETAÇÃO

A área de estudo está inserida no Polígono das Secas e o clima predominante é tropical quente-úmido. De acordo com a SRH (1996) as precipitações médias anuais estão entre 700 e 900 mm e a temperatura média anual oscila entre 26°C e 28°C, sendo julho e agosto os meses mais frios e janeiro e fevereiro os mais quentes. Influenciada pelos fatores climáticos, morfológicos e pedológicos, a vegetação nativa da área é a caatinga constituída, predominantemente, por formas vegetais xeromórficas e lenhosas monofoliadas decíduais.

### 3.5 GEOLOGIA

A localidade de Cachoeirinha fica na região nordeste de Cráton do São Francisco, abrangendo o Complexo Caraíba no município de Ipirá (Figura 6). É constituído, predominantemente, por ortognaisses enderbíticos, charnoenderbíticos e charnockíticos. Feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio, hornblenda e biotita são os seus principais constituintes. (CPRM, 1995).



**Figura 6** - Mapa Geológico da região de Cachoeirinha CPRM (1995)



### 3.6 HIDROGEOLOGIA

O domínio cristalino predomina na área de estudo e forma aquíferos cristalinos de natureza fissural e de reduzida potencialidade hídrica. As melhores possibilidades de captação nestes aquíferos ficam restritas nas zonas fraturadas e a ocorrência de poços mais produtores acontece quando localizados nas zonas que atravessam várias fraturas.

No entanto, o fator hidrogeológico mais limitante é representado pela ocorrência de águas com alto teor de sólidos totais dissolvidos. Segundo Rebouças (2002), essa característica é gerada pela concentração dos componentes dissolvidos nas águas das chuvas através da evaporação intensa resultante da alta insolação da região, o que provoca a concentração progressiva dos sais tanto nas águas superficiais como no solo. Portanto, as águas que se infiltram nas zonas aquíferas das zonas fraturadas já chegam com alto teor de sal.

## 4 APLICAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE CACHOEIRINHA

### 4.1 SUBSISTEMAS DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE CACHOEIRINHA

O uso do dessalinizador tornou-se a principal alternativa para o abastecimento de água na localidade de Cachoeirinha, na zona rural de Ipirá, já que as medidas como construção de cisternas e açudes não eram suficientes para suprir o consumo.

O sistema de dessalinização de Cachoeirinha é composto por uma série de componentes, mas neste estudo serão destacados apenas aqueles que ao falhar, podem causar interrupção ou alteração da operação normal do sistema, diminuindo a disponibilidade de água potável para população.

Estes componentes serão agrupados em quatro subsistemas, que foram definidos com base em entrevistas com os operadores e técnicos responsáveis pelo sistema de dessalinização e nos documentos base do Programa Água Doce. São eles: poço tubular, dessalinizador, bombas do dessalinizador e reservatórios. Estes subsistemas e seus principais componentes serão apresentados com mais detalhes abaixo.

#### 4.1.1 Poço Tubular

Através do poço tubular é possível captar a água dos mananciais subterrâneos (Figura 7). O poço tubular apresenta os seguintes dados técnicos (Tabela 2) de acordo com o Banco de Dados da CERB (2018):

**Tabela 2** - Dados técnicos do poço

Profundidade	48m
Nível estático	4,1m
Nível dinâmico	30,4m
Vazão	2,4m <sup>3</sup> /h
Entrada de água	15m

Quanto aos parâmetros físico-químicos da água temos os seguintes dados (Tabela 3):

**Tabela 3** - Parâmetros físico-químicos do poço

Cloreto	5634,2mg/L
Dureza	6051,72mg/L
Nitrato	13,3mg/L
Resíduos totais	14 302mg/L



**Figura 7** – Poço tubular de Cachoeirinha  
Fonte: CERB (2018)

Neste subsistema está incluída a boca do poço, cuja principal função é evitar problemas como sujeiras nos poços, com a penetração de águas de chuva, córregos, lagos, enchentes ou mesmo pela ação do homem.

Outro componente a ser destacado é a unidade de bombeamento que diz respeito ao tipo de equipamento utilizado para o bombeamento da água do poço. Além da bomba submersa, essa unidade possui uma tubulação edutora que conduz a água até a superfície. A bomba instalada no poço tubular bombeia a água salobra para um reservatório que alimenta o dessalinizador.

#### 4.1.2 Dessalinizador

O dessalinizador utiliza o processo de osmose inversa, no qual membranas semipermeáveis, que funcionam como um filtro, conseguem retirar da água salobra a quantidade de sais imprópria para consumo humano (Figura 8).



**Figura 8** - Unidade dessalinizadora de Cachoeirinha  
Fonte: CERB (2018)

Um importante componente deste subsistema são os tubos de alta pressão. Nestes tubos estão instaladas as membranas, que realizam a separação dos sais da água por osmose inversa. Nela os espelhos de travamento, tubulações e mangueiras devem estar bem encaixados e sem vazamento já que a água salobra provoca a corrosão na estrutura do dessalinizador.

Os filtros de cartuchos também compõe o subsistema e são elementos que fazem parte do pré-tratamento da água de alimentação do sistema. A porosidade do filtro e sua área são os parâmetros que definem a taxa de filtragem.

São cinco os manômetros de pressão do dessalinizador e as pressões devem ser anotadas todos os dias:

- P01 – mede a pressão antes dos filtros;
- P02 – mede a pressão após os filtros;
- P03 – mede a pressão antes da passagem nas membranas (esta pressão do P03 deve ser a indicada no projeto inicial);

- P04 – mede a pressão após a passagem nas membranas;
- P05 – mede a pressão de saída da água potável.

Caso P01 seja maior que 10% de P02 é necessária a troca dos filtros e se P03 for maior que 15% de P04 uma limpeza deve ser efetuada (Programa Água Doce, 2010).

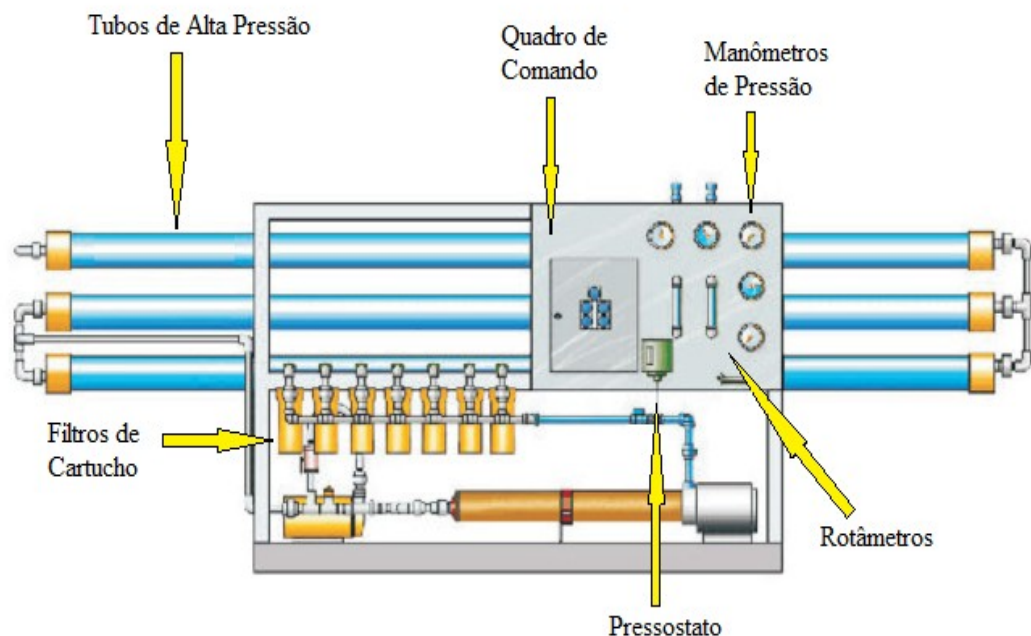
Outro componente são os rotâmetros que medem as vazões do aparelho:

- Q01 – Mede a vazão da água potável;
- Q02 – Mede a vazão do rejeito.

O pressostato é um equipamento de proteção da bomba de pressão. Caso a pressão de entrada da água na bomba seja pequena o pressostato desarma a bomba *booster*.

Já o quadro de comando é o responsável pelo acionamento elétrico da unidade dessalinizadora. Deve ser mantido sempre limpo e com os seus parafusos, e terminais bem apertados.

A figura 9 abaixo mostra os componentes do subsistema dessalinizador.



**Figura 9** – Componentes do Dessalinizador  
Fonte: Adaptado de CERB (2014)

#### 4.1.3 Bombas do Dessalinizador

O dessalinizador possui três bombas instaladas (Figura 10). Cada uma com uma função específica neste subsistema:

A bomba de retrolavagem é utilizada para limpeza dos elementos de membranas após o processo de dessalinização evitando que as membranas descansam com a água salobra. Deve ser ligada todos os dias após a operação do dessalinizador. Esta bomba também pode ser utilizada durante a limpeza química dos elementos de membranas para circulação da solução de limpeza;

A bomba de alta pressão (*booster*) é o componente que gera a pressão necessária para as membranas produzirem uma vazão de água requerida com certa qualidade. Esta é a principal bomba do aparelho, portanto não deve apresentar vazamento nem ruído estranho. Ela deverá fornecer a pressão indicada no projeto inicial;

A bomba dosadora que é o equipamento utilizado para fazer a injeção de produtos químicos antes dos elementos de membranas (anti-incrustantes ou inibidores) como também na corrente de permeado (correção de pH e/ou desinfecção).



**Figura 10** – (a) bomba de retrolavagem; (b) bomba de alta pressão; (c) bomba dosadora.  
Fonte: Adaptado de CERB (2014)

#### 4.1.4 Reservatórios

Os reservatórios cumprem um papel importante no sistema de dessalinização, já que armazenam a água que passará por esse processo (Figura 11). Dentro deste subsistema podemos definir dois componentes:

O reservatório de água bruta armazena a água que é bombeada do poço, principal fonte de alimentação do dessalinizador para produção de água potável.

O reservatório do permeado armazena a água dessalinizada proveniente do sistema. A água deve ser tratada com cloro para garantir que sua qualidade biológica seja mantida até a hora do consumo, no processo chamado de pós-tratamento. Somente após a cloração do permeado é que teremos a água potável para consumo humano.

Já o reservatório do concentrado tem a função de armazenar a água concentrada em sais proveniente do sistema. O rejeito é depositado no tanque de contenção e existe um projeto para que seja utilizado para a criação de peixes e na irrigação.



**Figura 11** – Reservatórios de Cachoeirinha  
Fonte: CERB (2018)

#### 4.2 APLICAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

Com base nos conceitos explicados na fundamentação teórica deste trabalho se torna possível a aplicação do plano de manutenção do sistema de dessalinização de Cachoeirinha.

Após a apresentação dos subsistemas do sistema de dessalinização de Cachoeirinha e seus principais componentes no tópico anterior, o próximo passo é a identificação e classificação dos equipamentos com a aplicação da Análise de Modos e Efeitos de Falhas

(FMEA). Através das planilhas de Análise e Efeitos de Falhas serão identificadas as falhas funcionais, modos de falha e efeitos de falha de cada componente (Tabelas 4, 5, 6 e 7).

De posse das informações obtidas na FMEA serão preenchidas as planilhas do plano de manutenção. Nelas serão avaliadas as consequências de cada modo de falha e serão propostas as tarefas de manutenção e a periodicidade em que devem ser realizadas (Tabelas 8, 9, 10 e 11).

Para o auxílio da definição das tarefas de manutenção e a periodicidade em que devem ser realizadas foram consultados os documentos base do Programa Água Doce e os operadores e técnicos responsáveis pelo sistema de dessalinização de Cachoeirinha.



**Tabela 4** – FMEA para o subsistema Poço Tubular

Sistema de dessalinização de Cachoeirinha			Subsistema: Poço Tubular					
	<b>Função</b>		<b>Componente</b>		<b>Falha funcional</b>		<b>Modo de Falha</b>	<b>Efeito de Falha</b>
1	Faz a captação de água dos mananciais subterrâneos	1.1	Boca do poço	A	Abertura indevida	A.1	Falha humana	Diminuição da disponibilidade de água com possibilidade de parada do sistema e contaminação no manancial subterrâneo
				B	Vazamentos e rupturas	B.1 B.2	Corrosão Deterioração	Diminuição da disponibilidade de água e contaminação no manancial subterrâneo
		1.2	Unidade de bombeamento	C	Bomba fornece vazão inferior ou não bombeia	C.1 C.2	Entrada de ar na tubulação Deterioração	Diminuição da disponibilidade de água
				D	Bomba sobrecarrega o motor	D.1 D.2	Falha humana Deterioração	Diminuição da disponibilidade de água

Tabela 5 - FMEA para o subsistema Dessalinizador

Sistema de dessalinização de Cachoeirinha			Subsistema: Dessalinizador					
Função	Componente	Falha funcional	Modo de Falha	Efeito de Falha				
2 Retira da água salobra a quantidade de sais imprópria para consumo humano	2.1 Tubos de alta pressão	A	Vazamentos e rupturas	A.1	Deterioração	Corrosão na estrutura do dessalinizador		
		B	Formação de biofilmes na superfície da membrana	B.1	Incrustação	Diminuição da disponibilidade de água com possibilidade de parada do sistema		
		C	Obstrução na tubulação	C.1	Incrustação	Diminuição da disponibilidade de água		
	2.2 Filtros de cartucho	D	Diminuição da retenção de partículas presentes na água	D.1	Sujeira	Diminuição da qualidade da água		
				D.2	Deterioração	Diminuição da qualidade da água		
	2.3 Manômetros de pressão	E	Erro de leitura	E.1	Falta de calibração	Redução do controle de pressão com possibilidade de parada do sistema		
				E.2	Falha humana			
	2.4 Rotâmetros	F	Erro de leitura	F.1	Falta de calibração	Redução do controle de vazão com possibilidade de diminuição da qualidade da água		
				F.2	Falha humana			
	2.5	Pressostato	G	Falha na segurança da bomba de alta pressão	G.1	Deterioração	Parada do sistema	
	2.6	Quadro de comando	H	Falha no acionamento do dessalinizador	H.1	Deterioração	Parada do sistema	
					H.2	Falta de energia elétrica		
H.3					Falha humana			

**Tabela 6** - FMEA para o subsistema Bombas do Dessalinizador

Sistema de dessalinização de Cachoeirinha			Subsistema: Bombas do Dessalinizador						
Função	Componente	Falha Funcional	Modo de Falha	Efeito de Falha					
3	Bombeia a água durante o processo de dessalinização	3.1	Bomba de retrolavagem	A	Bomba fornece vazão inferior ou não bombeia	A.1	Entrada de ar na tubulação	Diminuição da qualidade da água	
				A.2	Deterioração				
	3.2	Bomba de alta pressão	B	Bomba fornece vazão inferior ou não bombeia	B.1	Entrada de ar na tubulação	Possibilidade de parada do sistema		
					B.2	Deterioração			
	3.3	Bomba dosadora	D	Bomba fornece vazão inferior ou não bombeia	C	Bomba esquentando rapidamente	C.1	Problema elétrico	Parada do sistema
					D.1	Entrada de ar na tubulação			
	D.2	Deterioração							

---

E	Obstrução na mangueira	E.1	Sujeira	Diminuição da qualidade da água
---	------------------------	-----	---------	---------------------------------

---

Tabela 7 - FMEA para o subsistema Reservatórios

Sistema de dessalinização de Cachoeirinha				Subsistema: Reservatórios				
Função		Componente		Falha Funcional		Modo de Falha		Efeito de Falha
4	Armazena a água que passa pelo processo de dessalinização	4.1	Reservatório de água bruta	A	Vazamentos e rupturas	A.1	Deterioração	Diminuição da disponibilidade de água
					Reservatórios sem a limpeza adequada	A.2	Falha humana	Diminuição da qualidade da água
		4.2	Reservatório do permeado	B	Vazamentos e rupturas	B.1	Deterioração	Diminuição da disponibilidade de água
					Reservatórios sem a limpeza adequada	B.2	Falha humana	Diminuição da qualidade da água
		4.3	Reservatório do concentrado	C	Vazamentos e rupturas	C.1	Deterioração	Contaminação ambiental

**Tabela 8** – Plano de manutenção para o subsistema Poço Tubular

Sistema de dessalinização de Cachoeirinha				Subsistema: Poço Tubular	
<b>Informações de Referência</b>				<b>Tarefa Proposta</b>	<b>Frequência Inicial</b>
<b>F</b>	<b>C</b>	<b>FF</b>	<b>MF</b>		
1	1.1	A	A.1	Realizar treinamento dos operadores	Anual
1	1.1	B	B.1	Verificar e remover corrosões	Trimestral
1	1.1	B	B.2	Verificar deteriorações na base e boca do poço	Semestral
1	1.2	C	C.1	Verificar e eliminar entrada de ar	Trimestral
1	1.2	C	C.2	Verificar rolamentos e selo mecânico da bomba	Semestral
1	1.2	D	D.1	Realizar treinamento dos operadores	Anual
1	1.2	D	D.2	Verificar rolamentos e selo mecânico da bomba	Semestral

F – Função; C – Componente; FF - Falha Funcional; MF - Modo de Falha

**Tabela 9** – Plano de manutenção para o subsistema Dessalinizador

Sistema de dessalinização de Cachoeirinha				Subsistema: Dessalinizador	
<b>Informações de Referência</b>				<b>Tarefa Proposta</b>	<b>Frequência Inicial</b>
<b>F</b>	<b>C</b>	<b>FF</b>	<b>MF</b>		
2	2.1	A	A.1	Verificar deterioração e realizar reparos na tubulação	Semestral
2	2.1	B	B.1	Verificar estoque de anti-incrustante	Trimestral
				Realizar limpeza química das membranas	Semestral
2	2.1	C	C.1	Verificar estoque de anti-incrustante	Trimestral
2	2.2	D	D.1	Verificar e remover sujeira	Mensal
2	2.2	D	D.2	Verificar as pressões de operação do dessalinizador	Mensal
				Verificar estoque de filtros de cartucho	Trimestral

2	2.3	E	E.1	Realizar calibração do equipamento	Anual
2	2.3	E	E.2	Realizar treinamento dos operadores	Anual
2	2.4	F	F.1	Realizar calibração do equipamento	Anual
2	2.4	F	F.2	Realizar treinamento dos operadores	Anual
2	2.5	G	G.1	Verificar deterioração	Semestral
2	2.6	H	H.1	Verificar deterioração	Semestral
2	2.6	H	H.2	Consultar um electricista (possibilidade de desarme de um dos disjuntores ou contactores do dessalinizador)	
2	2.6	H	H.3	Realizar treinamento dos operadores	Anual

---

F – Função; C – Componente; FF - Falha Funcional; MF - Modo de Falha



**Tabela 10** – Plano de manutenção para o subsistema Bombas do Dessalinizador

Sistema de dessalinização de Cachoeirinha				Subsistema: Bombas do Dessalinizador	
<b>Informações de Referência</b>				<b>Tarefa Proposta</b>	<b>Frequência Inicial</b>
<b>F</b>	<b>C</b>	<b>FF</b>	<b>MF</b>		
3	3.1	A	A.1	Verificar e eliminar entrada de ar	Trimestral
3	3.1	A	A.2	Verificar rolamentos e selo mecânico da bomba	Semestral
3	3.2	B	B.1	Verificar e eliminar entrada de ar	Trimestral
3	3.2	B	B.2	Verificar rolamentos e selo mecânico da bomba	Semestral
3	3.2	C	C.1	Consultar uma oficina autorizada	
3	3.3	D	D.1	Verificar e eliminar entrada de ar	Trimestral
3	3.3	D	D.2	Verificar rolamentos e selo mecânico da bomba	Semestral

---

3 3.3 E E.1

Verificar e remover sujeira

Mensal

---

F – Função; C – Componente; FF - Falha Funcional; MF - Modo de Falha

**Tabela 11** – Plano de manutenção para o subsistema Reservatórios

Sistema de dessalinização de Cachoeirinha				Subsistema: Reservatórios	
<b>Informações de Referência</b>				<b>Tarefa Proposta</b>	<b>Frequência Inicial</b>
<b>F</b>	<b>C</b>	<b>FF</b>	<b>MF</b>		
4	4.1	A	A.1	Verificar deterioração	Semestral
				Realizar monitoramento da qualidade da água do poço	Mensal
4	4.1	A	A.2	Realizar treinamento dos operadores	Anual
				Realizar limpeza do reservatório	Mensal
4	4.2	B	B.1	Verificar deterioração	Semestral
				Realizar monitoramento da qualidade da água do permeado	Mensal
4	4.2	B	B.2	Realizar treinamento dos operadores	Anual

	Realizar limpeza do reservatório	Mensal
4 4.3 C C.1	Verificar deterioração	Semestral
	<u>Realizar monitoramento da qualidade do concentrado</u>	Mensal
<hr/>		
F – Função; C – Componente; FF - Falha Funcional; MF - Modo de Falha		

### 4.3 CUSTOS ESTIMADOS

Os custos de manutenção para uma operação normal do sistema de dessalinização estão relacionados à execução das tarefas propostas nas tabelas 8, 9, 10 e 11. Estes custos são com energia elétrica, mão de obra, reposição de membranas, limpezas químicas, manutenção em bombas e peças sobressalentes, produtos usados no pré-tratamento como filtros de cartuchos e anti-incrustantes.

Atualmente os recursos para manutenção de sistemas de dessalinização são repassados pelo Ministério do Meio Ambiente através do Programa Água Doce (PAD), responsável pela gestão dos dessalinizadores vigente no estado da Bahia.

Na Bahia existe um convênio do Programa Água Doce firmado com a Secretaria de Meio Ambiente do Estado (SEMA) e executado pela Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB) com o apoio das prefeituras dos municípios beneficiados. E os recursos provenientes do Ministério do Meio Ambiente são aplicados na implantação, recuperação e gestão de sistemas de dessalinização.

Com a execução do PAD, o Ministério do Meio Ambiente, em conjunto com instituições parceiras, contribui com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS definem as prioridades e aspirações globais para 2030 e buscam mobilizar os esforços globais ao redor de uma série comum de objetivos e metas. O objetivo é representar uma oportunidade para eliminar a pobreza extrema e colocar o mundo numa trajetória sustentável.

Espera-se que o plano de manutenção do sistema de dessalinização Cachoeirinha receba os recursos citados provenientes do Ministério do Meio Ambiente por intermédio do Programa Água Doce para a sua aplicação durante o ano.

Na tabela 12 estão descritos alguns serviços e custos estimados para operação e manutenção de um dessalinizador de vazão equivalente à unidade dessalinizadora de

Cachoeirinha, baseados nos documentos base do Programa Água Doce. Para adequação a realidade atual os valores foram corrigidos pelo Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M).

De acordo com a tabela 12 o valor anual total para operação e manutenção do sistema de dessalinização de Cachoeirinha é de R\$22.067,50, o equivalente a R\$1.838,96 mensais.



---

<b>Total (R\$)</b>	1729,5	1842	1826	1730	1841,5	1825,5	1729,5	1841,5	1825,5	1873,5	2177,5	1825,5
--------------------	--------	------	------	------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

---



#### 4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da FMEA foram identificados 33 modos de falha, sendo 7 modos de falha do subsistema poço tubular, 13 modos de falha do subsistema dessalinizador, 8 no subsistema bombas do dessalinizador e 10 no subsistema reservatórios.

Dos 33 modos de falha identificados, 39% estão relacionados à deterioração do sistema de dessalinização, logo dentro das tarefas propostas uma atenção à conservação do sistema é importantíssima. Como apresentado nas tabelas 8, 9, 10 e 11 a periodicidade dessas manutenções deve ser semestral.

Existe uma grande necessidade de realização de treinamento para os operadores do sistema, já que 21% dos modos de falha estão relacionados à falha humana. Tanto cursos teóricos e quanto práticos devem ser ministrados com a frequência anual. Outro fator importante a se considerar é o grau de instrução dos operadores antes da realização destes treinamentos. Muitos deles, devido à baixa escolaridade, não conseguem assimilar o conteúdo apresentado no curso, levando dúvidas e incertezas para a operação do sistema e que acaba se refletindo no alto número de modos de falhas relacionado a eles.

Como sugerido na tabela 11, o monitoramento da água que passa pelo processo de dessalinização é crucial para o sucesso da manutenção. O monitoramento da qualidade das águas de alimentação, permeado e concentrado é realizado através das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas por laboratórios especializados. A necessidade do monitoramento se deve ao fato de possíveis mudanças em algumas características da água que podem ocorrer com o tempo ou devido a condições externas que possam vir a contaminar a fonte. Um erro que ocorre rotineiramente nesse monitoramento é a forma como a água coletada. Muitas vezes o recipiente em que é coletada a amostra de água não é adequado e o tempo para que esta amostra chegue ao laboratório para análise é muito maior do que o necessário.

Outro componente importante na conservação da qualidade da água do sistema de dessalinização é o rotâmetro que deve estar sempre calibrado. 27% dos modos de falha identificados na FMEA tem como efeito de falha a diminuição da qualidade da água.

Dos modos de falha identificados, 33% tem como efeito da falha a possibilidade de parada do sistema. Devido à gravidade do efeito causado ao sistema de dessalinização esses modos de falha devem ser priorizados na manutenção. Tarefas propostas na tabela 9 como

verificar as pressões do dessalinizador através dos manômetros, que devem estar calibrados, visam à diminuição nestas paradas do sistema, pois identificam quando os filtros de cartucho precisam ser trocados e quando é necessária a realização de limpeza química para remoção das incrustações nas membranas.

A bomba de alta pressão é um dos componentes que também pode levar a parada do sistema. Modos de falhas relacionados a ela devem ser sempre verificados e a sua manutenção, como apresentado na tabela 10, deve ser feita em oficina autorizada.

Dentre os modos de falha, 9% podem ter como efeitos de falha uma contaminação ambiental. Cabe-se destacar a importância da conservação dos reservatórios do concentrado, já que deteriorações em sua estrutura podem resultar no vazamento do concentrado armazenado e conseqüentemente a salinização do solo e do lençol freático.

Os custos estimados apresentaram um valor anual total para operação e manutenção do dessalinizador de Cachoeirinha é de R\$22.067,50, o equivalente a R\$1.838,96 mensais.

Inicialmente se espera que o plano de manutenção do sistema de dessalinização de Cachoeirinha receba os recursos provenientes do Ministério do Meio Ambiente por intermédio do Programa Água Doce para a sua aplicação. Os custos estimados apresentaram um valor anual total para operação e manutenção de R\$22.067,50, o equivalente a R\$1.838,96 mensais.

A posteriori com uma maior organização e adaptação dos operadores e população beneficiada da localidade ao plano de manutenção, deve-se organizar uma forma de tornar a operação e manutenção do sistema de dessalinização autossustentável. Isso seria possível com a arrecadação de um fundo de reserva, através de cobranças de taxas para as famílias beneficiadas, com o objetivo de cobrir os custos do plano de manutenção.

Dividindo os custos estimados mensais para operação e manutenção pelas noventa famílias beneficiadas da localidade, resultaria um valor mensal de R\$20,43 por família como contribuição ao fundo de reserva.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o plano de manutenção do sistema de dessalinização de Cachoeirinha, localizada na zona rural de Ipirá. Foram mostrados os principais conceitos da dessalinização de água e da manutenção de equipamentos, além da importância da aplicação da FMEA.

A metodologia foi aplicada ao sistema de dessalinização de Cachoeirinha com a definição de subsistemas e componentes que ao falhar, podem causar alteração da operação normal, gerando efeitos como a diminuição da disponibilidade e da qualidade da água. Além de serem identificados e classificados as falhas funcionais e modos de falha dos equipamentos.

Com isso foi possível o preenchimento das tabelas do plano de manutenção, em que foram avaliadas as consequências de cada modo de falha e propostas tarefas de manutenção e a frequência inicial a serem realizadas.

Para um melhor aproveitamento deste plano de manutenção é muito importante uma melhor capacitação dos operadores do sistema de dessalinização. A assimilação de novos conceitos nem sempre é fácil e fica agravada pelo baixo grau de escolaridade dos mesmos, logo aprendizagens dos treinamentos anuais devem ser estendidas durante as visitas dos técnicos às localidades.

O suporte da população de Cachoeirinha também é crucial para o sucesso do plano de manutenção. Com o apoio do Programa Água Doce, SEMA, CERB e da Prefeitura de Ipirá ela deve cada vez mais ser capaz de fazer a gestão dos seus recursos hídricos. A população beneficiada com a organização de meios para arrecadação de um fundo de reserva pode tornar a manutenção e operação sistema de dessalinização autossustentável.

Bons resultados na aplicação no plano de manutenção do sistema de dessalinização de Cachoeirinha incentivaria a implementação desse modelo de plano em outras localidades da região e proporcionaria uma contribuição significativa para gestão de recursos hídricos vigente no município de Ipirá.



## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. C. **Avaliação de políticas públicas para o desenvolvimento regional/local: o caso do Programa Água Doce no semiárido paraibano.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional), Universidade Estadual da Paraíba, 2012.

BRITTO, T.M. **Metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada a Pára-Raios de Alta Tensão.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

COMPANHIA DE ENGENHARIA HÍDRICA E DE SANEAMENTO DA BAHIA. **Banco de dados de poços tubulares da Bahia.** Salvador: CERB, 2014.

COMPANHIA DE ENGENHARIA HÍDRICA E DE SANEAMENTO DA BAHIA. **Banco de dados de poços tubulares da Bahia.** Salvador: CERB, 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Serrinha.** Folha SC.24-Y-D. Estado da Bahia. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1995.

COSTA, C. A. da **Curso de Especialização em Engenharia de Petróleo: Manutenção de Equipamentos de Poços.** – Apostila. Salvador: UFBA, 2005.

DOW LATIN AMERICA. **A tecnologia de membranas de osmose reversa.** São Paulo, 1988.

DRAPINSKY, J. **Manutenção Mecânica Básica: manual prático de oficina**. 1a ed. São Paulo, 1973.

GURSKI, C. A. **Noções de Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Apostila. Curitiba: Petrobras, 2002.

KARDEC, Alan; NASCIF Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2009. 384 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos. **Panorama e Estado dos Recursos Hídricos do Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos. Janeiro, 2006. v I.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos. **Panorama e Estado dos Recursos Hídricos do Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos. Junho, 2010.

MIRSHAWKA, V. **Manutenção preditiva: caminho para zero defeitos**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1991.

MOUBRAY, J. **RCM II: Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Grã Bretanha: Biddles Ltd., Guilford and King's Lynn. Edição Brasileira. 2000.

MOUSSA, S. **Instrumentação e Ensaio de Manutenção Preditiva**. 1a ed. - Rio de Janeiro: Moussa Salen Simon, 2011.

PROGRAMA ÁGUA DOCE. **Documento Base - Programa Água Doce.** Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, Brasília, 2010.

PROGRAMA ÁGUA DOCE. **Documento Base - Programa Água Doce.** Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, Brasília, 2012.

RAPOSO, J. L. O. **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

REBOUÇAS, A. C. In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J.G. **Águas Doces do Brasil: Águas Subterrâneas.** São Paulo: Escrituras, 2002. p.119-151

ROCHA, T. S. **Avaliação da qualidade das águas dos poços tubulares da bacia do Rio do Peixe equipados com dessalinizadores, com vistas ao aproveitamento econômico do sal de rejeito.** Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

SIQUEIRA, I.P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação.** Editora QualityMark, 1ª edição. 2009.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Estadual dos Recursos Hídricos.** Salvador, 1996.

VIEIRA, V. P.P.B. In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J.G. **Águas Doces do Brasil: Água doce no semi-árido**. São Paulo: Escrituras, 2002. p.507-530

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. 1.ed. Rio de Janeiro: EDG, 1998. 302 p.