

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

**Estudo de Dessalinização de Água Marítima para a Indústria  
Farmacêutica**

Pedro Taishi Yamashiro

São Paulo

2017

Pedro Taishi Yamashiro

**Estudo de Dessalinização de Água Marítima para a Indústria  
Farmacêutica**

Trabalho de Monografia apresentado à  
Universidade de São Paulo como requisito  
parcial para a obtenção do título de Especialista  
em Energia Renovável, Geração Distribuída e  
Eficiência Energética.

Área de concentração:  
Energia Solar

Orientador:  
Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

São Paulo

2017

*Dedico esse trabalho aos meus pais, irmão e amigos que me apoiaram e incentivaram  
durante esses dois anos de dedicação à Engenharia.*

### Catálogo-na-publicação

Yamashiro, Pedro Taishi

Estudo de Dessalinização da Água Marítima para a Indústria Farmacêutica / P. T. Yamashiro – São Paulo, 2017.

100 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Energia Solar 2.Dessalinização com Energia Solar I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco pela orientação e dedicação durante as etapas necessárias à realização desse desafio.

À Universidade de São Paulo por ter fornecido o curso abrangendo diversas disciplinas, tornando possível a realização de todas as etapas que compõem este trabalho.

Aos professores por serem responsáveis pelo meu conhecimento adquirido ao longo desta difícil jornada

Aos amigos por estarem sempre ao meu lado compartilhando momentos de alegrias e angústias, e por proporcionarem momentos de descontração necessários a qualquer trabalho.

Aos pais e familiares por sempre acreditarem no meu potencial e nunca nos deixar desistir do meu sonho de concluir a pós-graduação.

Aos colegas de classe que juntos fomos compartilhando conhecimentos e ensinamentos, sempre procurando ajudar o próximo nas matérias mais complicadas.

*Se você nunca correr risco com medo de errar,  
Talvez nunca conheça a alegria que é acertar.*

Verônica Pereira

## RESUMO

O objetivo principal do projeto foi desenvolver e dimensionar um sistema de dessalinização de água do mar através de tecnologia híbrida de osmose reversa e energia fotovoltaica acoplada com a rede de distribuição de energia (sistema on-grid) para produção de água pura para utilização na indústria farmacêutica. Para isso, foi necessário quantificar o volume de água que atenderá a demanda da fabricação do fármaco proposto e também das outras atividades que demandam o consumo do recurso natural permeado.

O ponto focal está na identificação do modelo mais apropriado, técnico e econômico, para que seja possível purificar a água e acatar aos requisitos das normas exigidas pela ANVISA em relação a sua qualidade e quantidade de contaminantes presentes.

Além disso, também foi proposto métodos de mitigação dos impactos ambientais derivados do processo, como meio de se respeitar às legislações especificadas para esse tipo de atividade. A mensuração da quantidade de emissão de carbono evitado também foi calculada para o enriquecimento do trabalho.

Como simulação de estudo, foi escolhido um empreendimento localizado na cidade de Salvador na Bahia, devido às boas condições geográficas e solarimétricas da região, além da sua proximidade com o rio e o oceano, facilitando a coleta e o transporte do bem estudado. A irradiação solar diária média mensal do local é de 5,29 kWh/m<sup>2</sup>.dia

O fármaco escolhido para a simulação foi o ácido acetilsalicílico, mundialmente conhecido como a Aspirina®, e adotou-se uma premissa de fabricação de 2.700 kg/mês para analisar a viabilidade econômica do investimento do sistema implantado em relação à economia de gastos dos recursos utilizados, assim como das vendas dos remédios produzidos.

**Palavras-chaves:** Dessalinização, Osmose Reversa, Energia Fotovoltaica, Ácido Acetilsalicílico

## ABSTRACT

The main objective of the project was to develop and size a seawater desalination system by reverse osmosis technology and photovoltaic energy coupled with the electric power distribution (on-grid system) to produce purified water to be used in the pharmaceutical industry. To reach it, it was necessary to measure the volume of water that is able to meet the demand of the proposed drug production and also the others activities that require the consumption of the natural permeated resource.

The main point is the identification of the most appropriate, technical and economic model, that is possible to purify the water in order to comply the standards required by ANVISA in relation to the quality and quantity of the contaminants presented.

In addition, methods have also been proposed to mitigate the environmental impacts caused by the process, in order to obey the legislation specified for this type of activity. The footprint measure avoided was also calculated to provide more details to the project.

As the study simulation, an enterprise was chosen in the city of Salvador, Bahia, due to the good geography and solar conditions of the region, besides its proximity to the river and the ocean making the water collect and transportation easier. The diary average monthly solar irradiation of the site is 5,29 kWh/m<sup>2</sup>.day.

The drug chosen for the study was the acid acetilsalicilic, worldwide known as Aspirina®, and it was adopted a manufacturing premise of 2.700 kg/month to analyze its economic feasibility of installed system investment in relation to the costs savings of resources consumed, and also of the sale of the medicinal product produced.

**Key words:** Dessalination, Reverse Osmose, Photovoltaic Energy, Acid Acetilsalicilic



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Variação das Tarifas de Energia Elétrica no Sudeste Brasileiro.....	17
Figura 2.1. Fluxograma da acetilação do ácido salicílico.....	21
Figura 2.2. Fluxograma da síntese do ácido acetilsalicílico. ....	22
Figura 2.3. Mecanismo de reação da síntese do ácido acetilsalicílico. ....	22
Figura 2.4. Usina dessalinizadora de Ras al-Khair.....	29
Figura 2.5. Comparação entre Osmose e Osmose Reversa .....	32
Figura 2.6. Fluxograma do processo da planta dessalinizadora de Ashkelon, Israel. ....	41
Figura 2.7. Curva característica típica I-V de uma célula fotovoltaica. ....	46
Figura 2.8. Distintas curvas I-V obtidas pelas diferentes associações das células.....	47
Figura 3.1. Mapa do estado da Bahia, destacando a capital Salvador. ....	51
Figura 3.2. Dados de temperatura média e quantidade de chuvas em Salvador.....	52
Figura 3.3. Localização do ponto de coleta da água de alimentação.....	53
Figura 3.4. Fluxograma do sistema estudado. ....	56
Figura 3.5. Modelo de equipamento de dessalinização de água da GE.....	58
Figura 3.6. Dados da irradiação solar diária média mensal da cidade de Salvador.....	60
Figura 3.7. Conceito de HSP. ....	61
Figura 3.8. Esquema de conexões Painéis FV e Inversor.....	68
Figura 3.9. Fluxo acumulado descontado do projeto do cenário 1.....	79
Figura 3.10. Fluxo acumulado descontado do projeto do cenário base.....	81
Figura 3.11. Fluxo acumulado descontado do projeto do cenário 2.....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Especificações da água potável para a indústria farmacêutica. ....	25
Tabela 2.2. Tipos de água e parâmetros de qualidade para indústria farmacêutica (ANVISA, Farmacopeia Brasileira, 2010).....	27
Tabela 2.3. Histórico de Tarifa de Água para o Setor Industrial em Campinas. ....	30
Tabela 2.4. Custos referentes a dessalinização de água. ....	30
Tabela 3.1. Característica da água de alimentação. ....	53
Tabela 3.2. Quantificação da utilização de água na síntese de 2.700 kg do ácido acetilsalicílico .....	54
Tabela 3.3. Modelos de equipamentos de dessalinização de água. ....	59
Tabela 3.4. Dados de irradiação solar diária média mensal da cidade de Salvador. ....	60
Tabela 3.5. Configuração de conexão dos equipamentos do sistema.....	68
Tabela 3.6. Verificação dos requisitos operacionais de conexão. ....	68
Tabela 3.7. Resumo dos custos de investimento dos sistemas de osmose reversa e fotovoltaico. ....	72
Tabela 3.8. Resumo dos custos variáveis operacionais do sistema em estudo.....	73
Tabela 3.9. Custo de produção de água nas usinas de dessalinização acoplada por energia FV. ....	74
Tabela 3.10. Tributos Federais utilizados no estudo financeiro .....	75
Tabela 3.11. Resumo dos preços tarifários utilizados no estudo.....	76
Tabela 3.12. Fluxos e fatores atribuídos para a formação do fluxo de caixa do cenário 1.....	77
Tabela 3.13. Parâmetros e resultados financeiros do projeto do cenário 1. ....	77
Tabela 3.14. Fluxos do projeto do cenário 1. ....	78
Tabela 3.15. Fluxos do projeto do cenário base. ....	81
Tabela 3.16. Fluxos e fatores atribuídos para a formação do fluxo de caixa do cenário 2.....	83
Tabela 3.17. Parâmetros e resultados financeiros do projeto do cenário 2. ....	83
Tabela 3.18. Fluxos do projeto do cenário 2. ....	84
Tabela 3.19. Gases medidos na pegada de carbono. ....	87
Tabela 3.20. Emissão de CO <sub>2</sub> por tipo de termelétrica.....	87
Tabela 3.21. Emissão de CO <sub>2</sub> por usina hidrelétrica. ....	88
Tabela 3.22. Quantidade de emissão anual de GEE que foi deixado de emitir na atmosfera. .	88

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AINEs	Anti-Inflamatórios Não Esteroides
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AP	Água Purificada
API	Água Para Injetáveis
ASS	Ácido Acetilsalicílico
AUP	Água Ultrapurificada
BBC	British Broadcast Corporation
CAMEX	Câmara de Comércio Exterior
CAPEX	Capital Expenditure
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
COX	Ciclooxigenase
CREMESP	Conselho Regional de Medicina do Estado de São Paulo
CRESESB	Centro de Referência de Energia Solar e Eólica Sergio Brito
CSLL	Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
EVA	Etileno-Vinil-Acetato
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
FV	Fotovoltaico
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWP	Global Warming Potential
HSP	Horas Sol Pleno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDS	Índice de Densidade de Sedimentos
INEMA	Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IR	Imposto de Renda
IRENA	The International Renewable Energy Agency
MF	Microfiltração
MMC	Massa Molecular Limite de Corte
MME	Ministério de Minas e Energia
NF	Nanofiltração
NTU	Unidade Matemática da Turbidez da Água
OD	Oxigênio Dissolvido da Água
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
ONU	Organização das Nações Unidas
ONUDI	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
OPEX	Operational Expenditure
OR	Osmose Reversa
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
Si-a	Células de Silício Amorfas
Si-m	Células de Silício Monocristalinas
Si-p	Células de Silício Policristalinas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPPM	Seguimento do Ponto de Potência Máximas
STC	Standand Test Conditions
TD	Taxa de Desempenho
TIR	Taxa Interna de Retorno
TJLP	Taca de Juros de Longo Prazo
UF	Ultrafiltração
UFC	Unidade Formadora de Colônias; População Microbiana viável
uH	Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)
UI	Unidades Internacionais
UT / NTU	Unidade de Turbidez

UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate
VPL	Valor Líquido Presente
WACC	Weighted Average Cost of Capital

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4</b>	<b>METODOLOGIA DE TRABALHO .....</b>	<b>18</b>
<b>1.5</b>	<b>ESTRUTURA .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>ÁCIDO ACETILSALICÍLICO .....</b>	<b>20</b>
2.1.1	ACETILAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO.....	20
2.1.2	SÍNTESE DO ÁCIDO ACETILSALICÍLICO .....	21
<b>2.2</b>	<b>ÁGUA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3</b>	<b>ÁGUA PARA A INDÚSTRIA FARMACÊUTICA.....</b>	<b>24</b>
2.3.1	ÁGUA DESTILADA .....	25
2.3.2	ÁGUA PURIFICADA (AP).....	26
2.3.3	ÁGUA PARA INJETÁVEIS (API) .....	26
2.3.4	ÁGUA ULTRAPURIFICADA (AUP) .....	27
<b>2.4</b>	<b>MÉTODOS DE DESALINIZAÇÃO DA ÁGUA.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5</b>	<b>PRINCÍPIOS BÁSICOS DA OSMOSE REVERSA .....</b>	<b>30</b>
2.5.1	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO E SEUS CONTAMINANTES .....	36
2.5.2	ENTUPIMENTO DAS MEMBRANAS .....	37
<b>2.6</b>	<b>LIMPEZA DAS MEMBRANAS.....</b>	<b>38</b>
2.6.1	PRÉ-TRATAMENTO DA MEMBRANA .....	38
2.6.2	DESIGN DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA .....	40
2.6.3	PÓS-TRATAMENTO DO PERMEADO.....	41
2.6.4	CUSTOS OPERACIONAIS.....	42
2.6.5	TRATAMENTO E DESCARTE DA ÁGUA RESIDUAL .....	42
<b>2.7</b>	<b>ENERGIA FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>44</b>
2.7.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	44
2.7.2	TIPOS DE CÉLULAS .....	44
2.7.3	CURVA CARACTERÍSTICA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA .....	45
2.7.4	ESTRUTURA BÁSICA DO PAINEL.....	47

2.7.5	COMPONENTES DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO.....	48
2.7.6	TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	49
2.7.7	FATORES DE PERDAS .....	49
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>50</b>
3.1.1	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA .....	50
3.1.2	DADOS CLIMATOLÓGICOS .....	51
3.1.3	QUALIDADE DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO .....	52
<b>3.2</b>	<b>CONSUMO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DO FÁRMACO .....</b>	<b>54</b>
<b>3.3</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA ESTUDADO .....</b>	<b>55</b>
3.3.1	PREMISSAS CONSIDERADAS.....	56
3.3.2	DETERMINAÇÃO DO MODELO DE OSMOSE REVERSA.....	57
3.3.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	59
<b>3.4</b>	<b>ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA .....</b>	<b>69</b>
3.4.1	TAXA DE RETORNO .....	69
3.4.2	CUSTOS DE INVESTIMENTOS E OPERACIONAIS.....	71
3.4.3	ANÁLISE DE RETORNO DO INVESTIMENTO .....	74
<b>3.5</b>	<b>AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....</b>	<b>85</b>
3.5.1	MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO .....	85
3.5.2	ANÁLISE DA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> .....	87
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXO A – CATÁLOGO DO EQUIPAMENTO</b>	
	<b>DESSALINIZADOR.....</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO B – CATÁLOGO DO PAINÉL FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO C – CATÁLOGO DO INVERSOR.....</b>	<b>100</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

Esse trabalho foi realizado hipoteticamente, através de cálculos e suposições teóricas, com o intuito de obter valores mais reais possíveis, para comprovar a credibilidade e os conhecimentos aplicados.

## **1.1 OBJETIVO**

O objetivo principal do estudo é o dimensionamento de um sistema de dessalinização de água do mar, por meio de um processo de separação por membrana de osmose reversa. A energia total requerida para a realização dessa operação será alimentada por um sistema de energia fotovoltaica (on-grid), com o intuito de atender a demanda mensal de produção do ácido acetilsalicílico proposta.

Como consequência de qualquer empreendimento, o estudo de viabilidade econômica é necessário para que seja analisado o retorno desse investimento. Neste projeto, essa análise foi efetuada seguindo dois cenários distintos, o primeiro através da economia dos gastos com os custos referentes ao consumo de água e energia para o processo especificado, e o segundo, a partir das vendas do fármaco produzido.

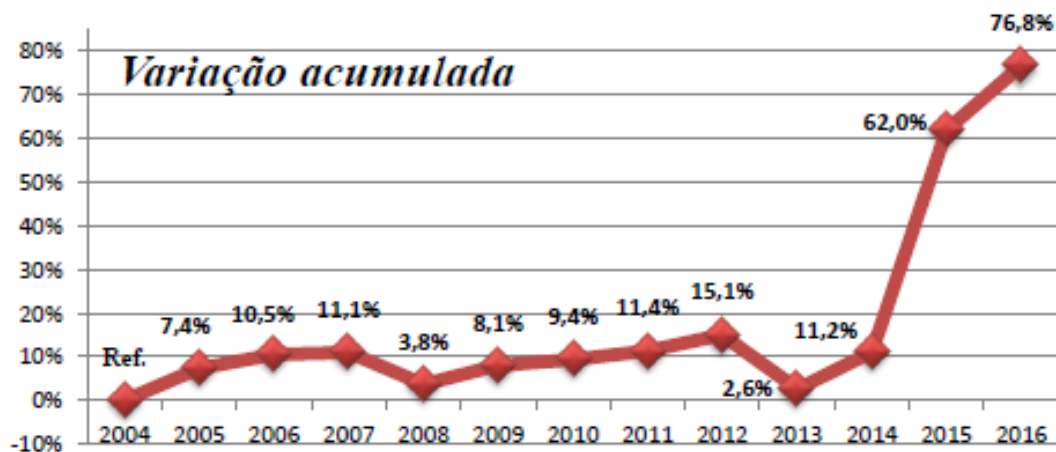
Como complemento, os estudos ambientais referentes ao processo também foram verificados, propondo soluções de melhorias e informações úteis para ampliar a viabilidade do mesmo.

## **1.2 MOTIVAÇÃO**

A água é essencial ao surgimento e à manutenção da vida em nosso planeta, além de ser indispensável para o desenvolvimento de diversas atividades criadas pelo homem, podendo ser utilizada na logística de carga, geração de energia, atividades agrícolas e processos industriais diversos. Apesar de cerca de 70% de a Terra ser coberta por água, somente 2,5% desse volume é considera potável para o consumo dos seres vivos. E com o crescimento da população, a demanda de água irá aumentar promovendo buscas alternativas e sustentáveis para obtenção desse recurso tão nobre e primordial para a sobrevivência do planeta.



Historicamente, as tarifas energéticas vêm sofrendo aumento de preço, tanto devido à inflação quanto pela maior utilização das usinas termelétricas, que elevam os custos operacionais que consequentemente são repassados para os clientes, como pode ser observado pela **Figura 1.1**. Analisando o período entre 2012 e 2016 a variação de preço, para o segmento terciário na região do Sudeste, foi de 61,7%, havendo apenas a redução no ano de 2013 devido à lei imposta pelo governo na época de eleição.



**Figura 1.1. Variação das Tarifas de Energia Elétrica no Sudeste Brasileiro.**

Fonte: ANEEL

Segundo dados da Revista Galileu, a ASS é o terceiro medicamento de maior consumo do mundo, destacando a Argentina como a campeã de utilização. Já outros levantamentos apontam que no Brasil é consumido um bilhão de comprimidos de AAS anualmente. (CREMESP, 2016)

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Devido à escassez de água para processos industriais esta monografia faz um estudo prospectivo da utilização da água do mar para um setor industrial com elevados requisitos para a água de processo.

## 1.4 METODOLOGIA DE TRABALHO

Uma vez selecionado o método de dessalinização de água do mar por osmose reversa foi feito um pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico que forneça para a rede a energia a ser consumida pela bomba do sistema purificador de água.

Para este sistema foi realizado um estudo de viabilidade econômica com dois critérios, o primeiro levando em consideração o custo praticado da energia elétrica e do abastecimento de água local e o segundo o valor comparativo com o preço de venda do produto. Uma comparação com o cenário base também foi realizada para fins de verificação das implantações.

O escopo a seguir para atingir os objetivos descritos no projeto foi:

- Estimar a demanda do fármaco a ser produzido para determinar o volume de água necessário para este atendimento;
- Coletar os dados solarimétricos do local estudado através do CRESESB;
- Analisar a salinidade e outros parâmetros técnicos da água utilizada;
- Determinar os equipamentos de purificação da água através do processo de osmose reversa;
- Quantificar a energia total empregada para a operação do sistema;
- Dimensionar um sistema de energia fotovoltaica que atenda a demanda de energia elétrica da bomba de compressão do sistema de osmose reversa;
- Estimar os custos comerciais de investimento (CAPEX) e de operação e manutenção (OPEX);
- Estimar os custos específicos de água produzida (R\$/m<sup>3</sup>);
- Fazer uma análise de viabilidade econômica do sistema;
- Estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> que deixaria de ser emitido com a energia da rede;

## 1.5 ESTRUTURA

Esse trabalho é composto por alguns itens, sendo que cada um aborda determinado assunto, e suas disposições são efetuadas de maneira lógica para melhor entendimento e compreensão do mesmo. Uma breve descrição de cada título foi realizada para resumir suas descrições.

- **Revisão Bibliográfica:** conceitos teóricos sobre os assuntos tratados no projeto, apresentando, neste caso, as teorias sobre o ácido acetilsalicílico, processo de dessalinização e da energia fotovoltaica.
- **Estudo de Caso:** é a parte principal da monografia, onde é apresentado todo o esquema, os fundamentos e toda a metodologia que foram utilizados para a resolução do problema em questão. Ela foi subdividida em etapas, as quais relatam as condições do estudo, as premissas adotadas, os equipamentos selecionados e dimensionados para a resolução da questão, as análises financeiras e também as avaliações ambientais.
- **Conclusão:** as opiniões e discussões foram relatadas neste item, demonstrando o ponto de vista do autor sobre o trabalho como um todo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse quadrante consiste em informar o leitor sobre a teoria dos assuntos abordados nesse projeto, para que seja possível compreender um pouco mais sobre o conteúdo com maior riqueza de detalhes.

### 2.1 ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

O princípio ativo do medicamento é o ácido salicílico que foi descoberto a 400 a.C por Hipócrates, a partir disso, vários cientistas tentaram desenvolver medicamentos para aliviar as dores. De acordo com as versões mais difundidas, apenas o químico alemão Felix Hoffman que conseguiu, em 1978, sintetizar o ácido acetilsalicílico da maneira mais efetiva.

Ela é utilizada como um remédio anti-inflamatório que está dentro da classe dos AINEs, onde sua principal característica é a inibição da enzima ciclooxygenase (COX), sendo eficaz também no combate às dores musculares, na redução da febre e possui efeito analgésico. A fórmula química do fármaco é  $C_9H_8O_4$  e ela também pode ser utilizada no combate aos ataques cardíacos, câncer e infartos. Efeitos positivos contra os efeitos do Alzheimer e Parkinson também podem ser verificados com a ingestão desse medicamento. No entanto, o consumo incorreto e overdoses podem apresentar efeitos colaterais como úlceras gástricas e sangramento da úlcera, devido a não solubilização do ácido na mucosa gastrointestinal.

#### 2.1.1 ACETILAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO

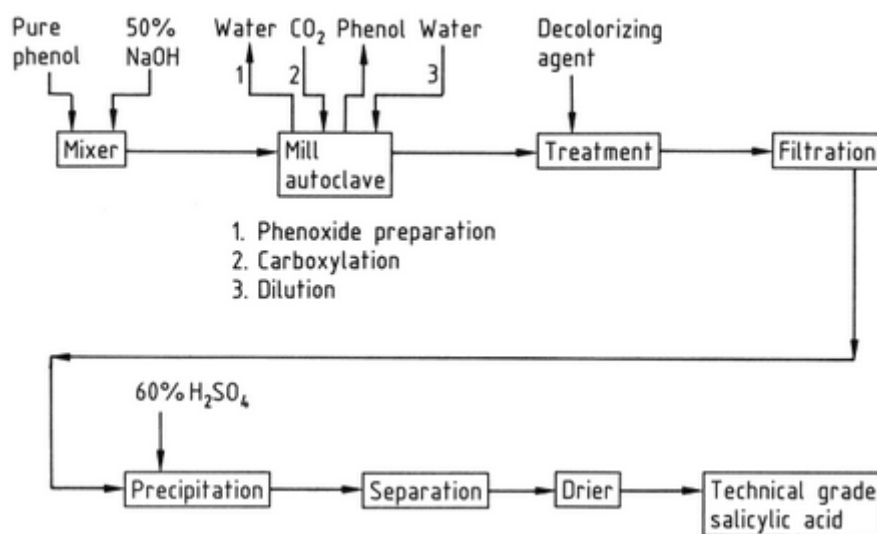
É vantajosa, em escala industrial, a realização de uma etapa preliminar no processo de fabricação do ácido acetilsalicílico, sendo ela o processo de acetilação do ácido salicílico.

Essa síntese segue a carboxilação, mediante a modificação de Shmitt da reação de Kolbe, operado em forma de descontínuo (batelada). Mistura-se o fenol com uma dissolução aquosa de soda caustica até aquecer a  $130^{\circ}\text{C}$ , levando o vapor para uma autoclave. O fenóxido de sódio anidro é formado pela evaporação da solução aquosa de fenóxido, destacando a necessidade de uma secagem robusta, pois a água reduz o rendimento do processo (Frederico Venâncio, 2009).

Após a secagem, a temperatura é reduzida a cerca de 100°C e se insere dióxido de carbono seco (contendo menos de 0.1% de O<sub>2</sub>). A carboxilação é exotérmica, e utiliza-se um reator para isomerizar o fenóxido de sódio em salicilato de sódio, após uma reação de 25 horas em temperatura média de 160°C (Frederico Venâncio, 2009).

A massa de reação é resfriada e levada a um tanque de tratamento, dissolvendo a mesma com água. Logo em seguida, a mistura é filtrada adicionada um agente de descoloração (carvão ativado). Na sequência, leva-se a outro tanque de precipitação, acrescentando-lhe ácido sulfúrico para precipitar o ácido salicílico, procurando evita a contaminação do ferro. O precipitado é centrifugado e secado, obtendo-se o ácido salicílico de alta pureza (Frederico Venâncio, 2009).

O fluxograma dessa etapa está ilustrado na **Figura 2.1**.



**Figura 2.1. Fluxograma da acetilação do ácido salicílico.**

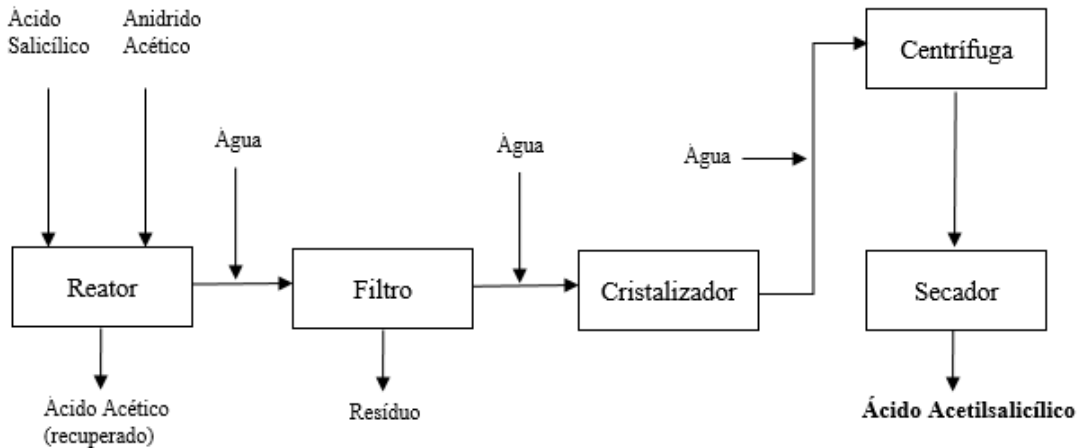
Fonte: (Frederico Venâncio, 2009)

## 2.1.2 SÍNTESE DO ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Os reagentes necessários para essa síntese é o ácido salicílico, já mencionado anteriormente, o anidrido acético e também o ácido sulfúrico que atua como catalisador da reação. São utilizadas as operações unitárias de filtração a vácuo e de recristalização

(purificação). A água também é utilizada como componente de lavagem e na etapa de purificação do produto (Mendes & Maria da Gloria Buglione Peruch, 2012).

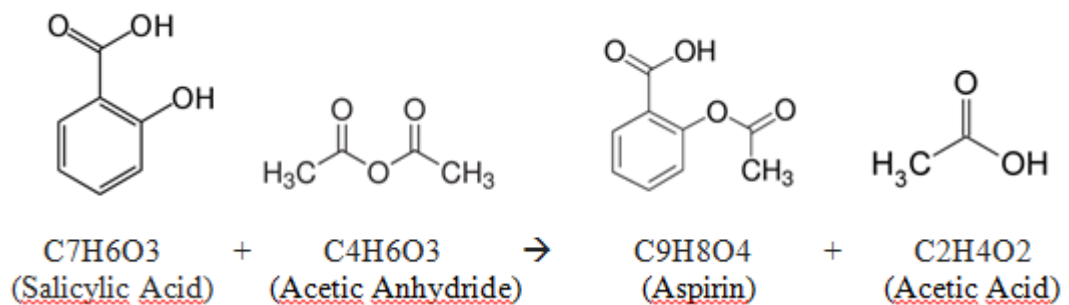
A ilustração desse processo pode ser verificada na **Figura 2.2**.



**Figura 2.2.** Fluxograma da síntese do ácido acetilsalicílico.

Fonte: (Frederico Venâncio, 2009)

A maior impureza no produto final é o próprio ácido salicílico, que pode ser formado através da reação de acetilação incompleta, sendo retirada através da etapa de purificação. A reação está ilustrada na **Figura 2.3**.



**Figura 2.3.** Mecanismo de reação da síntese do ácido acetilsalicílico.

Fonte: Wikipédia

## 2.2 ÁGUA

Embora mais de dois terços da superfície da Terra seja composta de água, apenas uma pequena parcela da água mundial é considerada potável (2,5%) e, além disso, sua origem está dividida em: 69,8% nas calotas polares; 29% nas águas subterrâneas; 0,9% nos rios e lagos e 0,3% em outras fontes. A água derivada das calotas polares é inviável em relação à exploração e utilização. Por sua vez, a principal fonte de captação desse recurso é na retirada dos lençóis freáticos e aquíferos que pertencem à classe das águas subterrâneas (Pena, 2017).

As perspectivas mundiais sobre a água não estão muito positivas, analisando o cenário atual. Historicamente, a captação de água vem crescendo constantemente em cerca de 1% ao ano, devido principalmente ao crescimento dos países em desenvolvimento. Estima-se um aumento de demanda hídrica mundial de 55% em 2050, para o atendimento dos setores industriais, geração de energia e de uso doméstico (UNESCO, 2015).

O setor agrícola é o principal consumidor desse recurso, cerca de 70% da utilização mundial, seguidos dos setores industriais e produção de energia. A urbanização acelerada também contribui para a crescente demanda.

Além desse acréscimo da demanda, outro problema está relacionado à redução dos lençóis freáticos, onde foi verificado que cerca de 20% dos aquíferos mundiais estão sobre-explotados. A perturbação dos ecossistemas, derivada pelo desmatamento, e poluição ameaçam o meio ambiente de produzir serviços ecossistêmicos, incluindo o provisionamento de água limpa (UNESCO, 2016).

Na atual situação, muitos países irão enfrentar problemas de escassez de água se não houver infraestrutura suficiente para gerenciar e armazenar a água. A água de baixa qualidade, aplicando um tratamento adequado a um custo acessível, pode contribuir para tentar reverter um pouco essa situação (UNESCO, 2016). A WasterAid destaca também que as mudanças climáticas, acompanhadas de fenômenos climáticos externos, provavelmente aumentará os problemas de água.

Com o possível aumento da temperatura, a desnutrição poderá ser mais frequente, já que o cultivo de alimento é impactado a este tipo de ambiente. Como já foi citada anteriormente, a

agricultura corresponde a 72% do consumo de água, destacando a importância desse insumo para a que a produção dessa atividade consiga atender à crescente demanda mundial que está ocorrendo no decorrer dos anos.

Segundo o Conselho Mundial de Água, revela-se que há quase um bilhão de pessoas sem acesso a água potável no mundo inteiro, com 3,5 milhões de mortes por ano atribuídas a doenças ligadas ao consumo impróprio de água. O problema afeta principalmente os países mais pobres, mas está presente também em algumas grandes economias do mundo.

Geograficamente, a hidrologia do Brasil é muito privilegiada, pois ela possui milhares de rios e lagos distribuídos em seu território, além de grandes reservatórios em seu subsolo, fazendo com que 12% das reservas de água doce estejam concentradas nesse perímetro. Apesar dessa imensa quantidade de recurso hídrico disponível, o país deve se atentar a utilização sustentável do mesmo, já que, de acordo com o SNIS, 38,8% da água nacional tratada é desperdiçada, apenas na logística. Isto equivale a 3,6 bilhões de litros desperdiçados anualmente (Globo, 2013). Além disso, a cultura nacional no consumo residencial contribui para esse volume de água despejado, como por exemplo, o tempo gasto nos banhos, lavagem das ruas e calçadas, utilização da água nos vasos sanitários, entre outras.

No Brasil, a distribuição do consumo de água também segue a mesma tendência mundial, tendo a agricultura com o maior índice de consumo, chegando a 72%. No caso do setor industrial, a utilização desse recurso atinge o valor de 22% que é mais que três vezes superior ao consumo residencial de 6% (ONU, 2013).

Água é considerável potável quando sua concentração de sais ou sólidos dissolvidos totais (SDT) são inferiores a 1.000 mg/L, porém os limites padrões variam de país a país (Lauren F.Greenlee, 2009).

## **2.3 ÁGUA PARA A INDÚSTRIA FARMACÊUTICA**

A água utilizada na indústria farmacêutica deve ser tratada, sendo que o seu requisito de grau de pureza depende da finalidade de uso. Além dessa etapa, o controle e monitoramento da qualidade da água são cruciais, ao passo que essa matéria-prima é muito propícia a uma nova contaminação. Esses contaminantes são classificados em: químicos e microbiológicos.



De acordo com a Resolução RDC nº17, pelo artigo 534, a água purificada deve cumprir com as especificações das farmacopeias aceitas pela ANVISA, sendo determinada a utilização das exigências adotadas na Farmacopeia Brasileira 5ª edição nos insumos farmacêuticos, através dos artigos 1º e 2º da Resolução RDC nº49. Deve-se também se atentar aos artigos 535 e 550 que impõe no acompanhamento da produção, estoque e distribuição do material (ANVISA, Resolução RDC nº17, 2010).

A avaliação dos contaminantes químicos, como as endotoxinas bacterianas, é realizada através de ensaios de carbono orgânico total (COT) e de condutividade. A condutividade determina a quantidade de sais dissolvidos no meio, através de sua dissociação em íons (ANVISA, Farmacopeia Brasileira, 2010).

Os contaminantes microbiológicos apresentam um grande desafio à qualidade da água, já que o seu limite especificado é de ausência de coliformes totais e termotolerantes. As colônias são originadas de diversas formas e elas aumentam com o tempo de estocagem da água. Um método muito eficaz e seguro de combater essa proliferação são de uso de substâncias químicas contendo cloro ou outros oxidantes (ANVISA, Farmacopeia Brasileira, 2010).

Conforme mencionado anteriormente, a quantidade liberada desses contaminantes no meio depende da utilização do mesmo, assim a água é classificada em quatro grupos: água destilada; água purificada (AP); a água para injetáveis (API) e a água ultrapurificada (AUP).

### 2.3.1 ÁGUA DESTILADA

É obtida através do tratamento da retirada de mananciais, procurando atender as especificações das normas. Ela normalmente é empregada nas etapas iniciais de procedimento de limpeza e como base para obtenção de água com maior qualidade, ou seja, menos contaminantes.

Seus limites estão apontados na **Tabela 2.1**.

**Tabela 2.1. Especificações da água potável para a indústria farmacêutica.**

<b>Água potável</b>	<b>Especificações/Limites</b>	<b>Água potável</b>	<b>Especificações/Limites</b>
---------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------

pH	pH Entre 6,0 - 9,5
Cor aparente	Valor máximo permitido 15 uH [Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)]
Turbidez	Valor máximo permitido 5 UT
Cloro residual livre	Entre 0,2 - 2,0 mg/L
Sólidos totais dissolvidos	Valor máximo permitido 1.000 mg/L
Contagem de bactérias aeróbicas	Máximo de 500 UFC/mL
Contagem total de fungos e leveduras	Máximo de 500 UFC/mL
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
E. Coli	Ausência em 100 mL

Fonte: Portaria nº 518/2014

### 2.3.2 ÁGUA PURIFICADA (AP)

A sua obtenção é através de aplicação de tratamento de purificação, que tenha a capacidade de atender aos limites especificados para os diversos contaminantes nos valores de condutividade de 0,1 a 1,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25,0°C (resistividade  $> 1,0 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ ) e COT  $< 0,50 \text{ mg/L}$ , endotoxinas  $< 0,25 \text{ UI de endotoxina/mL}$  e contagem total de bactérias  $< 100 \text{ UFC/mL}$ , a não ser que especificado de forma diferente (ANVISA, Farmacopeia Brasileira, 2010).

Pode ser utilizada na produção de formas farmacêuticas não parenterais e em formulações magistrais, na limpeza de material, preparação de soluções reagentes, meios de cultura, tampões, diluições e microbiologia em geral, entre outras.

O monitoramento de análise das variações dos parâmetros de condutividade e de contagem do total de organismos é necessária tanto na produção e distribuição quanto na estocagem da água.

### 2.3.3 ÁGUA PARA INJETÁVEIS (API)

A exigência na qualidade dessa água é superior ao descrito anteriormente, necessitando utilizar, pelo menos, água potável como fonte de alimentação, para atingir aos ensaios físicos químicos preconizados para a água purificada, além dos testes de contagem total de bactérias  $< 10 \text{ UFC} / 100 \text{ mL}$ , esterilidade, particulados e de endotoxinas bacterianas, cujo valor máximo é de 0,25 UI de endotoxina/mL (ANVISA, Farmacopeia Brasileira, 2010).

Pode ser utilizada na preparação de produtos farmacêuticos parenterais de pequeno e grande volume, na fabricação de princípios ativos de produtos estéreis e de demais produtos que necessitam do controle de endotoxinas.

### 2.3.4 ÁGUA ULTRAPURIFICADA (AUP)

Seu grau de pureza é a mais elevada dentre os tipos classificados, obtendo uma matéria-prima com baixa concentração dos contaminantes. Consequentemente, seu emprego é em aplicações mais rigorosas como no controle de qualidade e na limpeza final de equipamentos e utensílios, sendo ideal em métodos de análises que exigem um alto grau de precisão e exatidão. No entanto, seu estoque é limitado até o final do dia de sua coleta.

As suas características são de condutividade de 0,055 a 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25,0°C (resistividade  $> 18,0 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ ), COT  $< 0,05 \text{ mg/L}$ , endotoxinas  $< 0,03 \text{ UI}$  de endotoxina/mL e contagem total de bactérias  $< 1 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$  (ANVISA, Farmacopeia Brasileira, 2010).

A **Tabela 2.2** apresenta um resumo dos grupos de água e suas exigências para a sua utilização na indústria farmacêutica.

**Tabela 2.2. Tipos de água e parâmetros de qualidade para indústria farmacêutica (ANVISA, Farmacopeia Brasileira, 2010)**

<b>Tipo de Água</b>	<b>Limites de Contaminantes Especificados</b>
<b>Água purificada</b>	Condutividade de 0,1 a 1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25,0°C $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (resistividade $> 1,0 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ ); COT $< 0,50 \text{ mg/L}$ ; Contagem total de bactérias $< 100 \text{ UFC}/\text{mL}$ ; Ausência de <i>Pseudomonas</i> e outros patogênicos.
<b>Água para injetáveis</b>	Atende aos parâmetros críticos da água purificada; Contagem microbiológica $< 10 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$ ; Endotoxinas $< 0,25 \text{ UI}$ de endotoxina/mL; COT $< 0,5 \text{ mg/L}$ .
<b>Água ultrapurificada</b>	Condutividade de 0,055 a 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25,0°C $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (resistividade $> 18,0 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ ); COT $< 0,05 \text{ mg/L}$ (alguns casos $< 0,003 \text{ mg/L}$ ); Contagem total de mesófilos $< 1 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$ .

Fonte: (ANVISA, Farmacopeia Brasileira, 2010)

## 2.4 MÉTODOS DE DESALINIZAÇÃO DA ÁGUA

Algumas das chaves de sustentabilidade utilizadas atualmente para combater a escassez de água que o planeta está começando a enfrentar são: reuso da água e dessalinização da água, apesar da primeira opção possuir utilização restrita a certas atividades como na irrigação e utilização em operações unitárias de indústrias. Já a dessalinização vem se desenvolvendo nas

últimas décadas, se tornando uma importante fonte de produção de água potável no mundo (Lauren F.Greenlee, 2009).

A água de alimentação das plantas de dessalinização pode ser denominada como água do mar e água salobra, variando a concentração de 1.000 mg/L até 60.000 mg/L de SDT.

Processos de dessalinização são divididos em dois grupos principais: processos térmicos e os processos com membrana. Ambos os sistemas necessitam de energia para a separação do soluto do solvente, porém a primeira utiliza a energia térmica da luz solar e o segundo deriva de fontes externas de geração de energia elétrica para o funcionamento da operação (Lauren F.Greenlee, 2009).

As plantas de dessalinização térmica surgiram a centenas de anos atrás, porém, mesmo as técnicas com membrana terem emergido há apenas algumas décadas atrás, devido ao rápido crescimento tecnológico do setor, esses tipos de sistemas superaram em quantidade de instalação no mercado mundial em relação aos processos térmicos, atingindo uma marca de 65%, de acordo com a Associação Internacional de Dessalinização.

Pesquisas de 2013 relatam que há cerca de 17.000 plantas dessalinizadoras operando no planeta em diversos países do globo, onde a grande maioria delas se encontra no Oriente Médio e nos países Mediterrâneos. A maior usina de purificação de água se encontra em Ras al-Khair, na Arábia Saudita, ilustrada na **Figura 2.4**, trata-se de uma usina de tecnologia híbrida que trabalha com processo de multi estágio flash e osmose reversa. Ela abastece a cidade de Riad com uma produção de um bilhão de litros por dia. (Belton, 2015)



**Figura 2.4. Usina dessalinizadora de Ras al-Khair.**

**Fonte: BBC**

Outra usina de grande porte é a Tel Aviv, cidade de Israel. Ela comporta uma produção de 624 milhões de litros de água potável por dia. O seu custo relativo médio é de US\$ 0,70 /m<sup>3</sup>. No Brasil a técnica já é utilizada na região semi-árida (Belton, 2015).

Porém, o crescimento dessas usinas implica em alguns problemas, sendo o mais significativo às questões relacionadas ao consumo energético. Foi-se estimado que a produção dos 13 milhões de litros por dia, através das usinas dessalinizadoras espalhadas pelo mundo, requer um consumo de 130 milhões de toneladas de petróleo por ano, emitindo assim, um grande volume de gás carbônico na atmosfera, intensificando os problemas relacionados ao efeito estufa.

Uma alternativa para a extinção dos métodos convencionais de consumo energético seria acoplar sistemas derivados de energia renovável para a obtenção de energia elétrica necessária para a operação de osmose reversa, como por exemplo, a energia fotovoltaica. E apesar delas ainda serem consideradas de alto custo, com os avanços das tecnologias no desenvolvimento das membranas e também dos painéis fotovoltaicos, esses valores vêm reduzindo e poderão ser uma fonte fundamental na busca por água pura no planeta. Os custos convencionais de obtenção de água seguem o caminho oposto, devido a sua grande exploração

e na contaminação de suas fontes naturais, conforme pode ser verificado da **Tabela 2.3**, ao qual é possível um acréscimo de 58,1% em um período de quatro anos, o que está acima da inflação acumulada dos anos analisados.

**Tabela 2.3. Histórico de Tarifa de Água para o Setor Industrial em Campinas.**

<b>Tarifa para o Setor Industrial</b>				
<b>Faixa de Consumo (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>0 - 10</b>	R\$ 37,82/m <sup>3</sup>	R\$ 48,70/m <sup>3</sup>	R\$ 54,03/m <sup>3</sup>	R\$ 59,80/m <sup>3</sup>
<b>11 - 20</b>	R\$ 4,09/m <sup>3</sup>	R\$ 5,27/m <sup>3</sup>	R\$ 5,85/m <sup>3</sup>	R\$ 6,47/m <sup>3</sup>
<b>21 - 30</b>	R\$ 8,29/m <sup>3</sup>	R\$ 10,67/m <sup>3</sup>	R\$ 11,84/m <sup>3</sup>	R\$ 13,10/m <sup>3</sup>
<b>31 - 40</b>	R\$ 9,59/m <sup>3</sup>	R\$ 12,35/m <sup>3</sup>	R\$ 13,70/m <sup>3</sup>	R\$ 15,16/m <sup>3</sup>
<b>41 - 50</b>	R\$ 11,12/m <sup>3</sup>	R\$ 14,32/m <sup>3</sup>	R\$ 15,89/m <sup>3</sup>	R\$ 17,59/m <sup>3</sup>
<b>&gt; 50</b>	R\$ 19,43/m <sup>3</sup>	R\$ 25,02/m <sup>3</sup>	R\$ 27,76/m <sup>3</sup>	R\$ 30,72/m <sup>3</sup>

**Fonte: (SANASA, 2017)**

Em regiões com irradiação solar intensa, quando houver grande demanda de água, a melhor opção é a de geração de energia através da luz solar térmica, devido as elevadas necessidades energéticas, enquanto para pequenas comunidades a energia fotovoltaica possui grande potencial.

Estudos realizados pela IRENA resumem os dados operacionais desses modelos de dessalinização, representados na **Tabela 2.4**.

**Tabela 2.4. Custos referentes a dessalinização de água.**

<b>Modelo</b>	<b>Capacidade Técnica</b>	<b>Demanda Energética (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo Total (US\$/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Osmose Reversa - Fotovoltaico</b>	< 100 m <sup>3</sup> /dia	Entre: 0,5 – 1,5 Água do mar: 4,0 – 5,0	Entre: 6,5 – 9,5 Água do mar: 11,7 – 15,6

**Fonte: (IRENA, 2012)**

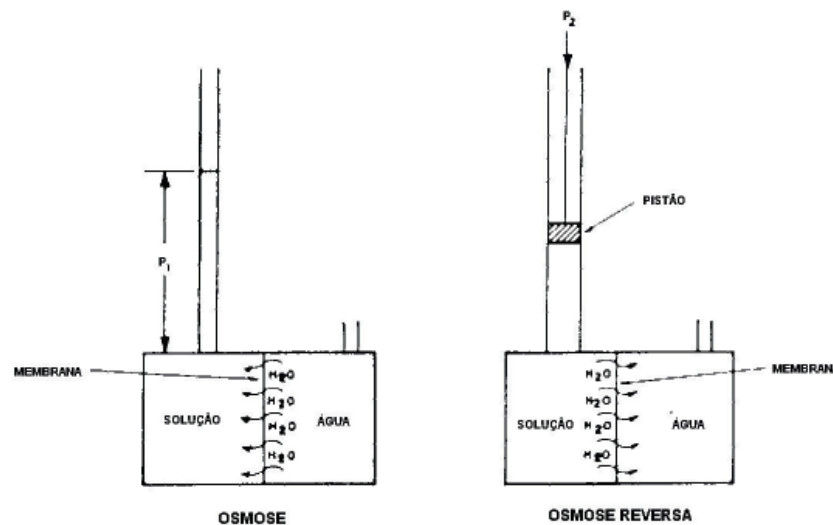
## **2.5 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA OSMOSE REVERSA**

A dessalinização através de membranas possui subgrupos de acordo com a metodologia de operação, podendo ser classificada como osmose reversa (OR), nanofiltração (NF), microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF). Os processos de NF e OR são normalmente utilizados para retirar substâncias dissolvidas, as mais complicadas. Como o foco do estudo deste trabalho é da osmose reversa, eu não irei detalhar sobre os outros métodos de filtração.

As membranas de osmose reversa são propícias para filtrar tanto a água marítima quanto água salobra, possuindo a capacidade de atingir grau de pureza do permeado de até 99%, se referindo à rejeição dos sais. Dependendo das condições de operações (32.000 mg/L de NaCl, 5,5 Mpa, 25 °C, 8 pH) o valor de rejeição pode ser elevado a até 99,8%. No entanto, esse tipo de processo sofre o trade-off entre o volume do permeado e a qualidade do mesmo, na qual quanto maior o grau de pureza, maior é a seletividade dos sais que irão ultrapassar as membranas, e por sua vez, menor será a quantidade do solvente purificado (Lauren F.Greenlee, 2009).

O conceito da osmose é resumido em um fenômeno de transporte do fluido, entre dois ambientes, onde seu fluxo natural é no sentido do ambiente mais concentrado para o meio menos concentrado. Dessa maneira, esse escoamento eleva o volume de fluido do lado menos concentrado, e conseqüentemente, aumentando a sua pressão, fazendo com que taxa de transferência do meio menos concentrado para o mais concentrado também aumente até atingir o equilíbrio entre os dois fluxos. Essa diferença de pressão, em equilíbrio, é denominada pressão osmótica (Pacheco, 2012).

A camada de membrana dentro desse sistema é o que divide os dois ambientes, e com a aplicação de uma pressão externa, superior à pressão osmótica, a água passará pelo esse caminho tortuoso de camadas para conseguir chegar ao outro lado do permeado. Desse modo, a membrana consegue reter os menores contaminantes e íons monovalentes (Lauren F.Greenlee, 2009). As membranas são semipermeáveis, onde sua determinação é relacionada à massa molecular limite de corte (MMC), ou seja, a massa molecular limite abaixo da qual a substância atravessaria a membrana, se for atribuída uma pressão superior à pressão osmótica do sistema. Os processos de OR possuem MMC menores do que 100 Daltons (Pacheco, 2012).



**Figura 2.5. Comparação entre Osmose e Osmose Reversa**

Fonte: (Souza, 2006)

Os modelos de membrana são normalmente operados em modo crossflow e também construídos de forma encurvada e em espiral, com um tubo coletor do lado interno. O fluxo do fluido depende da porosidade da membrana, da fração do volume da membrana e da tortuosidade, que é a distância que a molécula deve passar sobre a espessura da membrana. O fluxo do fluido também acontece por difusão (Lauren F.Greenlee, 2009).

O mecanismo de transporte da OR é denominado solução-difusão, porém é a difusão que controla esse movimento. Nesse tipo de sistema, o processo ocorre em três diferentes etapas: primeiro pela absorção da membrana seguida pelo transporte de difusão dentro das membranas e por último com a dessorção da superfície da membrana do permeado para a solução. Esse fenômeno ocorre devido à absorção da água pela membrana, causando um distúrbio do gradiente de concentração, fazendo com que as moléculas de água ultrapassem as camadas até serem dessorvidas no lado do permeado (Lauren F.Greenlee, 2009).

A gradiente de concentração é atingida através de uma aplicação externa de pressão hidráulica superior à pressão osmótica natural do sistema, forçando o movimento das moléculas de água do meio mais concentrado para o menos concentrado (não natural), enquanto a maioria dos sais fica retida na membrana. O transporte de massa (sais) do sistema ocorre através da

**Equação 1:**



$$N_A = L(\Delta p - \Delta \pi) \quad (1)$$

Onde  $N_A$  é fluxo de água que atravessa a membrana,  $L$  é o coeficiente de permeabilidade,  $\Delta p$  é a diferença de pressão transmembrana e  $\Delta \pi$  é a diferença de pressão osmótica entre o efluente e o permeado. A pressão osmótica,  $\pi$ , depende tanto da concentração quanto da temperatura da solução, podendo ser representada, em soluções termodinamicamente ideais, através da **Equação 2**:

$$\pi = C * R * T \quad (2)$$

Representando o  $C$  como concentração molar dos íons,  $R$  sendo a constante ideal dos gases e  $T$  a temperatura de operação.

O coeficiente de permeabilidade é influenciado pelas características da membrana, sendo descrita pela **Equação 3**:

$$L = \frac{D * S * V}{R * T * l} \quad (3)$$

Onde  $D$  é a difusividade da água,  $S$  é a solubilidade da água,  $V$  é o volume molar parcial da água e  $l$  é a espessura da membrana.

Pode-se notar que esse fluxo depende tanto da concentração de íons quanto da temperatura da solução, na qual ambas são inversamente proporcionais à eficiência do processo.

Tipicamente, a pressão osmótica da água do mar está dentre o intervalo de 2.300-2.600 kPa, porém pode-se chegar a até 3.500 kPa, sendo que o range médio da água salobra é de 100-300 kPa, para uma concentração de 2.000-5.000 mg/l (Lauren F.Greenlee, 2009).

Um indicador de eficiência de sistemas de osmose reversa que merece destaque é a recuperação, que está descrita na **Equação 4**:

$$R_W = \frac{Q_P}{Q_F} \quad (4)$$

Onde  $Q_P$  é a taxa de fluxo volumétrico do permeado e  $Q_F$  é a taxa do fluxo volumétrico de alimentação.

Ela está representada pela taxa do fluxo volumétrico do permeado sobre a taxa do fluxo volumétrico de alimentação. Diversos fatores influenciam em seu valor, como a salinidade e a composição da água, pré-tratamento da água utilizado e da configuração de energia do sistema.

Configurar um sistema para operar com altas taxas de recuperação apresenta um problema técnico, pois ela demandará altos valores de fluxo de permeado e de pressão, fazendo com que grandes concentrações de sais fiquem retidas na superfície da membrana, aumentando assim a pressão osmótica do sistema. Consequentemente, devido à redução do gradiente de concentração, o fluxo do permeado irá diminuir. Além disso, situações como precipitação dos sais e entupimentos ocorrem com maior facilidade em ambientes com grandes quantidades de sais (Lauren F.Greenlee, 2009).

Outro método de avaliar a performance do processo de filtração é através do fluxo de sal pela membrana ( $N_S$ ), podendo ser calculada através da **Equação 5**:

$$N_S = B(C_{\text{alimentação}} - C_{\text{permeado}}) \quad (5)$$

Sendo  $B$  uma constante que depende das características da membrana,  $C_{\text{alimentação}}$  a concentração de íons na solução de alimentação e  $C_{\text{permeado}}$  a concentração de íons na solução do permeado.

A rejeição do sal pela membrana pode ser calculada utilizando a **Equação 6**, sendo que os fabricantes normalmente especificam os limites de sais.

$$B = \frac{D_S K_S}{l} \quad (6)$$

Onde  $D_S$  é a difusividade do sal através da membrana e  $K_S$  é o coeficiente de partição de sal entre a solução e as membranas.

Outros parâmetros de análise do processo é o Coeficiente de Peneiramento, que é a razão entre a concentração final da substância em relação à concentração inicial, além da

Permeabilidade Hidráulica que representa a razão entre a vazão volumétrica do fluido sobre unidade de área da membrana e a diferença de pressão entre os dois lados da membrana (Pacheco, 2012).

A gradiente de pressão entre os lados da membrana faz com que a Permeabilidade Hidráulica diminua, pois para uma mesma variação de pressão, a vazão do permeado é inferior ao de um solvente puro. Esse efeito regressivo é denominado Polarização da Membrana (Pacheco, 2012).

Com a aplicação da osmose reversa é possível retirar até 99,8% dos compostos de NaCl. No entanto, as membranas acabam perdendo sua eficiência de rejeição no decorrer do tempo, em torno de 10% ao ano, até o final da sua vida útil, que gira em torno de sete anos. Além do mais, fatores como temperatura, salinidade, métodos de limpeza e o grau de pureza a ser obtido também podem influenciar na passagem de sais pela membrana (Lauren F.Greenlee, 2009).

O aumento da temperatura pode contribuir, mas também pode prejudicar na eficiência do sistema, pois ela influencia na permeabilidade da água e também dos sais. Normalmente, as plantas são operadas com fluxo de permeado constante, e como a permeabilidade dos sais é mais sensível do que a permeabilidade da água em relação à variação desse parâmetro, com o tempo, a salinidade do fluxo do permeado ficará maior (Lauren F.Greenlee, 2009).

A salinidade da água de alimentação possui um efeito inverso à qualidade do produto, devido a sua perturbação no Potencial Gibbs-Donnan, efeito que ajuda no impedimento da passagem dos íons. Esse fenômeno cria um potencial elétrico negativo na superfície da membrana repelindo os íons e moléculas de carga negativa atraindo assim os cátions (Lauren F.Greenlee, 2009).

O pH é outro parâmetro que afeta na dispersão dos sais, conduzindo para uma maior rejeição de íons com o aumento de seu valor. Porém, a maioria das membranas comerciais apresentam ponto isoelétrico, momento em que todas as membranas apresentam carga nula, em valores baixos de pH (3-4) nas condições padrões de soluções eletrolíticas (0,01 M NaCl ou KCl), e também apresenta carga negativa nas condições normais de operação de pH em torno de 5 a 7 (Lauren F.Greenlee, 2009).

A rejeição dos sais ( $R_s$ ) e a recuperação ( $R_w$ ) são dois parâmetros utilizados para calcular o fator de concentração do permeado (CF), através da **Equação 7**, podendo-se notar a sensibilidade desse fator sobre a recuperação, já que um pequeno acréscimo pode resultar em grandes valores de concentração. Apesar de esse indicador ser importante, ele não permite uma comparação direta entre íons e sais específicos com diferentes concentrações (Lauren F.Greenlee, 2009).

$$CF = \left( \frac{1}{1 - R_w} \right) [1 - R_w(1 - R_s)] \quad (7)$$

As plantas de OR operam, na maioria das vezes, com quatro estágios em série, onde a saída de uma membrana é a alimentação da próxima em sequência. Cada estágio opera em paralelo com múltiplos recipientes de pressão que contém seis a oito camadas de membrana. Assim é possível estruturar os equipamentos para que as primeiras membranas retenham os componentes com maiores espessuras, e em seguida, as próximas membranas removam os contaminantes menores (Lauren F.Greenlee, 2009).

Na etapa de planejamento, realizar algumas tarefas é essencial para o dimensionamento correto dos equipamentos da planta, sendo elas: identificação das substâncias dissolvidas e em suspensão, analisando tanto qualitativamente (tipos) quanto quantitativamente (tamanho e concentração); propriedades físicas da corrente a ser tratada (temperatura, densidade, viscosidade, pH, potencial zeta e pressão osmótica); custos de operação com energia. O volume concentrado também deve ser verificado para que sua destinação esteja dentro das leis especificadas (Pacheco, 2012).

### **2.5.1 ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO E SEUS CONTAMINANTES**

As águas marítimas podem ser obtidas de duas formas: de poços ou de superfícies e suas concentrações variam entre 35.000 a 45.000 mg/L.

Substâncias naturais e químicas também podem estar presentes nessas fontes devido a proliferação das algas, dos microrganismos e também por contaminação de óleos das embarcações. Deve-se destacar o boro como contaminante com maior dificuldade de retirada, além dos seus efeitos adversos tanto na saúde humana quanto nas plantações. Esse composto é naturalmente apresentado em solução aquosa, como ácido bórico  $H_3BO_3$ , em concentração de

4,5-6 mg/L. Sua eliminação é beneficiada com o acréscimo do valor de pH do sistema, entretanto, essa atividade apresenta trade-off da possibilidade de ocorrer a precipitação do sal na membrana, fenômeno denominada scaling. Como possível solução, pode-se utilizar múltiplos estágios de membrana, sendo a primeira com baixo valor de pH para remover os sais e a segunda com alto valor para eliminar o boro (Lauren F.Greenlee, 2009).

Conforme citado anteriormente, em condição padrão de operação e pH neutro, o sistema de osmose reversa consegue obter água filtrada com até 99,8% de pureza dos sais de sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloro ( $\text{Cl}^-$ ), porém apenas 80% do boro consegue ser removido. Essa situação poderia ser resolvida operando o sistema com pH 11, mas ela é impossibilitada por essa condição propiciar a precipitação do sal. (Lauren F.Greenlee, 2009).

### 2.5.2 ENTUPIMENTO DAS MEMBRANAS

Os entupimentos das membranas podem ocorrer entre as camadas das membranas, e principalmente, em sua superfície. Sua causa é derivada de diversos fatores como material particulado suspenso orgânico e inorgânico, sólidos dissolvidos e material biogênico, merecendo destaque para os materiais particulados orgânicos nos casos de água marítimas. (Lauren F.Greenlee, 2009)

O método D4189 é um indicador que demonstra a tendência da água de entupir a membrana, nas condições padrões determinados (espessura do filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  e pressão de 207 kPa). Ela é determinada como Índice de Densidade de Sedimentos (IDS) e é calculada pela **Equação 8:**

$$IDS = \frac{100\% * (1 - t_1/t_2)}{t} \quad (8)$$

Onde t é o tempo total decorrido do fluxo,  $t_1$  o tempo requerido para filtrar 500 mL de água e  $t_2$  o tempo requerido para filtrar 500 mL de água após t minutos.

Existem diversos pré-tratamentos das membranas que reduz esse indicador. Contudo, como a maioria das soluções, elas podem apresentar efeitos colaterais. As plantas normalmente conseguem operar com valores de IDS entre 4 a 5 (Lauren F.Greenlee, 2009).

Uma correlação entre IDS e a propensão de entupimento foi relatada através da obtenção da resistência total do fluido. Essa resistência é composta pela resistência do filtro e a resistência de ocorrer o entupimento, a qual representa uma relação exponencial entre o aumento do IDS e o crescimento da resistência ao entupimento. (Lauren F.Greenlee, 2009)

Um ponto importante a se destacar é que o IDS não pode ser usado como único indicador de eficiência contra o entupimento, pois ele apresenta limitações em seu resultado, já que a membrana utilizada não consegue reter os polímeros biológicos e a adesão de microrganismos na superfície da membrana (*biofouling*), além de não ser possível correlacionar linearmente, as dispersões coloidais e suspensas que são dois importantes grupos entupidores (Lauren F.Greenlee, 2009).

O único sal que pode apresentar problema de precipitação nos sistemas OR é o carbonato de cálcio. Contudo, as baixas recuperações da água marítima impedem esses tipos de transformações (Lauren F.Greenlee, 2009).

## **2.6 LIMPEZA DAS MEMBRANAS**

Os entupimentos das membranas ocorrem em todas as camadas das membranas devido aos contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes na água. Uso de soluções de ácido, normalmente os ácidos clorídricos e fosfóricos, e também de soluções alcalinas, como hidróxido de sódio e lauriléter sulfato de sódio podem reverter essas situações (Lauren F.Greenlee, 2009).

### **2.6.1 PRÉ-TRATAMENTO DA MEMBRANA**

Um método comum consiste em um processo com algumas etapas, sendo a primeira com a preparação da água para retirar substâncias através de filtração granular média, que requer a adição de solução ácida, na maioria das vezes o ácido sulfúrico, e coagulante. Essa solução reduz o pH do solvente para o patamar ácido-neutro (5-7), aumentando a solubilidade do carbonato de cálcio. Os coagulantes atuam como neutralizantes das cargas dos particulados aquosos e dos materiais coloidais, que naturalmente se encontram repelidos devido às suas cargas negativas. Sendo assim, os sólidos suspensos conseguem se agrupar em flocos. Podem-se utilizar coagulantes inorgânicos, como sais de ferro ou alumínio, e também substâncias

orgânicas como cloreto de amônia de dialil dimetil (polyDADMAC). (Lauren F.Greenlee, 2009). Em misturas com valor de IDS superior a 10, opera-se floculação junto com a coagulação nos tratamentos de água.

Empregam-se diversos tipos de matérias no filtro, para aproveitar a diversidade do formato dos mesmos. Areia, antracite, pomes e granada são usualmente manipulados em combinação nessas operações. Além disso, também é muito comum pressurizar o sistema, que consegue reduzir o IDS a até fator de dois, apesar do consumo de energia que ela demanda (Lauren F.Greenlee, 2009).

A última etapa é com filtro de cartucho de 1-10 µm para retirar as partículas de porte médio que podem entupir as camadas.

A prevenção do crescimento dos contaminantes biológicos é realizada através da adição de fortes oxidantes, como por exemplo, ozônio e cloro, em concentração o suficiente para todo o resto do pré-tratamento, porém, no caso da utilização do ozônio, deve-se pensar que a sua retirada no final do processo deve ser realizada. Ademais, devido à maioria das membranas presentes no mercado serem formadas de poliamidas aromáticas, elas são sensíveis aos ataques por cloro. A utilização de ozônio também apresenta desvantagens, devido à formação de brometo, substância carcinogênica. Todos os processos de desinfecção causam a formação de subprodutos, devendo analisar os com menor potencial negativo (Lauren F.Greenlee, 2009).

Com o avanço da tecnologia, foi-se experimentando tipos de pré-tratamento de água a combinação de sistemas de membranas com poros mais largos, ou seja, nanofiltração, microfiltração e ultrafiltração. Através de diversos estudos realizados mundialmente, a ultrafiltração foi a que apresentou o melhor balanço entre a remoção do contaminante e a produção do permeado (Lauren F.Greenlee, 2009).

A turbidez é uma medida de eficiência do pré-tratamento, representa a propriedade óptica de absorção e reflexão da luz, podendo atribuir uma relação à presença de micro-organismos patogênicos à saúde, sendo recomendado valor abaixo de 1,0 NTU para ser considerada uma operação ótima (Feltre, 1990).

Esses novos métodos de pré-tratamento conseguem atingir resultados muito bons, com IDS abaixo de 2,0 e turbidez de 0,05 NTU, que são valores de permeado com alto grau de pureza, além de permitir fluxo elevado, em torno de 15-24 L/m<sup>2</sup>.h para os sistemas UF-OR. Elas também reduzem os custos referentes à manutenção e troca das membranas, já que aumentam a vida útil das mesmas (em média, realiza-se a troca das membranas entre 5 a 10 anos) (Lauren F.Greenlee, 2009).

Uma etapa bastante efetiva no processo é a coagulação, que consegue remover os principais contaminantes e também forma uma estrutura mais porosa do que a membrana, permitindo que o fluxo do permeado permaneça elevado. Deve-se atentar a dosagem de baixa concentração (0,3-1 mg/L), devido a sensibilidade do sistema referente a essas substâncias, que geralmente se utiliza cloreto de ferro (Lauren F.Greenlee, 2009).

## **2.6.2 DESIGN DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA**

Usualmente, as plantas são projetadas para uma ou dupla passagem, na qual a escolha do melhor arranjo depende de fatores como custo de energia, características da água a ser tratada e a recuperação desejada.

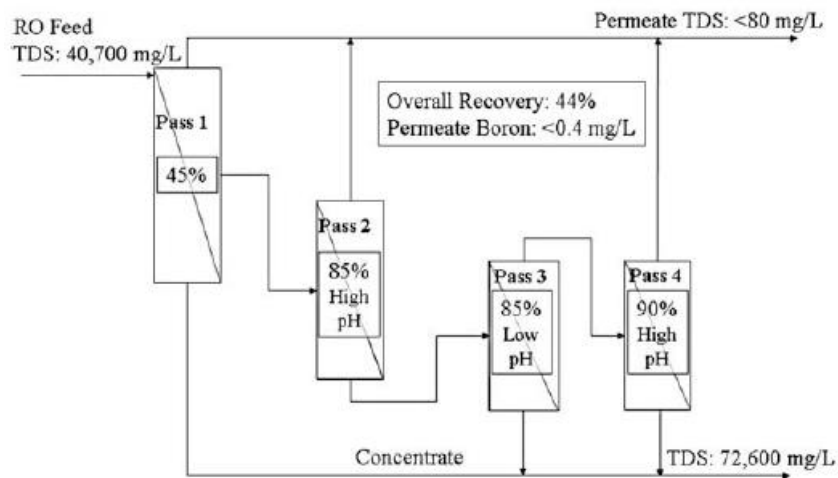
O consumo de energia do sistema é demandado em diversas etapas, a primeira dela é para o bombeamento da água da fonte para a planta de operação. A quantidade de energia está diretamente relacionada às características da água, pois quanto maior a sua concentração de sais, maior será a pressão hidráulica requerida pelo sistema e, conseqüentemente, maior a demanda de energia para a produção de um fluxo de permeado desejado (Lauren F.Greenlee, 2009).

A etapa de recuperação de energia tem como objetivo aproveitar a energia existente e que seria perdida através do fluxo pressurizado do concentrado, onde esse descarte é enviado para um sistema de recuperação e sua energia é utilizada para auxiliar na partida das bombas. Esse sistema consegue atingir uma eficiência de até 95%, porém como essa atividade é limitada a pressão osmótica, na prática só é possível alcançar uma marca de 65% (Lauren F.Greenlee, 2009).



Mundialmente, a maioria das instalações produzem água dessalinizada com teores de SDT abaixo de 500 mg/L. Contudo, quando requerido valores inferiores a 300 mg/L, o sistema deve ser de pelo menos dupla passagem (Lauren F.Greenlee, 2009). Como a influência da temperatura tende para o aumento da salinidade do permeado, quando as fontes de água estiverem altas, múltiplos estágios devem ser instalados para se obter permeados de boa qualidade.

Os sistemas de dupla-passagens são construídos de forma que, na primeira etapa a água é alimentada à alta pressão e baixa taxa de recuperação (35-45%) e o segundo arranjo é operado com água a baixa pressão e alta taxa de recuperação, valor em torno de 90%. Inicialmente, o processo ocorre em pH neutro, como pode ser observado na **Figura 2.6**. O permeado da primeira etapa é coletado, enquanto o fluxo do concentrado é levado como alimentação no segundo arranjo, que é operado com alto valor de pH para que seja possível remover grande concentração do boro (Lauren F.Greenlee, 2009).



**Figura 2.6. Fluxograma do processo da planta dessalinizadora de Ashkelon, Israel.**

**Fonte: (Lauren F.Greenlee, 2009)**

### **2.6.3 PÓS-TRATAMENTO DO PERMEADO**

Após todo o processo, às vezes o produto obtido ainda deve passar por mais uma etapa de tratamento, dependendo das suas características, podendo haver a necessidade de uma mistura com outra água para atingir o teor ideal de salinidade. A adição de hidróxido de cálcio

ou carbonato de cálcio para aumentar a dureza, alcalinidade de pH para os patamares requeridos (Lauren F.Greenlee, 2009).

#### **2.6.4 CUSTOS OPERACIONAIS**

As plantas de OR possuem maior eficiência energética, e com a melhoria da tecnologia dos materiais das membranas, seus resultados tendem a evoluir ainda mais.

Tanto os custos do capital quanto os custos energéticos das plantas de OR são regressivos em relação ao aumento de tamanho dos sistemas. Esses custos energéticos são basicamente compostos em: 50% referente à operação e manutenção, amortização e seguro compõe 37% do custo total, e o restante está relacionado à troca e manutenção das membranas (12%), salários (4%) e substâncias químicas (3%) (Lauren F.Greenlee, 2009).

A definição do percentual de recuperação desejado possui uma grande influência sobre o custo do sistema, pois, em situações de fluxo de permeado constante, se for requerido alto valor desse indicador o fluxo de alimentação irá diminuir, e consequentemente, os custos e o tamanho dos equipamentos (bombas, tanques, dosagem das substâncias químicas) também serão reduzidos. No entanto, o aumento da pressão osmótica, devido a essa premissa adotada, sobrepõe o benefício dessa redução (Lauren F.Greenlee, 2009).

Os tipos de pré-tratamento também possuem grande relevância no custo da operação, apesar dos avanços tecnológicos que estão reduzindo esses valores. Os pré-tratamento convencionais continuam sendo mais baratos do que as alternativas de combinação das operações unitárias (UF-OR). Porém, essas atividades ainda são mais econômicas do que a troca das membranas (Lauren F.Greenlee, 2009).

#### **2.6.5 TRATAMENTO E DESCARTE DA ÁGUA RESIDUAL**

Após o processo de dessalinização de água, parte dos solutos que foram obtidos no processo produz um subproduto, uma água residual chamada de rejeito, de concentração salina muito maior do que a água original de alimentação e de alto poder poluente para o solo, pra fauna e flora, já que também podem apresentar concentrações consideradas de produtos químicos. A intensidade do perigo associado a esse resíduo depende principalmente de sua temperatura, SDT e da densidade, sendo que apenas o parâmetro da temperatura que é

inversamente proporcional ao poder de contaminação, os outros dois fatores apresentam maiores danos ambientais quanto maior os seus valores (Silva, 2015).

Uma das práticas mais comuns utilizadas nas plantas de dessalinização por osmose reversa é o descarte desse efluente concentrado no oceano, devido ao seu baixo custo e também pela facilidade operacional. No entanto, apesar do poder de diluição dessa corrente com a imensidão do oceano, como consequência dessa atividade, os contaminantes encontrados nessa mistura, como por exemplo, coagulantes e biocidas, até mesmo o cloro dependendo da concentração existente, pode afetar negativamente a vida marítima do local de despejo e do ecossistema costeiro (Daniel Brooke Peig, 2010).

Para sistemas que se encontram distantes dos mares, uma possível solução, mais apropriado em pequenos portes, é a de evaporação solar para cristalização dos sólidos dissolvidos. A disposição direta na superfície do solo é usualmente aplicada em alguns locais, principalmente na região do semi-árido brasileiro, apresentando alto potencial de contaminação do solo e lençóis d'água, afetando tanto na degradação do meio ambiente quanto na qualidade da água que o ser humano poderá consumir (Ribeiro, 2015).

Injeção em poços, descarga junto a efluentes de esgotos e uso de lagoas de evaporação são outros métodos empregados por diversas usinas dessalinizadoras espalhadas pelo mundo, que as vezes requerem pré diluição e pré tratamento para suas execuções (Daniel Brooke Peig, 2010).

Também em terras nacionais, especificamente no Nordeste, uma alternativa mais sustentável está na utilização desse subproduto para a criação de Tilápia Koina, onde em um período de um semestre o cardume permanece no ambiente preenchido pela água de descarte de dessalinização por osmose reversa. E, pelos estudos realizados, esse ambiente ainda proporcionou um crescimento no tamanho dos peixes, além de apresentar um sabor mais intenso. O cultivo de camarão, cultivo de erva-sal e mudas cítricas também são outras opções a serem consideradas viáveis (Daniel Brooke Peig, 2010).

A água residual dos processos industriais pode ser tratada para utilização em algumas atividades operacionais que não requerem alto grau de pureza para sua operação. Contudo, processos de tratamento tradicional, como a coagulação e a floculação, não são efetivos para

eliminar os compostos poluentes desses efluentes. Uma possível solução é através da aplicação da osmose reversa, apesar da ocorrência de alguns empecilhos, como por exemplo, a precipitação de fosfato de cálcio e a maior presença de carbono (Lauren F.Greenlee, 2009).

Além disso, a presença de cloro, desinfetante muito utilizado no tratamento de água, degrada as membranas, causando problema para a realização dessa operação. Uma solução encontrada foi no desenvolvimento de membranas compostas de polissulfona sulfonada que são bastante resistentes aos ataques o cloro (Lauren F.Greenlee, 2009).

## **2.7 ENERGIA FOTOVOLTAICA**

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. Seu princípio e outros detalhes serão apresentados nos próximos tópicos

### **2.7.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO**

O principal conceito das células fotovoltaicas é a excitação dos elétrons através da elevação de energia dos prótons, que ocorre quando superior ao bandgap do seu material, movendo-os da banda de valência para a banda de condução (Pacheco C. R., 2017).

Quando a luz solar incide sobre a superfície da célula, será produzida uma diferença de potencial nesta carga causando uma circulação de corrente do terminal positivo ao terminal negativo da célula. Essa circulação é derivada da movimentação dos fótons, em um material semicondutor, que transportam elétrons da camada de valência para a camada de condução. Porém, não são todos os tipos de fótons que conseguem absorver a energia solar, apenas aqueles que possuem energia igual ou superior ao do material. Esse restrito volume de fótons quebram as ligações dos elétrons, que atuam como portador de corrente. Os elétrons continuam circulando devido ao campo elétrico formado no sistema. Fenômeno de recombinação dos pares de elétrons ocorre, causando perdas de recombinação na célula fotovoltaica (ONUDI, 2011).

### **2.7.2 TIPOS DE CÉLULAS**

As células fotovoltaicas são compostas por duas ou mais camadas de material semicondutor. O material mais comum, especialmente em ambiente comercial, utilizados para a fabricação desses equipamentos é o silício (Si) e ele pode ser classificado em três categorias:

- **Células de Si monocristalino (Si-m):** todo o material faz parte de uma mesma rede cristalina. É o mais eficiente e também com um bom custo-benefício
- **Células de Si policristalinas (Si-p) e/ou multicristalino:** a estrutura está formada por vários monocristais, com orientações cristalográficas aleatórias, apresentando uma eficiência inferior à anterior.
- **Células de Si amorfo (Si-a):** esse tipo de célula é mais simples, apresentando algumas características diferentes ao da estrutura ordenada, sendo eles as distâncias interatômicas e direções das ligações. Logo, seu rendimento é menor.

As eficiências médias para módulos fotovoltaicos monocristalinos estão na faixa entre 15-18%, já para as células policristalinas este range está entre 12-16% e por último fica o intervalo apresentado pela sílica amorfa que está entre 6-8% (ONUDI, 2011).

O campo elétrico é possível devido a diferença de elétrons apresentados pelos materiais presentes (fósforo que possui átomos doadores e boro que possui átomos receptores). A diferença de concentrações entre elétrons e a lacuna (ausência de elétron devido ao rompimento da ligação pelo fóton) cria um campo elétrico (ONUDI, 2011).

### 2.7.3 CURVA CARACTERÍSTICA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA

O descritor fundamental da célula solar é sua curva característica corrente-tensão I-V, que representa todas as possíveis combinações de corrente e voltagem que podem ser obtidas de uma célula e em determinadas condições. Na **Figura 2.7** está ilustrada a curva característica de uma célula de silício. As principais características dessa curva são:

- **Corrente de Curto-Circuito ( $I_{sc}$ ):** máxima corrente que a célula irá produzir sob determinadas condições de irradiação e temperatura
- **Tensão de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ ):** máxima tensão produzida pela célula sob determinadas condições de irradiação e temperatura
- **Potência Máxima ( $P_{MAX}$ ):** potência nominal capaz de gerar energia em  $W_p$  (watt pico)
- **Corrente no Ponto de Máxima Potência:** valor da corrente encontrada no ponto de máxima potência

- **Tensão no Ponto de Máxima Potência:** valor de tensão encontrada no ponto de máxima potência.

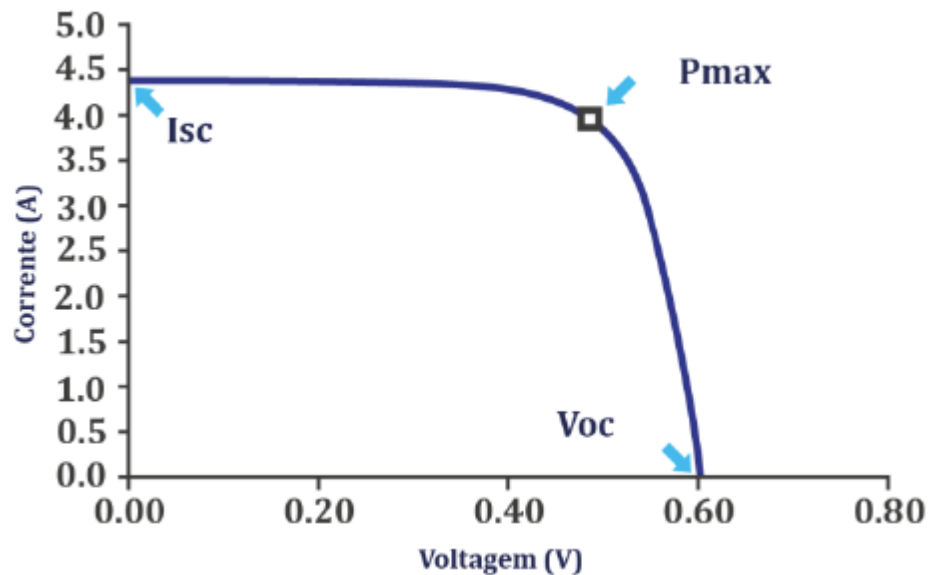


Figura 2.7. Curva característica típica I-V de uma célula fotovoltaica.

Fonte: (ONUDI, 2011)

Os principais fatores que afetam a característica I-V do gerador fotovoltaico são a intensidade de iluminação (irradiância) e a temperatura. A irradiância apresenta uma maior influência sobre a corrente. Já a temperatura tem um efeito mais destacado sobre a tensão e a potência, sendo inversamente proporcional em relação aos dois parâmetros (ONUDI, 2011).

No dimensionamento do sistema, é possível alocar o arranjo das células e dos módulos tanto em série quanto em paralelo. Utilizando a primeira opção, o sistema irá manter o valor da corrente, porém as tensões dos seus elementos serão consolidadas, ao passo que ao se arranjar os módulos em paralelo, ocorre-se o oposto, podendo ser observado esses fenômenos na **Figura 2.8** (ONUDI, 2011).

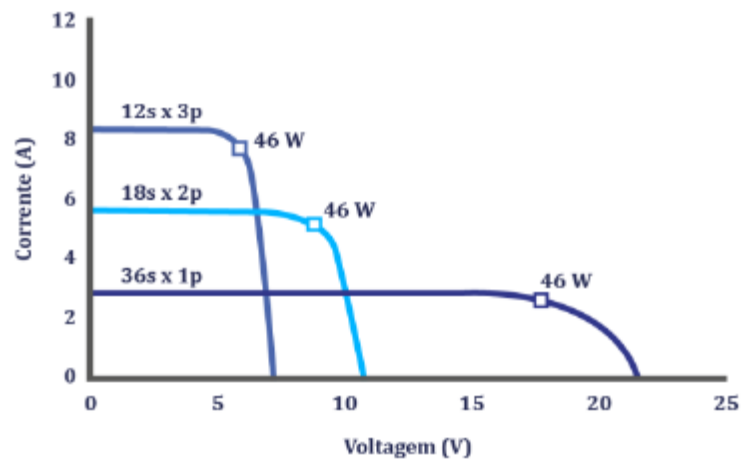


Figura 2.8. Distintas curvas I-V obtidas pelas diferentes associações das células.

Fonte: (ONUDI, 2011)

#### 2.7.4 ESTRUTURA BÁSICA DO PAINEL

A estrutura básica de um módulo compõe os itens a seguir (ONUDI, 2011):

- **Cobertura Frontal:** normalmente uma placa de vidro é colocada promovendo proteção mecânica e também impedindo a entrada de água, porém o acrílico e polímeros também são utilizados. O material deve apresentar elevada transmissão dos raios dentro do intervalo de comprimentos de onda que possa ser aproveitada por uma célula solar fotovoltaica (350 a 1.200 nm no caso de células de silício) e uma baixa reflexão, para aproveitar ao máximo a energia solar incidente.
- **Encapsulamento:** o material mais comum é o etileno-vinil-acetato (EVA) que tem como principal função conferir a adesão entre as células solares, à superfície frontal e à posterior do módulo. Deverá ser impermeável à água e resistente à fadiga térmica e à abrasão.
- **Cobertura Posterior:** o Tedlar é largamente utilizado devido a suas boas propriedades, de ser impermeável e com baixa resistência térmica.
- **Conectores das Células FV:** as faixas de interconexão elétrica geralmente são de alumínio ou aço inoxidável.

### 2.7.5 COMPONENTES DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO

Os principais componentes presentes em um projeto fotovoltaico são (Pacheco C. R., 2017):

- **Painéis fotovoltaicos:** conforme mencionado anteriormente, eles possuem a função primordial de converter a energia solar em energia elétrica.
- **Armazenadores ou baterias:** são equipamentos dispensáveis para muitos sistemas, principalmente para os on-grid que são conectados diretamente com a rede de distribuição de energia elétrica, porém ela é muito utilizada em sistemas isolados da rede (off-grid) ou que requer uma autonomia constante. Elas possuem o propósito de armazenar a energia elétrica e sua capacidade depende das condições operacionais da bateria utilizada.
- **Controlador de carga:** outro equipamento que não é essencial, salvo para quando houver baterias instaladas. Ela distribui a energia gerada entre a demanda e os armazenadores, procurando assegurar a ótima operação para que as baterias possam ter máxima duração de vida útil.
- **Inversor de carga:** como os painéis fotovoltaicos proporcionam energia elétrica em corrente contínua, esse aparelho deve ser utilizado para convertê-lo em corrente alternada. Ademais, ela sincroniza a fase do sistema fotovoltaico com a rede elétrica.
- **Suporte:** correta instalação dos painéis à cobertura do local, procurando deixar espaço para ventilação na parte superior do arranjo.
- **Condutores e quadro de conexão:** são os elementos do circuito de conexão elétrica entre os painéis e as cargas e a rede.

A estrutura de suporte do campo de painéis fotovoltaicos é um elemento auxiliar importante, pois ele adequa em uma orientação e inclinação, procurando otimizar a melhor absorção da irradiação conforme o objetivo do problema em questão. Há possibilidade também de se utilizar estruturas com posições variadas, permitindo realocar as inclinações de acordo com a sazonalidade das estações do ano. A maioria dos materiais utilizados são o alumínio e o aço, pelo fato deles apresentarem uma maior resistência à corrosão (ONUDI, 2011).



## 2.7.6 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os projetos fotovoltaicos podem ser categorizados em dois tipos: conectados à rede (on-grid) e não conectados à rede (off-grid).

- **On-grid:** são totalmente dependentes da energia convertida pelos painéis para atender as cargas. Para um fornecimento mais seguro, constante e com maior duração (mesmo em períodos sem insolação) a utilização de baterias é bastante comum, sendo necessário instalar também um controlador de carga para uma correta operação do sistema (Pacheco C. R., 2017).
- **Off-grid:** diferentemente do esquema anterior, alguns equipamentos (controlador de carga e armazenadores) são dispensáveis, tornando o sistema economicamente mais baixo. No entanto, a aprovação do projeto na concessionária e a contratação do sistema de distribuição de energia elétrica deverão ser necessárias, sempre respeitando as normas do local de instalação. Outro aspecto positivo é a possibilidade de transmitir a energia excedente gerada pelo sistema para a rede local (Pacheco C. R., 2017).

## 2.7.7 FATORES DE PERDAS

Em um sistema real existem diferentes perdas que devem ser consideradas e que diminuem o valor teórico informado pelos fornecedores (potência nominal). Em geral os fatores a se considerar são:

- Perdas por diferença de parâmetros entre módulos (mismatch);
- Perdas por sujeira ou pó;
- Perdas angulares e espectrais
- Perdas ôhmicas em corrente contínua, devidas às quedas ôhmicas nos cabos;
- Perdas por rendimento do rastreamento do ponto de máxima potência;
- Perdas por sombreamento;
- Perdas por temperatura;
- Perdas por paradas para manutenção.

### **3 ESTUDO DE CASO**

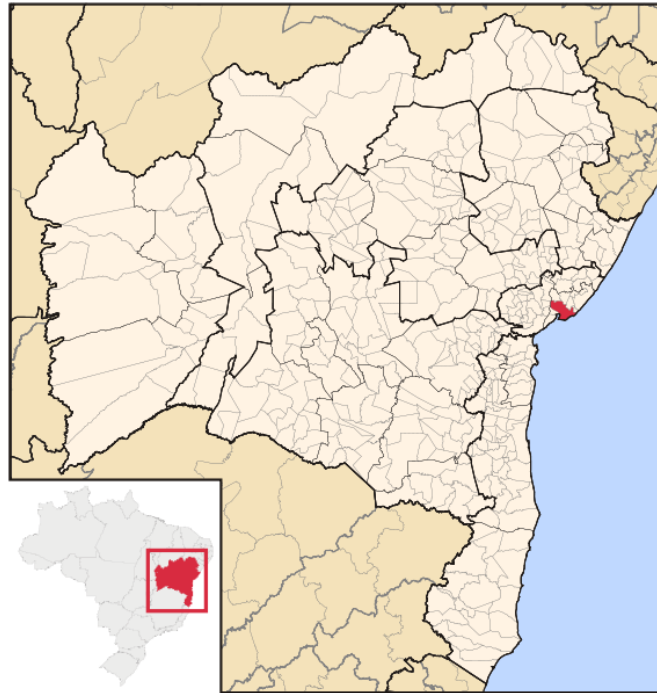
O objetivo proposto foi abordado e descrito nos próximos subtópicos, descrevendo todo o processo completo que foi necessário para a sua realização, desde as premissas adotadas até o raciocínio necessário para o dimensionamento mais apropriado para a situação oferecida.

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O dimensionamento de um sistema de energia fotovoltaica depende de diversos fatores, principalmente das características naturais do local da sua implementação. Portanto, como etapa preliminar, a análise dessas condições se torna de grande valor para que possa se prosseguir para as próximas fases de um projeto desse tipo de energia.

##### **3.1.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA**

Salvador é um município brasileiro, capital do estado da Bahia, localizado na Zona da Mata da Região Nordeste do país. Suas coordenadas foram determinadas a partir do Forte de Santo Antônio da Barra sendo elas 12° 58' 16'' sul e 38° 30' 39'' oeste. Ela possui uma área de 692,82 km<sup>2</sup>, na qual seu bioma principal é a Mata Atlântica. (IBGE, 2016). A **Figura 3.1** apresenta o local mencionado.



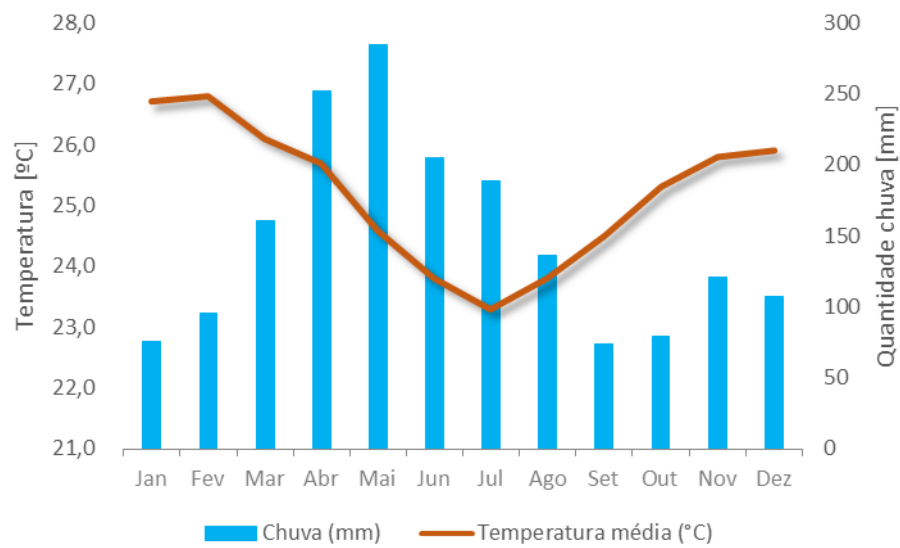
**Figura 3.1.** Mapa do estado da Bahia, destacando a capital Salvador.

**Fonte:** Wikipédia

De acordo com o senso mais atualizado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2016, a cidade é composta por aproximadamente 2.675.656 habitantes, relatando uma densidade demográfica de 3.861,98 hab/km<sup>2</sup>.

### **3.1.2 DADOS CLIMATOLÓGICOS**

Famosa por seu clima tropical, esse perfil de temperatura pode ser comprovado através dos dados fornecidos na **Figura 3.2**. No mês de fevereiro, o mês mais quente do ano, a temperatura média é de 26,8 °C. Ao longo do ano julho tem uma temperatura média de 23,3 °C, sendo o menor valor relatado. A umidade também é relativamente alta, mesmo o mês mais seco (74 mm em setembro) ainda assim tem muita pluviosidade, apontando uma umidade média anual de 80%.

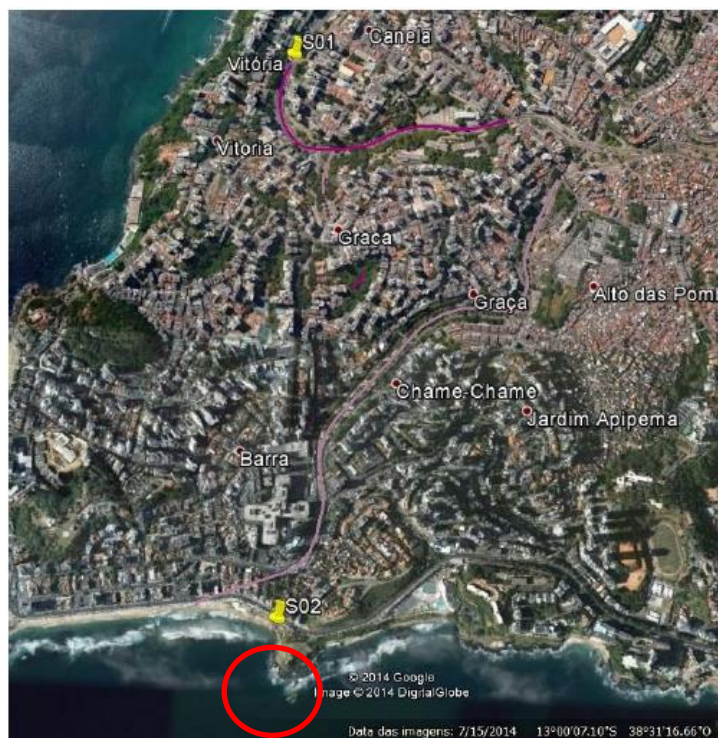


**Figura 3.2. Dados de temperatura média e quantidade de chuvas em Salvador**

**Fonte: Climate Data**

### 3.1.3 QUALIDADE DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO

A fonte de captação do recurso hídrico a ser utilizado no projeto é referente num ponto na praia do Farol da Barra próxima ao Morro do Cristo. Esse local é o encontro do Rio dos Seixos, que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio dos Seixos, com o oceano. Todo o seu curso se encontra em áreas urbanas. Pela **Figura 3.3**, pode-se verificar o local da fonte de alimentação, destacado em vermelho.



**Figura 3.3. Localização do ponto de coleta da água de alimentação.**

**Fonte: (INEMA, 2016)**

Através das análises técnicas realizadas pelo INEMA, foi possível obter as características físicas, químicas e biológicas da água que estão detalhadas na **Tabela 3.1**. Os dados são referentes à primeira quinzena de novembro de 2015.

**Tabela 3.1. Característica da água de alimentação.**

Parâmetros	Unidade	Ponto S-02
Temperatura	°C	28,30
pH	-	6,87
Turbidez	NTU	12,7
Condutividade	µmhos/cm	519
OD	Mg/L	1,5
Salinidade	‰	0,23
Sólidos Dissolvidos	Mg/L	318
Porcentagem de OD	%	19,4
Surfactantes	Mg/L	0,9
DBO	Mg/L	10
Fósforo Total	Mg/L	1,20
Nitrogênio Amoniacal	Mg N-NH3/L	8,8
Nitrogênio Total	Mg/L	14
Sólidos Totais	Mg/L	306
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	4,9*10 <sup>8</sup>
Clorofila A	µg/L	<0,40

**Fonte: (INEMA, 2016)**

### 3.2 CONSUMO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DO FÁRMACO

Como foi explicado na revisão bibliográfica, em escala industrial, é vantajoso realizar a síntese do ácido salicílico a partir do uso de alguns reagentes mais econômicos financeiramente. Para essa operação é requerido o consumo de 5,0 m<sup>3</sup> de água para fabricação de 2.000 kg de ácido salicílico. Logo, através da proporcionalidade das equações, verificou-se uma necessidade de 5,2 m<sup>3</sup> de água para esse desenvolvimento, adotando como premissa a fabricação de 2.700 kg da AAS por mês.

Após esse procedimento, a síntese do fármaco depende do recurso hídrico devido à utilização de 10 ml na etapa de decomposição do excesso do anidrido acético, 50 ml na recristalização dos cristais para purificá-los e de 40 ml na lavagem dos cristais até a remoção total dos reagentes. Essa quantidade de água é necessária para produzir 2,61 g de produto.

Através do processo de fabricação em escala laboratorial do ácido acetilsalicílico, aplicou-se a regra de proporção da massa produzida com a massa desejada para se obter a quantidade de água na etapa dessa síntese. Sendo assim, com a premissa de produção do fármaco adotado, o volume de água utilizado nessa etapa do processo será de 103,5 m<sup>3</sup>/mês. Complementando com o volume de água demandado na etapa preliminar da acetilação do ácido salicílico, o volume total de água a ser purificado pelo sistema foi de 108,6 m<sup>3</sup>/mês. O resumo dessas etapas está descrito na **Tabela 3.2**.

**Tabela 3.2. Quantificação da utilização de água na síntese de 2.700 kg do ácido acetilsalicílico**

Quantidade de Água Consumida (m <sup>3</sup> /mês)			
Procedimento	Síntese Ác Salicílico	Síntese do AAS	Total
Dissolução da massa de reação	5,2	-	5,2
Decomposição do excesso do anidrido acético	-	10,3	10,3
Lavagem dos cristais 1ª parte	-	20,7	20,7
Recristalização dos cristais para purificá-los	-	51,7	51,5
Lavagem dos cristais 2ª parte	-	20,7	20,7
<b>Total</b>	<b>5,2</b>	<b>103,5</b>	<b>108,6</b>

Fonte: Próprio autor, (Frederico Venâncio, 2009), (Mendes & Maria da Gloria Buglione Peruch, 2012)

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA ESTUDADO

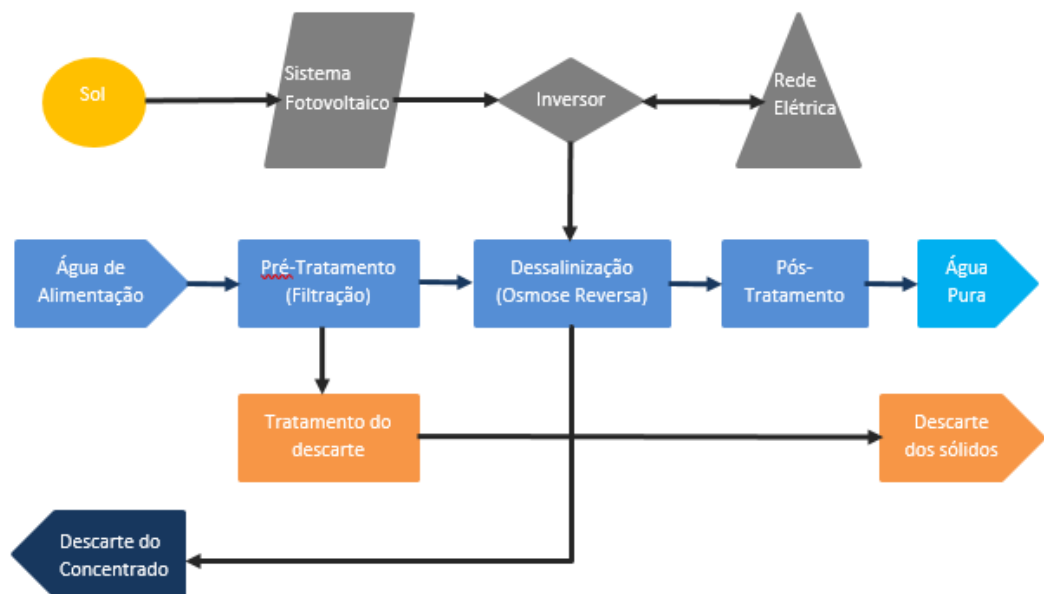
Foi considerada a premissa de dimensionar o sistema fotovoltaico para atender apenas a carga relacionada para o acionamento da bomba que eleva a pressão para a operação da osmose reversa, ao qual não são levadas em conta as energias requeridas para o pré-tratamento, pós-tratamento, transporte de água (localidade da indústria é próxima ao do ponto de coleta do mar) e nem do descarte do concentrado. A representatividade dessas operações não é relevante em relação à demanda energética do processo da osmose reversa.

O sistema não terá suporte de baterias devido ao alto investimento que ainda deve ser desembolsado para se adquirir e também pelos recursos ambientais que ele agride. Apesar dessa consideração, e mesmo o fato do sistema fotovoltaico ser derivado de uma fonte intermitente, podendo sofrer diversas inconstâncias durante o dia, a interligação da operação com a rede de distribuição de energia servirá como meio de segurança para manter a estabilidade do fornecimento energético, garantindo a qualidade da operação e da vida útil dos equipamentos.

Esse fornecimento extra será possível já que enquanto seu consumo for inferior a produção, a energia é transferida para o sistema de distribuição, ao qual o proprietário recebe créditos de utilização de energia. Porém, nos períodos de pouca ou nenhuma insolação, a rede servirá como apoio para completar a potência requerida para atender a demanda solicitada de produção.

O fluxograma de processo está ilustrado na **Figura 3.4**. Seu funcionamento inicia-se com os módulos fotovoltaicos convertendo energia solar em energia elétrica contínua, ao qual alimenta o inversor, que como o próprio nome já diz, transforma essa energia em uma corrente alternada, para que ela possa ser utilizada nos aparelhos e também ser transmitida para a rede. A eletricidade serve como fonte de energia que alimenta a bomba do sistema de dessalinização, sendo possível elevar à pressão a água de alimentação. Esse recurso hídrico é captado e transportado até o tanque de armazenamento, passando pelo sistema de pré-tratamento, que contempla a operação unitária de filtração e também da adição de agentes químicos que reduzem a quantidade de contaminantes da matéria-prima. Sua realização retém partículas sólidas que devem ser descartadas. Em seguida, ela prossegue para o dessalinizador, que realiza o processo de purificação, sendo essa a única etapa que é alimentada pelo sistema fotovoltaico.

O próprio equipamento possui um sistema de recuperação de energia, que aproveita parte da energia vinculada ao fluxo do concentrado que está a alta pressão, aumentando a eficiência da máquina. O dessalinizador possui duas saídas, sendo uma com o produto (água dessalinizada) e a segunda com o subproduto (fluido concentrado de sais), que deve ser descartada de maneira que não impacte o meio ambiente. O produto final ainda deve passar por uma etapa de pós-tratamento para que as especificações das características da água se enquadrem e ele possa ser então utilizado.



**Figura 3.4. Fluxograma do sistema estudado.**

**Fonte: Próprio autor**

### 3.3.1 PREMISSAS CONSIDERADAS

Algumas considerações foram necessárias para que fosse possível realizar as simulações desejadas, devido à falta de informação empírica e por ser um trabalho teórico. Uma delas está descrito no item anterior sendo de uma produção mensal de 2.700 kg de ácido acetilsalicílico, a qual demanda um consumo de 108,6 m<sup>3</sup> de água mensais, tendo como objetivo o dimensionamento de um sistema que atenda ao consumo total de operação da bomba de elevação da pressão do ambiente estudado, destacando o fato de não estar sendo considerada a carga das outras operações unitárias referentes ao processo e nem na parte de iluminação do local.



A simulação do estudo foi baseada em cálculos com a disposição de toda a área do telhado utilizado para as instalações das placas para o lado norte geográfico ( $\gamma = 180^\circ$ ). Além disso, considerou-se um sistema on-grid, conectado à rede elétrica da concessionária da cidade de Salvador Coelba com um sistema tarifário de classe B3.

Também foi acatada a instalação em um local sem nenhum sombreamento, sendo possível a máxima absorção da irradiação solar emitida, sofrendo apenas as perdas por eficiência das placas e por efeito Joule.

A indústria irá funcionar em duas escalas 5x2, ou seja, com operação de 16 horas diárias e 20 dias por mês, reduzindo o custo operacional, já que não irá pagar horas extras e nem adicional noturno para seus funcionários.

Os métodos utilizados para a realização dos cálculos de dimensionamento foi o do CRESESB e também de Zilles, que determina algumas etapas e premissas que devem ser seguidas para se obter os valores necessários.

### 3.3.2 DETERMINAÇÃO DO MODELO DE OSMOSE REVERSA

Utilizando como base de cálculo a purificação de 108,6 m<sup>3</sup> de água por mês, foi verificado qual o melhor modelo de processo de osmose reversa que consiga atender tecnicamente e qualitativamente às especificações e normas regulamentadas, além da preocupação com a parte financeira referente aos custos energéticos.

Alguns modelos foram utilizados para simulação do projeto, contudo, o sistema da GE E4-2200-ECN-60 apresentou o melhor cenário, em relação à situação problema. Para seu funcionamento ele é composto por uma bomba centrífuga de multi-estágio, com motor trifásico, e seu consumo de 3,0 hp, equivalente a 2,2 kW consegue purificar água com uma vazão de 0,34 m<sup>3</sup>/h, a qual, em volumes mensais (109,9 m<sup>3</sup>/mês), atende à necessidade da fabricação da quantidade adotada do ácido acetilsalicílico. Na **Figura 3.5** é possível observar a estrutura do modelo e como ele é compacto, sendo de fácil instalação e não necessita muito espaço físico do ambiente.



**Figura 3.5. Modelo de equipamento de dessalinização de água da GE.**

**Fonte: GE**

Esse equipamento possui um pré-filtro de 1- $\mu$  que já retém alguns sais nessa primeira etapa, além de ter um sistema de pré-tratamento de troca de íons. Suas condições operacionais são de um intervalo entre 13-30°C, com uma pressão de 15 bar, podendo retirar até 98% dos sais dissolvidos na água. Maiores detalhes sobre seu funcionamento estão detalhados no **Anexo A**.

Outros modelos que foram verificados para a simulação do estudo estão apresentados na **Tabela 3.3**.

Tabela 3.3. Modelos de equipamentos de dessalinização de água.

Fornecedor	Modelo	Vazão Permeado [m³/h]	Vazão Concentrado [m³/h]	Motor [hp]	Temp Operação [°C]	Pressão Operação [psi]
GE	E4-2200-ECN-60	0,34	0,11	3	25	220
	E4-LE-4400-ECN-60	0,68	0,23	3	25	115
	E4-6600-ECN-60	1,02	0,34	3	25	220
	E4-8800-ECN-60	1,36	0,45	3	25	220
	E4-11000-ECN-60	1,70	0,57	5	25	115
	E4H-16K-ECN-30/60	2,54	0,77	7,5	25	230
	E4H-21K-ECN-30/60	3,41	1,14	7,5	25	230
	E4H-27K-ECN-30/60	4,27	1,43	10	25	230
	E4H-38K-ECN230/60	5,95	2,00	15	25	230

Fonte: GE

### 3.3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A mensuração da irradiação solar do local pode ser identificada a partir de medições reais, utilizando um piranômetro, que consegue obter valores em diversos intervalos de tempo, mas também é possível estimar os valores a partir de conceitos teóricos, na qual é necessário seguir um fluxo de etapas até se alcançar o parâmetro desejado.

Inicia-se essa simulação através da coleta dos dados solarimétricos histórico, tendo como fonte de dados o Atlas Solarimétrico e também o programa SunData do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB). Contudo, considerando a implantação do sistema na cidade de Salvador (BA), situado nas seguintes coordenadas: latitude  $\Phi = -13,00^\circ$  (S), longitude  $L = 38,51^\circ$  (O) e longitude hora legal =  $45^\circ$  (O), os valores para a irradiação extraterrestre diária média mensal,  $\bar{H}_o$ , estão detalhadas na **Tabela 3.4** e também graficamente na **Figura 3.6**.

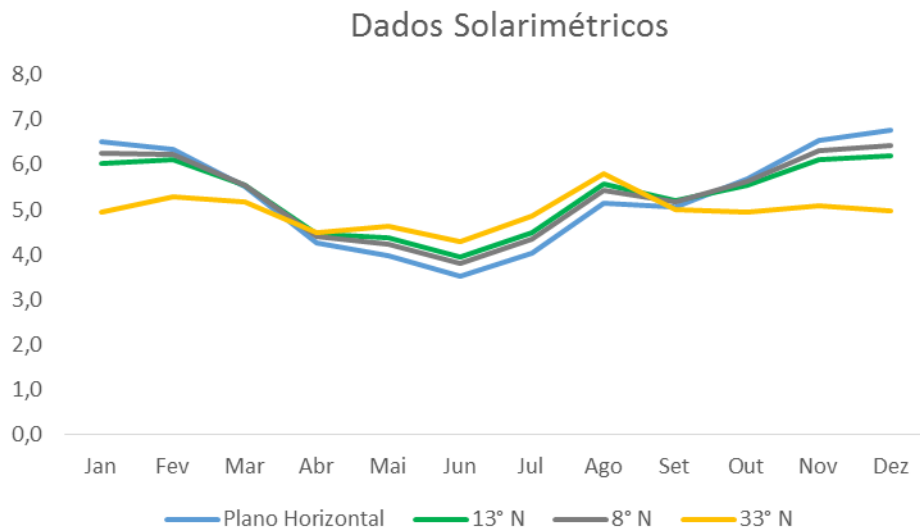
Os dados do CRESESB foram coletados para o plano horizontal e calculados para três pontos inclinados. A escolha do melhor ângulo de inclinação depende do seu objetivo em relação à solução problema, e como nesse caso o perfil de consumo de energia elétrica será constante ao longo do ano, procurou-se instalar os equipamentos de maneira que as radiações absorvidas sejam, em média, as maiores possíveis. No entanto, como é recomendado que os painéis possuíssem inclinação superior à  $10^\circ$  para que a sujeira possa ser retirada com o próprio efeito da natureza (chuva e vento), e a melhor opção para esse sistema seria com a inclinação

de 8°, foi utilizado à inclinação de 13°, já que a diferença de irradiação entre os dois cenários não é relevante.

**Tabela 3.4. Dados de irradiação solar diária média mensal da cidade de Salvador.**

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	6,50	6,33	5,50	4,25	3,97	3,53	4,03	5,14	5,06	5,67	6,53	6,75	5,27
Ângulo igual à latitude	13° N	6,03	6,09	5,53	4,46	4,36	3,94	4,49	5,56	5,18	5,53	6,11	6,19	5,29
Maior média anual	8° N	6,24	6,21	5,54	4,40	4,23	3,80	4,33	5,42	5,16	5,61	6,30	6,43	5,31
Maior mínimo mensal	33° N	4,95	5,29	5,17	4,48	4,63	4,28	4,86	5,78	4,99	4,94	5,09	4,98	4,95

Fonte: (SunData, 2016)



**Figura 3.6. Dados da irradiação solar diária média mensal da cidade de Salvador.**

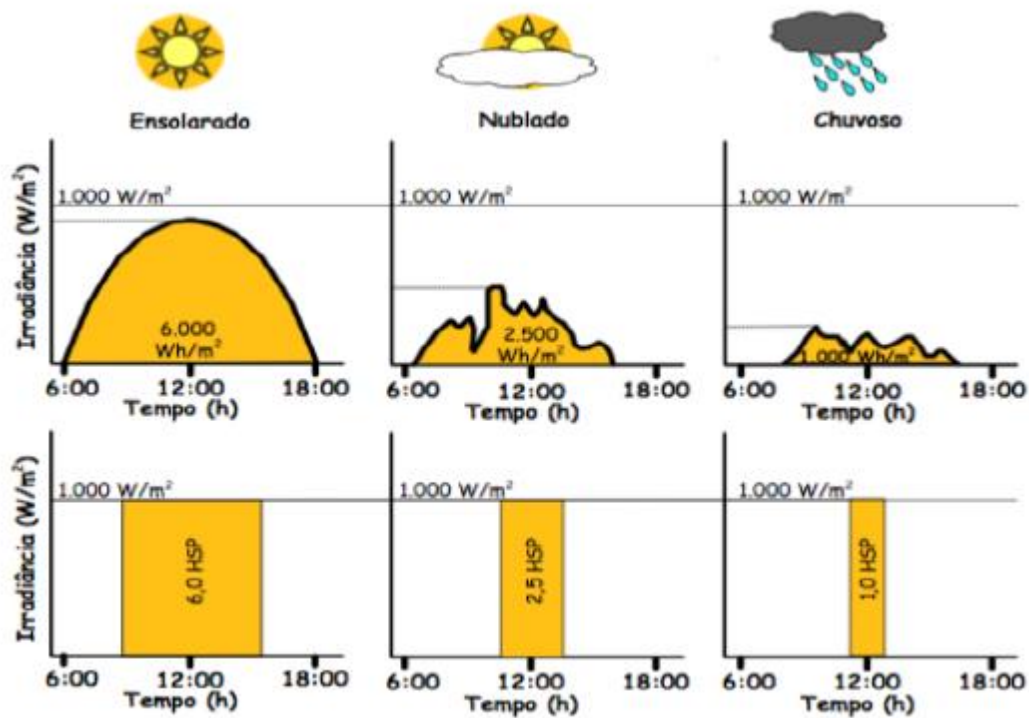
Fonte: (SunData, 2016)

Segundo o método do CRESESB, é fundamental conhecer o parâmetro HSP (horas de sol pleno), pois ela representa, quantitativamente, o tempo que o local apresenta uma irradiância solar igual e constante a 1.000 W/m<sup>2</sup>. Dessa forma, a energia resultante é equivalente à energia disponibilizada pelo Sol, acumulada diariamente. Esse valor é importante, ao passo que apesar de a eficiência de sistemas fotovoltaicos ser influenciada tanto pela irradiação quanto pela temperatura do sistema, o primeiro fator é muito mais relevante e sua variação é muito mais sensível para os valores operacionais do processo, principalmente em dias nublados. Esse valor pode ser contabilizado a partir da **Equação 9**.

$$HSP = \frac{\overline{H_T}}{1} \quad (9)$$

Onde:  $H_T$  [kWh/m<sup>2</sup>.dia] é a energia solar incidente no plano do painel FV, média diária anual.

O fenômeno da variação da quantidade de irradiação emitida em diferentes cenários está demonstrado na **Figura 3.7**.



**Figura 3.7. Conceito de HSP.**

Fonte: CRESESB

Desta forma, utilizando a média mensal com uma inclinação igual à latitude (13°), atingiu-se valor de HSP de 5,29 h/dia.

A temperatura de operação da célula do painel fotovoltaico ( $T_c$ ) é outra variável importante a ser calculada. Ela pode ser estimada através da **Equação 10**.

$$T_c = T_a + \frac{G_T}{800} [T_{NOC} - 20] * 0,9 \quad (10)$$

Onde,  $T_a$  [°C] é a temperatura ambiente local máxima média mensal,  $T_{NOC}$  [°C] é a temperatura nominal de operação da célula e  $G_T$  [W/m²] a radiação solar média no plano da célula.

Diferentes fornecedores de painéis fotovoltaicos foram empregados, todavia o modelo CS6K-280M da Canadian Solar é factível para esse projeto. Seus dados operacionais foram fornecidos no catálogo ilustrado no **Anexo B**.

O cálculo foi realizado a temperatura máxima de acordo com o Climate Data, que foi de  $T_{a \max} = 30,4$  °C. Para a radiação solar média de  $G_T = 1.000$  W/m² tem-se.

$$T_c = 30,4 \text{ [}^{\circ}\text{C]} + \frac{1000 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]}{800 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]} [43 - 20] \text{ [}^{\circ}\text{C]} * 0,9$$

$$T_c = 56,28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Assim sendo, coletando os dados tabelados do sistema fotovoltaico escolhido foi possível se estimar a potência individual de cada painel fotovoltaico ( $P_{MP}$ ) seguindo a **Equação 11**.

$$P_{MP} = P_{MP}^o * \frac{G_T}{G_{ref}} * [1 + \gamma_{mp} * (T_c - T_{cref})] \quad (11)$$

Onde  $P_{MP}^o$  [W] é a potência nominal do painel,  $G_{ref}$  [W/m²] é a radiação solar nas condições STC,  $\gamma_{mp}$  [°C<sup>-1</sup>] é o coeficiente de temperatura para potência máxima,  $T_{cref}$  [°C] é a temperatura da célula nas condições STC.

$$P_{MP} = 280 \text{ [W]} * \frac{1000 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]}{1000 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]} * [1 - 0,0041 \text{ [}^{\circ}\text{C}^{-1}] * (56,28 - 25)] \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$P_{MP} = 244,10 \text{ W}$$

Finalmente, com todos esses parâmetros calculados, utiliza-se a **Equação 12** para dimensionar a quantidade de painéis (N) necessária para se produzir a quantidade energética demandada pela bomba. A Taxa de Desempenho avalia a geração de energia elétrica de um sistema levando em consideração as condições de operação e todas as perdas envolvidas, como perda por queda de tensão, descasamento, mismatch, dentre outros. Para locais bem ventilados e sem sombreamento, recomenda-se utilizar uma Taxa de Desempenho (TD) entre 70% e 80% nas condições de radiação solar encontradas no Brasil. Normalmente, também se considera eficiência do seguidor de ponto de máxima potência ( $\eta_{spmp}$ ) sendo de 95%.

$$N = \frac{E_{GFV}}{\eta_{SPMP} * P_{MP} * HSP * TD} \quad (12)$$

Onde  $E_{GFV}$  [kWh/dia] é a energia diária a ser fornecida pelo gerador fotovoltaico.

A energia diária foi estimada em conformidade com a definição do modelo do conjunto de dessalinização, na qual para atender à solicitação de 2.700 kg de ácido acetilsalicílico, a bomba de elevação de pressão deveria iria consumir 35,76 kWh/dia. No entanto, como o inversor apresenta perdas ao transformar a corrente contínua em paralelo, aplicou-se a sua eficiência para verificar a quantidade de energia que deve ser produzida para que a demanda fosse atingida, através da **Equação 13**.

$$E_{GFV} = \frac{E_{rede}}{\eta_{inv}} \quad (13)$$

Onde  $E_{rede}$  [kWh/dia] é a energia que será injetada na rede ou consumida pelo equipamento e  $\eta_{inv}$  é a eficiência do inversor.

$$E_{GFV} = \frac{35,76 [kWh/dia]}{0,95}$$

$$E_{GFV} = 37,64 \text{ kWh/dia}$$

$$N = \frac{37,64 \left[ \frac{kWh}{dia} \right]}{0,95 * 244,10 [W] * 5,29 \left[ \frac{h}{dia} \right] * 0,75}$$

### **N = 41 painéis**

Finalmente, com a obtenção de todas essas variáveis, a escolha do inversor é um requisito fundamental para a mensuração do sistema fotovoltaico, ao passo que, os painéis convertem a energia solar em energia elétrica contínua, sendo que a maioria dos equipamentos elétricos e a rede de distribuição de energia elétrica utilizam energia elétrica alternada, além de possuir características específicas para atender às especificações das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade da energia injetada na rede. Deve-se verificar a otimização da configuração do projeto, analisando a compatibilidade dos dados da energia elétrica convertida pelos painéis com as características de entrada e saída do inversor selecionado.

De acordo com o método de Zilles, a escolha do inversor mais apropriado é composta pela verificação de alguns critérios, para que o inversor seja dimensionado a não trabalhar por muito tempo em potências demasiadamente abaixo da nominal nem seja sobrecarregado.

Para tal o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI), **Equação 14**, correlaciona a potência nominal do inversor e a potência nominal do gerador fotovoltaico. Estudos de literatura mostram que os valores recomendados pelos fabricantes estão entre 0,7 a 0,9.

$$FDI = \frac{P_{inv}^o}{P_{MP}^o} \quad (14)$$

Onde  $P_{MP}^o$  [W] é a potência nominal do gerador fotovoltaico e  $P_{inv}^o$  [W] é a potência nominal do inversor.

A potência nominal do gerador fotovoltaico está apresentada na **Equação 15**, na qual ela é calculada através da multiplicação da quantidade de painéis do sistema com a potência nominal do painel fotovoltaico nas condições STC ( $P_{MP}^o$ ).

$$P_{GFV}^o = N * P_{MP}^o \quad (15)$$

Alguns tipos de inversores foram considerados no processo, contudo, o Primo 8.2-1 da Fronius decorreu como a opção mais adequada. Seus dados operacionais estão apresentados no catálogo que estão descritos no **Anexo C**.



$$FDI = \frac{8200 [W]}{11480 [W]}$$

$$\mathbf{FDI = 0,71}$$

Conforme mencionado anteriormente, as variáveis operacionais do sistema fotovoltaico são dependentes tanto da temperatura quanto da irradiação solar. A corrente produzida é mais sensível à irradiação do que em relação à temperatura, ao passo que, a tensão e, consequentemente a potência gerada, sofrem uma variação significativa com o aumento da temperatura.

No decorrer do dia, as condições climáticas podem variar em curtos intervalos de tempo, como por exemplo, uma passagem de nuvem sobre o sol, provocando distorções na curva do gerador fotovoltaico. Assim sendo, a utilização de um inversor com o seguimento do ponto de potência máxima (SPPM) é de extrema importância já que esse componente eletrônico analisa, constantemente, o perfil da curva característica I-V e atua sobre a eletrônica do inversor c.c-c.c., afim de manter o gerador fotovoltaico operando no ponto ótimo, ou seja, na tensão de máxima potência.

Para se determinar essas condições operacionais, um desses passos é a verificação do número de painéis em série ( $N_{série}$ ) adequado para que tenha segurança na disposição e operação das mesmas. Como a dependência da temperatura sob a tensão é relevante, foi-se necessário quantificar as tensões de circuito aberto ( $V_{OC}$ ) nas condições extremas de inverno e verão, para se obter um intervalo contingente. Por meio da **Equação 16** e **Equação 17**, foi possível determinar essa faixa de utilização do sistema para o modelo escolhido com o auxílio dos dados fornecidos pelo datasheet do modelo do inversor.

$$V_{OC} = V_{OC}^o * [1 + \gamma_{OC} * (T_c - T_c^o)] \quad (16)$$

$$V_{GFV} = N_{série} * V_{OC} \quad (17)$$

Onde  $V_{OC}^o$  [V] é a tensão do circuito aberto nominal,  $\gamma_{OC}$  [°C<sup>-1</sup>] é o coeficiente de temperatura para tensão de circuito aberto e  $V_{GFV}$  [V] é a tensão do gerador fotovoltaico.

Os cenários referidos estão vinculados às condições mais adversas, sendo possível prescrever a lacuna disponível para designar os painéis de maneira mais perfeita. Para tal fim, aplicaram-se os dados de maior e menor magnitude de temperatura e de irradiação solar.

### **Cenário 1 – Condição de voltagem superior**

$$T_{Cmin} = 20,4 [^{\circ}C] + \frac{0 \left[ \frac{W}{m^2} \right]}{800 \left[ \frac{W}{m^2} \right]} * (45 - 20) [^{\circ}C] * 0,9$$

$$\mathbf{T_{Cmin} = 20,40^{\circ}C}$$

$$V_{OCmax} = 38,5 [V] * [1 - 0,0031 [^{\circ}C^{-1}] * (20,4 - 25) [^{\circ}C]]$$

$$\mathbf{V_{OCmax} = 39,05 V}$$

$$N_{série\ max} * 39,05 [V] < 800 [V]$$

$$\mathbf{N_{série\ max} < 20,49\ painéis}$$

### **Cenário 2 – Condição de voltagem inferior**

$$T_{Cmax} = 30,4 [^{\circ}C] + \frac{1000 \left[ \frac{W}{m^2} \right]}{800 \left[ \frac{W}{m^2} \right]} * (45 - 20) [^{\circ}C] * 0,9$$

$$\mathbf{T_{Cmax} = 56,28^{\circ}C}$$

$$V_{OCmin} = 38,5 [V] * [1 - 0,0031 [^{\circ}C^{-1}] * (56,3 - 25) [^{\circ}C]]$$

$$\mathbf{V_{OCmin} = 34,77 V}$$

$$N_{série\ min} * 34,77 [V] > 270 [V]$$

$$\mathbf{N_{série\ min} > 7,77\ painéis}$$

No período de verão, as temperaturas das células, principalmente na região Nordeste brasileiro, se elevam, reduzindo assim a tensão c.c. do sistema. Esse limite mínimo imposto serve de segurança para garantir a eficiência e não provocar a desconexão do sistema.

Outra condição que deve ser examinada é a corrente máxima de entrada c.c., certificando-se que esse valor não seja ultrapassado e não corrompa o inversor. Para aferir esse passo, calculou-se o número de conjuntos em paralelo por string ( $N_{//}$ ), onde para isso foi-se estimado sob a tensão de curto-circuito ( $I_{SC}$ ), ou seja, a mais intensa, aplicando o valor máximo de temperatura. As **Equação 18** e **Equação 19** foram utilizadas para determinar essa condição.

$$I_{SC} = I_{SC}^o * [1 + \gamma_{SC} * (T_c - T_c^o)] \quad (18)$$

$$N_{//} = \frac{I_{MPP}}{I_{SC}} \quad (19)$$

Onde  $I_{SC}$  [A] é a corrente de curto circuito nominal,  $\gamma_{sc}$  [ $^{\circ}C^{-1}$ ] é o coeficiente de temperatura para corrente de curto-circuito, e  $I_{MPP}$  [A] a corrente do conjunto curto-circuito de entrada do inversor.

$$I_{SCmax} = 9,43 [A] * [1 - 0,0053 [^{\circ}C^{-1}] * (56,3 - 25) [^{\circ}C]]$$

$$I_{SCmax} = 9,59 A$$

$$N_{//} * 9,59 [A] < 18 [A]$$

$$N_{//} < 1,88 \text{ conjunto por string}$$

Com as condições operacionais do sistema calculados, foi possível selecionar a melhor configuração e triagem dos equipamentos procurando alcançar as circunstâncias em que a sua operação fosse a mais estável possível, garantindo segurança e durabilidade dos materiais. Os dados operacionais e o layout do sistema foram desenvolvidos e detalhados na **Tabela 3.5** e na **Figura 3.8**.

Tabela 3.5. Configuração de conexão dos equipamentos do sistema.

Configuração de Conexão	
<b>String A</b>	1 conjunto // de 11 painéis em série; $P = 2.685 \text{ W}_p$
<b>String B</b>	1 conjunto // de 10 painéis em série; $P = 2.441 \text{ W}_p$
<b>String C</b>	1 conjunto // de 10 painéis em série; $P = 2.441 \text{ W}_p$
<b>String D</b>	1 conjunto // de 10 painéis em série; $P = 2.441 \text{ W}_p$
<b>Total 41 PFV; <math>P = 10.008 \text{ W}_p</math> (FDI = 0,71); <math>I_{MPTotal} = 34,32 \text{ A}</math></b>	

Fonte: Próprio Autor

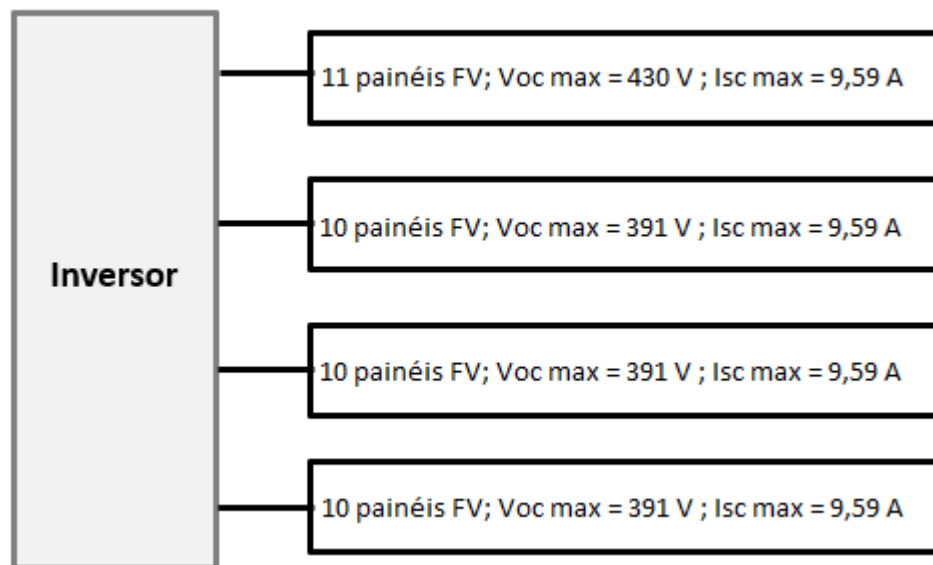


Figura 3.8. Esquema de conexões Painéis FV e Inversor.

Fonte: Próprio autor.

Conforme demonstrado na **Tabela 3.6**, todos os requisitos do aparelho foram respeitados, apresentando uma grande margem de segurança em sua operação.

Tabela 3.6. Verificação dos requisitos operacionais de conexão.

Condições e Requisitos Operacionais				
Parâmetro	Mínimo	Calculado	Máximo	Situação
<b>FDI</b>	0,6	< 0,71 <	0,9	Aprovado
<b>Tensão Mín [V]</b>	270	< 348 <	800	Aprovado
<b>Tensão Máx [V]</b>	270	< 430 <	800	Aprovado
<b>Corrente [A]</b>	0	< 9,59 <	18	Aprovado
<b>Painéis em Série</b>	7,77	< 11 <	20,49	Aprovado

Fonte: Próprio autor.

### 3.4 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA

Com o constante avanço tecnológico, os sistemas dessalinizadores alimentados por energia fotovoltaica estão sendo aprimorados e conseguindo atingir elevados graus de pureza com diversos níveis de concentração de contaminantes da água de alimentação. No entanto, para que a implementação prática possa acontecer, a viabilidade econômica deve também ser admitida. Ela é diretamente relacionada com as questões sociais e políticas do local, que determinam as normas referentes às taxas de emissão de carbono e também nos incentivos para a utilização de energia renovável.

#### 3.4.1 TAXA DE RETORNO

A taxa de retorno é o custo de capital utilizado nas análises de investimentos. Ela indica o nível mínimo de atratividade do investimento, ou seja, o retorno esperado por todos os stakeholders por estar optando por essa aplicação. Na questão problema, considerou-se que a empresa será financiada parte por capital próprio, que exigirá uma rentabilidade maior do que a obtida numa aplicação de risco padrão, e parte por capital de terceiros, que nesse caso será o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES).

Um dos meios de obter esse valor é através da aplicação do modelo de custo médio ponderado de capital (WACC) que é largamente utilizado pelo mundo inteiro. Ela é determinada pela média ponderada do valor econômico da estrutura de capital próprio e de terceiros, conforme **Equação 20**.

$$WACC = \left[ k_e * \frac{E}{D + E} \right] + \left[ k_d * \frac{D}{D + E} \right] \quad (20)$$

Onde  $k_e$  é o custo do equity (parte dos acionistas),  $E$  é a quantidade de equity (volume de capital dos investidores privados),  $D$  é a quantidade de dívida (crédito obtido) e  $k_d$  é o custo do crédito após impostos.

Simulando um custo real de financiamento de uma empresa o princípio do custo real de financiamento de uma empresa estimado através dos preços de mercado de títulos de dívida privada. Consultando o BNDES verificou-se uma opção de investimento para projetos de investimentos de empresas. Esse financiamento possui uma taxa de juros composta pelo custo

financeiro, que é a Taxa de Juros de Longo Prazo – TJLP (7,0% a.a.) somado com a taxa do BNDES (2,1% a.a.) e complementado com a taxa do agente financeiro (2,5% a.a. de spread), totalizando em um custo do crédito após os impostos de 11,60 % ao ano.

Na estimativa do custo do capital próprio é utilizado o modelo Capital Asset Pricing Model (CAPM), pois nele é ajustado ao risco e leva em conta a inflação esperada. Através de pesquisas do mercado farmacêutico (Investimentos, 2014), foi possível calcular esse parâmetro através da **Equação 21** demonstra as variáveis que compõe esse modelo.

$$k_e = R_f + [E(R_m) - R_f] * \beta + r_p \quad (21)$$

Onde  $R_f$  é a taxa livre de risco,  $E(R_m)$  é o retorno esperado do mercado,  $[E(R_m) - R_f]$  é o prêmio pelo risco de mercado,  $\beta$  o coeficiente de risco sistemático e  $r_p$  é o risco do país.

$$k_e = 5,3\% + [9,5\% - 5,3\%] * 0,77 + 2,2\%$$

$$k_e = 10,73\%$$

Por fim, utilizando uma proporção de capital da empresa financiado pelos acionistas e por terceiros de 1/1, foi possível obter a taxa de desconto esperada para esse investimento.

$$WACC = \left[ 10,7\% * \frac{1}{1+1} \right] + \left[ 11,6\% * \frac{1}{1+1} \right]$$

$$r = WACC = 11,17\%$$

A Junta Executiva da UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change aprovou uma guia revisada para taxas de retorno, com o intuito de disponibilizar valores de benchmark, de diversos ramos e países, para a realização de análises de projetos de investimentos. Selecionando o setor de indústria químico brasileiro, o valor médio proposto foi de 11,65% ao ano, em termos reais para o custo do capital próprio. (UNFCCC, 2015)

### 3.4.2 CUSTOS DE INVESTIMENTOS E OPERACIONAIS

A cotação do dólar utilizada foi a de R\$ 3,094/US\$ (Reuters, 2017), adotada através de pesquisas de mercado, para que fosse possível a realização desse estudo financeiro.

Os custos de uma planta de dessalinização acoplada com energia fotovoltaica são divididos em dois grupos principais, CAPEX (investimento) e OPEX (operação e manutenção). Dentro dessas duas divisões, há diversos fatores que constituem essas estruturas.

No primeiro conjunto de CAPEX, os principais gastos são relacionados à compra do conjunto de dessalinização de água, além dos custos com a construção e da preparação dos sistemas de pré-tratamento, pós-tratamento e de descarte do fluido concentrado, e também com a compra dos equipamentos da estrutura do sistema de energia fotovoltaica, assim como a mão-de-obra das construções e manutenções, entre outros gastos auxiliares (equipamentos eletrônicos, cabeamento e a estrutura de suporte).

Na aquisição do equipamento de dessalinização, mesmo ele sendo um produto internacional, não foi necessário impor taxa de importação sobre o seu custo total, pois a Câmara de Comércio Exterior (Camex) decidiu zerar os impostos de importação para máquinas e equipamentos industriais no Brasil. O montante desembolsado para esses investimentos foi detalhado na **Tabela 3.7**.

Outro ponto a ser destacado é sobre a possível participação do governo em incentivar o uso dessas tecnologias, havendo a possibilidade de subsidiar parte do investimento, alterando assim os preços apontados. Ademais, os preços dos equipamentos foram obtidos através de pesquisas de mercado representando o valor unitário dos mesmos, podendo haver uma variação dependendo da quantidade da aquisição.

De acordo com referências acadêmicas, estimaram-se os valores de mão-de-obra para instalação do equipamento de dessalinização, e de seus sistemas auxiliares, além do projeto de energia fotovoltaica, pois as suas exatas quantificações dependem da infraestrutura do local e de outras particularidades específicas.

A capacidade da planta afeta no tamanho das unidades de tratamento, encanamento, tanque de armazenamento e na distribuição de água. A proximidade com a fonte da água de

alimentação e a destinação do concentrado também são outros pontos a serem considerados nos custos.

**Tabela 3.7. Resumo dos custos de investimento dos sistemas de osmose reversa e fotovoltaico.**

Investimentos Inicial – CAPEX				
Equipamento	Modelo	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
Dessalinizador	E4-2200-ECN-60	1	US\$ 5.870	R\$ 18.161
Painel Fotovoltaico	CS6K – 280	41	R\$ 790	R\$ 32.390
Inversor	Primo 8.2-1	1	R\$ 13.790	R\$ 13.790
Subtotal Investimentos		43	R\$ 20.450	R\$ 64.341
Reforma	Representatividade			Preço Total
Sistema de Pré-Tratamento	10% do dessalinizador			R\$ 1.816
Sistema de Pós-Tratamento e Descarte	5% do dessalinizador			R\$ 908
Instalação e Infraestrutura	30% do dessalinizador			R\$ 5.448
Instalação e Acessórios do Sistema FV	US\$ 1,78* por $W_p$			R\$ 8.936
Subtotal Custos Adicionais				R\$ 17.109
Total				R\$ 81.451

Fonte: Próprio autor, (Neosolar, 2017), (GE, 2017), (Amy M. Bilton, 2011), (David Feldman, 2015)

\*Observação: no caso do custo de instalação do sistema fotovoltaico, os estudos apontaram um valor médio para a aquisição total do projeto fotovoltaico obtendo um custo médio de US\$ 1,78 /  $W_p$ . No entanto, como os valores dos painéis e dos inversores já foram contabilizados, esses gastos foram descontados dessa parcela do investimento, totalizando em um gasto médio de R\$ 8.936,97 para a etapa de instalação e dos componentes auxiliares do sistema fotovoltaico.

Já os custos de operação da planta (OPEX) são subdivididos em dois grupos auxiliares, fixo e variável, na qual o primeiro subgrupo é dedicado à depreciação e amortização, enquanto que os custos variáveis são compostos pelo custo de mão-de-obra, consumíveis e peças de reposição.

As taxas de depreciação foram determinadas através das informações dos próprios fornecedores, em relação à vida útil de seus aparelhos.

O pré-tratamento da água de alimentação é um fator operacional crítico, dado que as membranas são sensíveis ao *fouling*. Como essa etapa normalmente inclui a filtração e a adição



de substâncias químicas, essas operações devem ser contabilizadas para a análise de viabilidade econômica. O pós-tratamento consiste na esterilização, estabilização e na adição de minerais no produto. Através de estimativas baseadas em outros estudos foi possível obter os custos médios utilizados nas etapas de mão-de-obra de operação e manutenção dos sistemas, dos agentes químicos utilizados e da quantidade de substituição dos cartuchos e membranas, sendo elas demonstradas na **Tabela 3.8**.

Os custos operacionais da energia fotovoltaica são bem inferiores ao do processo de dessalinização, já que sua manutenção se resume basicamente na limpeza das poeiras depositados nos painéis, caso não ocorra nenhuma externalidade negativa. A substituição dos componentes eletrônicos do sistema também foi obtida conforme estudos, e estão apontados na **Tabela 3.8**.

**Tabela 3.8. Resumo dos custos variáveis operacionais do sistema em estudo.**

<b>Custo Operacional e de Manutenção – OPEX</b>			
<b>Sistema</b>	<b>Depreciação</b>	<b>Taxa de Depreciação</b>	<b>Valor</b>
<b>Dessanilizador</b>	20 anos	5%	R\$ 1.316,73
<b>Fotovoltaico</b>	20 anos	5%	R\$ 2.066,35
<b>Inversor</b>	10 anos	10%	R\$ 1.379,00
<b>Subtotal Custo de Depreciação</b>			<b>R\$ 4.762,08</b>
<b>Retrofit</b>	<b>Frequência</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Preço Anual</b>
<b>Mão-de-obra</b>	261 dias	US\$ 3,00/ m <sup>3</sup> .dia	R\$ 13.204,14
<b>Agentes Químicos</b>	261 dias	US\$ 0,033/ m <sup>3</sup>	R\$ 145,25
<b>Membranas</b>	40% anual	10% dessalinizador	R\$ 726,47
<b>Bombas</b>	10% anual	4% dessalinizador	R\$ 68,11
<b>Motor</b>	10% anual	4% dessalinizador	R\$ 68,11
<b>Sistema FV</b>	10% anual	US\$ 0,72/ Wp	R\$ 2.012,51
<b>Subtotal Custos Operacionais</b>			<b>R\$ 16.224,58</b>
<b>Total</b>			<b>R\$ 20.986,66</b>

Fonte: Próprio autor, (Neosolar, 2017), (GE, 2017), (Amy M. Bilton, 2011), (David Feldman, 2015)

Um fator que o sistema é bastante sensível, participando diretamente na questão financeira, é a qualidade da água de alimentação, pois ela influencia na quantidade de troca de membranas e de manutenção que serão realizadas, para evitar os efeitos de incrustações e de acúmulo de depósito de material inorgânico que a água salgada provoca nas membranas. Destacando novamente o fato de esses valores serem obtidos através de estudos realizados em

regiões com características ambientais diferentes do projeto em si, podendo haver distorções de acordo com a localidade da instalação da operação.

O custo específico de produção de água pura pode ser calculado a partir da **Equação 22**. Ela demonstra o custo total investido para se obter o produto desejado.

$$\text{Custo de Produção de Água Pura} = \frac{CAPEX + n * OPEX}{\text{Produção no período } n} \quad (22)$$

Onde n [anos] é o período adotado que o sistema irá funcionar.

$$\text{Custo de Produção de Água Pura} = \frac{R\$81.451 + 20 * R\$20.986}{26.1941 [m^3]}$$

$$\text{Custo de Produção de Água Pura} = R\$19,16 / m^3$$

É possível verificar que esse processo é 7,0% mais econômico do que utilizar a água da própria rede de abastecimento da região. Na **Tabela 3.9** algumas plantas de dessalinização alimentadas por energia fotovoltaica foram apontadas, assim como seus custos específicos de produção da água. Todos eles apresentaram custos de produção superior à do sistema estudado.

**Tabela 3.9.** Custo de produção de água nas usinas de dessalinização acoplada por energia FV.

Localização	Capacidade [m³/dia]	Custo de Água
Magan, Israel	3,00	R\$ 35,89/m³
Heelafar Rahab, Omã	5,00	R\$ 19,34/m³
Solar Flow, Austrália	0,40	R\$ 34,03/m³
Hassi-Kheba - Algeria	0,95	R\$ 30,94/m³
Coite-Pedreias, Brasil	0,25	R\$ 46,10/m³

Fonte: (Ali Al-Karaghoul, 2009)

### 3.4.3 ANÁLISE DE RETORNO DO INVESTIMENTO

A viabilidade econômica da implementação do projeto foi realizada analisando dois cenários distintos além da comparação com o cenário base (modelo atual da empresa), o primeiro com a renda baseada na economia dos gastos de energia elétrica e de água utilizada no processo e o segundo através da renda da venda do ácido acetilsalicílico.

Em todas as simulações foram adotadas algumas premissas para a realização dos cálculos. Empregando-se o financiamento do BNDES, foi calculada uma taxa de retorno de investimento de 11,17%, conforme já explicado anteriormente. Alguns tributos federais também foram utilizados para o abatimento das receitas da simulação de viabilidade econômica, sendo os principais deles apontados na **Tabela 3.10**. Utilizou-se o método de análise do ciclo do custo anual.

**Tabela 3.10. Tributos Federais utilizados no estudo financeiro**

<b>Tributos Federais</b>	
<b>Impostos de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ)</b>	10,00%
<b>Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL)</b>	9,00%
<b>Pis + Confins</b>	3,65%
<b>Total</b>	<b>22,65%</b>

Fonte: (Sebrae, 2017)

A quantidade de dias trabalhados também segue a mesma regra adotada no item de produção de água, sendo de 240 dias úteis anuais (segundo a escala de trabalho 5 x 2). Outrossim, foi a aplicação da inflação média histórica analisada entre um período de quatro anos (entre 2014 até 2017), chegando a um valor médio de 6,98%, sendo utilizado no aumento anual dos custos operacionais, tanto os fixos quanto os variáveis.

### **Cenário 1 – Economia nos Gastos de Energia e Água**

A receita bruta dessa simulação é referente à economia dos gastos de energia elétrica e consumo de água para a produção do fármaco. É importante salientar que esses valores são exclusivos do processo em estudo, não sendo considerados os consumos desses recursos nos outros procedimentos. Por conseguinte, foram aplicados os preços mais atualizados das tarifas das empresas responsáveis pelo fornecimento dos mesmos na cidade de Salvador. A concessionária que distribui a energia elétrica para a região é a Coelba e para a realização do estudo, considerou-se a tarifa fornecida para o Grupo B3 Industrial, sem a aplicação do ajuste do sinal tarifário (bandeira verde). Já para o caso do abastecimento da água, a empresa responsável por essa atividade é a Embasa, a qual foi selecionada a tarifa da realização do serviço para a classe Industrial com consumo superior a 50 m<sup>3</sup>. Os valores foram resumidos na **Tabela 3.11**.

Tabela 3.11. Resumo dos preços tarifários utilizados no estudo.

Sistema de Distribuição de Energia		Sistema de Abastecimento de Água	
Concessionária	Coelba	Empresa	Embasa
Tipo de Tarifa	B3 - Industrial	Classe	V > 50 m³ - Industrial
Preço da Tarifa	R\$ 0,521152/kWh	Preço da Tarifa	R\$ 20,60/ m³
Aumento da Tarifa	9,70% a.a.	Aumento da Tarifa	9,60% a.a.

Fonte: (Coelba, 2017), (Embasa, 2017)

O fluxo de caixa é composto por alguns fatores. A renda bruta, acrescida pelo reajuste anual, e abatida dos tributos já informados anteriormente. No entanto, o imposto dessas receitas não contempla a parcela de depreciação dos investimentos iniciais (que também sofrem variação da inflação). Sendo assim, com a receita líquida, subtraem-se os custos operacionais, também acrescidas do reajuste anual, para se calcular o fluxo de caixa do estudo. Foram utilizadas as **Equações 23 até a 27** e seus resultados foram resumidos na **Tabela 3.12**.

$$Renda\ Bruta = Tarifa * Recurso\ Produzido * Dias\ Trabalhados \quad (23)$$

$$Lucro\ Antes\ do\ IR = Renda\ Bruta - Depreciação \quad (24)$$

$$Imposto = Lucro\ Antes\ do\ IR * Tributos \quad (25)$$

$$Lucro\ Líquido = Lucro\ Antes\ do\ IR - Imposto \quad (26)$$

$$Fluxo\ de\ Caixa = Lucro\ Líquido - Custo\ Operacional + Depreciação \quad (27)$$

Como já foi mencionada, a renda bruta contempla duas entradas de monetário, a primeira derivada do capital de economia da energia elétrica e a segunda pelo capital de economia de água. Portanto, essas duas frentes foram determinadas com os valores de produção calculados nos itens anteriores, de  $E_{GFV} = 752,84$  kWh/mês e  $V_{água} = 109,01$  m³/mês, e com as tarifas mencionadas acima. Um aumento anual tarifário também foi aplicado, de acordo com a média histórica anual desse acréscimo nos últimos quatro anos (entre 2014 – 2017).

Os tributos utilizados foram à soma dos valores apontados na **Tabela 3.10**, totalizando em uma taxa total de 22,7%.

No decorrer dos anos, a inflação média histórica foi inserida tanto no cálculo da depreciação quanto dos custos operacionais.

**Tabela 3.12. Fluxos e fatores atribuídos para a formação do fluxo de caixa do cenário 1.**

Ano	Capital de Energia	Capital de Água	Depreciação	Lucro Antes do IR	Imposto	Lucro Líquido	Custo Operacional	Fluxo de Caixa
0	R\$4.708	R\$26.947	R\$4.762	R\$26.893	R\$6.091	R\$20.802	R\$20.987	R\$4.577
1	R\$5.165	R\$29.526	R\$5.095	R\$29.596	R\$6.704	R\$22.893	R\$22.452	R\$5.535
2	R\$5.666	R\$32.352	R\$5.450	R\$32.568	R\$7.377	R\$25.191	R\$24.020	R\$6.622
3	R\$6.216	R\$35.448	R\$5.831	R\$35.883	R\$8.116	R\$27.717	R\$25.697	R\$7.851
4	R\$6.819	R\$38.841	R\$6.238	R\$39.422	R\$8.929	R\$30.493	R\$27.491	R\$9.240
5	R\$7.480	R\$42.559	R\$6.674	R\$43.366	R\$9.822	R\$33.543	R\$29.411	R\$10.806
6	R\$8.206	R\$46.632	R\$7.140	R\$47.699	R\$10.804	R\$36.895	R\$31.464	R\$12.570
7	R\$9.002	R\$51.096	R\$7.638	R\$52.460	R\$11.882	R\$40.578	R\$33.661	R\$14.554
8	R\$9.875	R\$55.986	R\$8.171	R\$57.690	R\$13.067	R\$44.623	R\$36.012	R\$16.783
9	R\$10.883	R\$61.345	R\$8.742	R\$63.436	R\$14.368	R\$49.068	R\$38.526	R\$19.284
10	R\$11.884	R\$67.216	R\$9.352	R\$69.749	R\$15.798	R\$53.950	R\$41.216	R\$22.086
11	R\$13.037	R\$73.650	R\$10.005	R\$76.682	R\$17.368	R\$59.313	R\$44.094	R\$25.225
12	R\$14.302	R\$80.699	R\$10.704	R\$84.297	R\$19.093	R\$65.204	R\$47.173	R\$28.735
13	R\$15.690	R\$88.423	R\$11.451	R\$92.662	R\$20.988	R\$71.674	R\$50.467	R\$32.658
14	R\$17.212	R\$96.887	R\$12.251	R\$101.487	R\$23.068	R\$78.779	R\$53.991	R\$37.039
15	R\$18.882	R\$106.160	R\$13.107	R\$111.935	R\$25.353	R\$86.582	R\$57.761	R\$41.927
16	R\$20.714	R\$116.321	R\$14.022	R\$123.013	R\$27.862	R\$95.150	R\$61.794	R\$47.378
17	R\$22.723	R\$127.454	R\$15.001	R\$135.177	R\$30.618	R\$104.559	R\$66.109	R\$53.451
18	R\$24.928	R\$139.653	R\$16.048	R\$148.553	R\$33.643	R\$114.890	R\$70.725	R\$60.213
19	R\$27.346	R\$153.020	R\$17.169	R\$163.197	R\$36.964	R\$126.233	R\$75.663	R\$67.739
20	R\$29.999	R\$167.666	R\$18.368	R\$179.298	R\$40.611	R\$138.687	R\$80.947	R\$76.108

**Fonte: Próprio autor**

A partir dessa etapa foi possível analisar a viabilidade desse projeto, tanto através do método de Payback Simples, quanto do Payback Descontado, adicionando a taxa de desconto de 11,17%. Os parâmetros financeiros e seus resultados foram resumidos nas **Tabela 3.13**, **Tabela 3.14** e **Figura 3.9**.

**Tabela 3.13. Parâmetros e resultados financeiros do projeto do cenário 1.**

Parâmetros Financeiros		Resultados Financeiros	
<b>CAPEX</b>	R\$ 81.452	<b>VPL (para 20 anos)</b>	R\$ 68.802
<b>Fluxo de Caixa*</b>	R\$ 5.353	<b>TIR</b>	17,82%
<b>Taxa de Desconto</b>	11,17%	<b>Payback Simples</b>	7 anos e 9 meses
<b>Período</b>	20 anos	<b>Payback Descontado</b>	12 anos e 1 meses

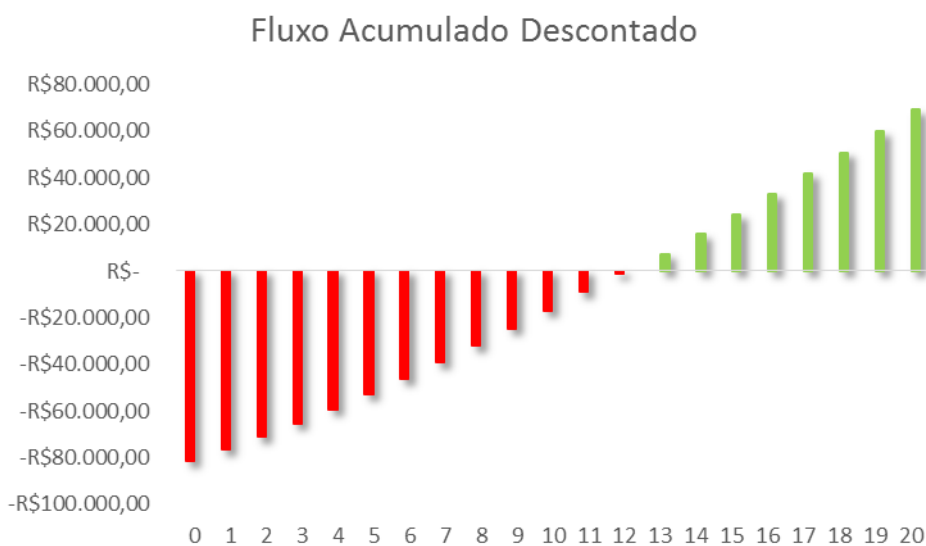
**Fonte: Próprio autor**

\*Sofre acréscimo anual

**Tabela 3.14. Fluxos do projeto do cenário 1.**

<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Fluxo Acumulado</b>	<b>Fluxo de Caixa Descontado</b>	<b>Fluxo Acumulado Descontado</b>
<b>0</b>	-	-R\$81.452	-	-R\$81.452
<b>1</b>	R\$5.535	-R\$75.916	R\$4.979	-R\$76.473
<b>2</b>	R\$6.622	-R\$69.295	R\$5.358	-R\$71.114
<b>3</b>	R\$7.851	-R\$61.444	R\$5.715	-R\$65.400
<b>4</b>	R\$9.240	-R\$52.204	R\$6.050	-R\$59.350
<b>5</b>	R\$10.806	-R\$41.398	R\$6.365	-R\$52.985
<b>6</b>	R\$12.570	-R\$28.828	R\$6.660	-R\$46.325
<b>7</b>	R\$14.554	-R\$14.274	R\$6.937	-R\$39.388
<b>8</b>	R\$16.783	R\$2.509	R\$7.196	-R\$32.192
<b>9</b>	R\$19.284	R\$21.793	R\$7.437	-R\$24.755
<b>10</b>	R\$22.086	R\$43.880	R\$7.662	-R\$17.093
<b>11</b>	R\$25.225	R\$69.104	R\$7.872	-R\$9.221
<b>12</b>	R\$28.735	R\$97.839	R\$8.067	-R\$1.154
<b>13</b>	R\$32.658	R\$130.497	R\$8.247	R\$7.093
<b>14</b>	R\$37.039	R\$167.536	R\$8.414	R\$15.507
<b>15</b>	R\$41.927	R\$209.463	R\$8.568	R\$24.075
<b>16</b>	R\$47.378	R\$256.841	R\$8.709	R\$32.784
<b>17</b>	R\$53.451	R\$310.292	R\$8.838	R\$41.622
<b>18</b>	R\$60.213	R\$270.506	R\$8.956	R\$50.578
<b>19</b>	R\$67.739	R\$438.244	R\$9.063	R\$59.642
<b>20</b>	R\$76.108	R\$514.352	R\$9.160	R\$68.802

**Fonte: Próprio autor**



**Figura 3.9. Fluxo acumulado descontado do projeto do cenário 1.**

**Fonte: Próprio autor**

O período de 20 anos é de acordo com a garantia de fornecimento de energia elétrica e de produção de água pura que os fornecedores indicam.

Pôde-se observar que o projeto é economicamente viável, ao passo que tanto o VPL resultou em um valor positivo assim como a TIR foi superior à taxa de desconto aplicada (nota-se que seu valor também é maior do que a taxa proposta pelo UNFCCC que foi de 11,65%). Porém há muitos fatores externos que podem alterar essa curva construída. As instabilidades política e econômica afetam diretamente nas taxas de inflação e de reajuste dos preços das tarifas, além das cotações do câmbio, que estão diretamente ligados aos fluxos financeiros desse estudo.

Consequentemente, quanto maior o retorno do valor investido, mais receoso será o empresário, já que ao longo de um período de 12 anos o cenário nacional pode sofrer diversas alterações, aumentando a probabilidade de risco da aplicação.

Por outro lado, a imagem positiva que a empresa irá adquirir com a divulgação do incentivo do uso de energia renovável para a sua produção é algo de grande relevância que poderá aumentar a quantidade de vendas de seus produtos, já que grande parte da população respeita esse tipo de atitude.

### **Cenário Base – Sistema elétrico e de abastecimento de água convencional**

Normalmente, quando se realiza instalações de aprimoramento de sistemas, a comparação da operação do sistema antigo com o novo modelo é aplicada para se determinar as melhorias que essa implementação apresentou no processo.

Nesse caso, como o projeto está relacionado no desenvolvimento de um novo sistema de geração de energia elétrica capaz de abastecer um equipamento de dessalinização de água, esses foram os dois recursos que serão verificados, em relação a esse aperfeiçoamento.

Aplicado a premissa de que todos o maquinário convencional da empresa já estivesse totalmente amortizado e depreciado, esse cenário foi analisado com um investimento nulo, sendo considerado apenas os custos referentes a utilização de água encanada para a demanda de fabricação do fármaco proposto. A energia elétrica não foi considerada nessa avaliação, pois o custo destinado a esse consumo foi destinado apenas para alimentar a etapa unitária do sistema de dessalinização de água, e como nesse caso essa operação não é contemplada, esse recurso não foi ponderado.

Utilizando o mesmo propósito da quantidade de água demandado pelo processo, e usando a precificação da empresa EMBASA, os valores financeiros foram estipulados e apresentados na **Tabela 3.15** e na **Figura 3.10**.



Tabela 3.15. Fluxos do projeto do cenário base.

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo Acumulado	Fluxo Descontado	Fluxo Acumulado
0	R\$-	R\$ -	R\$ -	R\$ -
1	-R\$ 22.838	-R\$ 22.838	-R\$ 20.544	-R\$ 20.544
2	-R\$ 25.024	-R\$ 47.863	-R\$ 20.249	-R\$ 40.793
3	-R\$ 27.419	-R\$ 75.282	-R\$ 19.959	-R\$ 60.752
4	-R\$ 30.044	-R\$ 105.326	-R\$ 19.672	-R\$ 80.424
5	-R\$ 32.919	-R\$ 138.245	-R\$ 19.390	-R\$ 99.814
6	-R\$ 36.070	-R\$ 174.315	-R\$ 19.111	-R\$ 118.925
7	-R\$ 39.523	-R\$ 213.838	-R\$ 18.837	-R\$ 137.762
8	-R\$ 43.305	-R\$ 257.143	-R\$ 18.567	-R\$ 156.329
9	-R\$ 47.450	-R\$ 304.594	-R\$ 18.300	-R\$ 174.629
10	-R\$ 51.992	-R\$ 356.586	-R\$ 18.038	-R\$ 192.667
11	-R\$ 56.968	-R\$ 413.554	-R\$ 17.779	-R\$ 210.445
12	-R\$ 62.421	-R\$ 475.975	-R\$ 17.523	-R\$ 227.969
13	-R\$ 68.395	-R\$ 544.370	-R\$ 17.272	-R\$ 245.241
14	-R\$ 74.942	-R\$ 619.312	-R\$ 17.024	-R\$ 262.265
15	-R\$ 82.115	-R\$ 701.426	-R\$ 16.780	-R\$ 279.044
16	-R\$ 89.974	-R\$ 791.401	-R\$ 16.539	-R\$ 295.583
17	-R\$ 98.586	-R\$ 889.986	-R\$ 16.301	-R\$ 311.885
18	-R\$ 108.022	-R\$ 998.008	-R\$ 16.067	-R\$ 327.952
19	-R\$ 118.361	-R\$ 1.116.369	-R\$ 15.837	-R\$ 343.789
20	-R\$ 129.690	-R\$ 1.246.059	-R\$ 15.609	-R\$ 359.398

Fonte: Próprio Autor

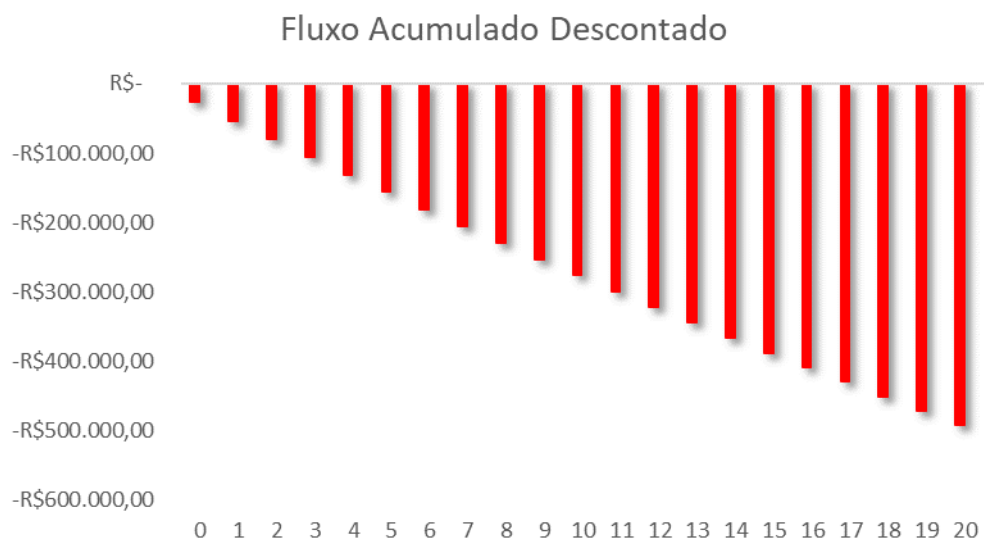


Figura 3.10. Fluxo acumulado descontado do projeto do cenário base.

Fonte: Próprio autor

Assim é notável a nobreza da utilização desse recurso hídrico, ao qual contempla um custo anual de pouco mais de R\$ 20 mil reais, apenas derivado dessa operação, totalizando em um custo acumulado descontado, dentro do mesmo período de análise do cenário anterior, de quase R\$ 360 mil reais. Uma quantia que poderia ser utilizada na restauração e pagamento das despesas de diversos setores da empresa.

Além disso, o aumento expressivo do volume de consumo desse bem tão requisitado mundialmente, contribui para acelerar a sua escassez, e consequentemente, coopera para o aumento tarifário, já que pelos princípios da economia, existe a lei da oferta e da demanda, quanto menos recurso, maior o preço.

## **Cenário 2 – Venda do Ácido Acetilsalicílico**

Neste cenário, levou-se em conta a rentabilidade a partir das vendas do ácido acetilsalicílico produzido pelo sistema implementado. Assumindo que todo o fármaco produzido no mês seria vendido no próprio mês, juntamente com o seu preço de venda de R\$ R\$ 2,23 para 10 comprimidos de 500mg que resulta em R\$ 446,00 / kg<sub>ASS</sub>, obtido através de pesquisas de mercado, foi realizado outro estudo financeiro para o projeto.

Além disso, devido as complexidades nas obtenções dos resultados financeiros desse tipo de substância, foi aplicado a premissa do fluxo de caixa ser definido como 20% da receita da venda desse produto, para que os outros custos relacionados ao ciclo completo de fabricação, embalagem, logística e comercialização do fármaco possam ser contabilizados.

Análogo à simulação anterior, as mesmas premissas e equações para os cálculos do estudo foram utilizadas, variando apenas o método de obtenção da renda bruta, apontado na **Equação 28**. O resumo dos cálculos foi listado na **Tabela 3.16**.

$$Renda\ Bruta = Preço\ do\ ASS * Quantidade\ de\ ASS * Dias\ Trabalhados \quad (28)$$

Atribuindo uma produção mensal de 2.700 kg<sub>ASS</sub> com um preço médio de R\$ 89,20/kg<sub>ASS</sub> (referente a 20% de R\$ 446,00/kg<sub>ASS</sub>) aplicada por 12 meses, foi calculado a renda bruta anual desse cenário. Nessa simulação, a inflação média histórica anual de 6,98% foi assumida na renda bruta, além de seu emprego nos custos operacionais, seguindo a mesma premissa do estudo anterior.

**Tabela 3.16. Fluxos e fatores atribuídos para a formação do fluxo de caixa do cenário 2.**

Ano	Renda Bruta	Depreciação	Lucro Antes do IR	Imposto	Lucro Líquido	Custo Operacional	Fluxo de Caixa
0	R\$ 2.890.080	R\$ 4.762	R\$ 2.885.318	R\$ 653.525	R\$ 2.231.793	R\$ 20.987	R\$ 2.215.569
1	R\$ 3.091.880	R\$ 5.095	R\$ 3.086.785	R\$ 699.157	R\$ 2.387.628	R\$ 22.452	R\$ 2.370.271
2	R\$ 3.307.770	R\$ 5.450	R\$ 3.302.320	R\$ 747.975	R\$ 2.554.345	R\$ 24.020	R\$ 2.535.775
3	R\$ 3.538.735	R\$ 5.831	R\$ 3.532.905	R\$ 800.203	R\$ 2.732.702	R\$ 25.697	R\$ 2.712.836
4	R\$ 3.785.828	R\$ 6.238	R\$ 3.779.590	R\$ 856.077	R\$ 2.923.513	R\$ 27.491	R\$ 2.902.259
5	R\$ 4.050.173	R\$ 6.674	R\$ 4.043.499	R\$ 915.853	R\$ 3.127.647	R\$ 29.411	R\$ 3.104.910
6	R\$ 4.332.976	R\$ 7.140	R\$ 4.325.837	R\$ 979.802	R\$ 3.346.035	R\$ 31.464	R\$ 3.321.710
7	R\$ 4.635.526	R\$ 7.638	R\$ 4.627.888	R\$ 1.048.217	R\$ 3.579.672	R\$ 33.661	R\$ 3.553.648
8	R\$ 4.959.202	R\$ 8.171	R\$ 4.951.031	R\$ 1.121.408	R\$ 3.829.622	R\$ 36.012	R\$ 3.801.782
9	R\$ 5.305.478	R\$ 8.742	R\$ 5.296.736	R\$ 1.199.711	R\$ 4.097.026	R\$ 38.526	R\$ 4.067.241
10	R\$ 5.675.933	R\$ 9.352	R\$ 5.666.581	R\$ 1.283.481	R\$ 4.383.100	R\$ 41.216	R\$ 4.351.236
11	R\$ 6.072.255	R\$ 10.005	R\$ 6.062.250	R\$ 1.373.100	R\$ 4.689.150	R\$ 44.094	R\$ 4.655.061
12	R\$ 6.496.251	R\$ 10.704	R\$ 6.485.547	R\$ 1.468.976	R\$ 5.016.570	R\$ 47.173	R\$ 4.980.101
13	R\$ 6.949.851	R\$ 11.451	R\$ 6.938.400	R\$ 1.571.548	R\$ 5.366.852	R\$ 50.467	R\$ 5.327.837
14	R\$ 7.435.125	R\$ 12.251	R\$ 7.422.874	R\$ 1.681.281	R\$ 5.741.593	R\$ 53.991	R\$ 5.699.853
15	R\$ 7.954.282	R\$ 13.107	R\$ 7.941.176	R\$ 1.798.676	R\$ 6.142.499	R\$ 57.761	R\$ 6.097.845
16	R\$ 8.509.690	R\$ 14.022	R\$ 8.495.668	R\$ 1.924.269	R\$ 6.571.399	R\$ 61.794	R\$ 6.523.627
17	R\$ 9.103.879	R\$ 15.001	R\$ 9.088.878	R\$ 2.058.631	R\$ 7.030.247	R\$ 66.109	R\$ 6.979.139
18	R\$ 9.739.558	R\$ 16.048	R\$ 9.723.509	R\$ 2.202.375	R\$ 7.521.134	R\$ 70.725	R\$ 7.466.458
19	R\$ 10.419.622	R\$ 17.169	R\$ 10.402.453	R\$ 2.356.156	R\$ 8.046.298	R\$ 75.663	R\$ 7.987.803
20	R\$ 11.147.172	R\$ 18.368	R\$ 11.128.805	R\$ 2.520.674	R\$ 8.608.130	R\$ 80.947	R\$ 8.545.551

Fonte: Próprio autor

Através dos mesmos métodos de planejamento, os cálculos foram efetuados e demonstrados nas **Tabela 3.17**, **Tabela 3.18** e na **Figura 3.11**.

**Tabela 3.17. Parâmetros e resultados financeiros do projeto do cenário 2.**

Parâmetros Financeiros		Resultados Financeiros	
<b>CAPEX</b>	R\$ 81.452	<b>VPL (para 20 anos)</b>	R\$ 30.266.501
<b>Fluxo de Caixa*</b>	R\$ 2.370.271	<b>TIR</b>	2.917 %
<b>Taxa de Desconto</b>	11,17%	<b>Payback Simples</b>	0 anos e 1 mês
<b>Período</b>	20 anos	<b>Payback Descontado</b>	0 anos e 1 mês

Fonte: Próprio autor

\*Sofre acréscimo anual

Tabela 3.18. Fluxos do projeto do cenário 2.

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo Acumulado	Fluxo Descontado	Fluxo Acumulado Descontado
0	R\$ -	-R\$ 81.452	R\$-	-R\$ 81.452
1	R\$ 2.370.271	R\$ 2.288.819	R\$ 2.132.171	R\$ 2.050.720
2	R\$ 2.535.775	R\$ 4.824.594	R\$ 2.051.913	R\$ 4.102.633
3	R\$ 2.712.836	R\$ 7.537.430	R\$ 1.974.676	R\$ 6.077.309
4	R\$ 2.902.259	R\$ 10.439.689	R\$ 1.900.346	R\$ 7.977.655
5	R\$ 3.104.910	R\$ 13.544.599	R\$ 1.828.814	R\$ 9.806.469
6	R\$ 3.321.710	R\$ 16.866.309	R\$ 1.759.975	R\$ 11.566.443
7	R\$ 3.553.648	R\$ 20.419.957	R\$ 1.693.726	R\$ 13.260.170
8	R\$ 3.801.782	R\$ 24.221.739	R\$ 1.629.972	R\$ 14.890.141
9	R\$ 4.067.241	R\$ 28.288.980	R\$ 1.568.617	R\$ 16.458.759
10	R\$ 4.351.236	R\$ 32.640.216	R\$ 1.509.572	R\$ 17.968.330
11	R\$ 4.655.061	R\$37.295.278	R\$ 1.452.749	R\$ 19.421.080
12	R\$ 4.980.101	R\$ 42.275.379	R\$ 1.398.066	R\$ 20.819.145
13	R\$ 5.327.837	R\$ 47.603.216	R\$ 1.345.440	R\$ 22.164.585
14	R\$ 5.699.853	R\$ 53.303.068	R\$ 1.294.796	R\$ 23.459.381
15	R\$ 6.097.845	R\$ 59.400.913	R\$ 1.246.058	R\$ 24.705.439
16	R\$ 6.523.627	R\$ 65.924.540	R\$ 1.199.154	R\$ 25.904.593
17	R\$ 6.979.139	R\$ 72.903.680	R\$ 1.154.016	R\$ 27.058.609
18	R\$ 7.466.458	R\$ 80.370.137	R\$ 1.110.577	R\$ 28.169.186
19	R\$ 7.987.803	R\$ 88.357.941	R\$ 1.068.773	R\$ 29.237.959
20	R\$ 8.545.551	R\$ 96.903.492	R\$ 1.028.543	R\$ 30.266.501

Fonte: Próprio autor



Figura 3.11. Fluxo acumulado descontado do projeto do cenário 2.

Fonte: Próprio autor

De acordo com os resultados apresentados, é notável a viabilidade econômica desse empreendimento, já que logo no primeiro mês o projeto já apresentaria o retorno esperado, proporcionando também uma grande margem de lucro. Assim como os estrondosos valores de resultado financeiros de VPL e TIR demonstra a grande oportunidade do setor farmacêutico, aliado a questão dos conceitos da química fina. Contudo, como o projeto foi apropriado para o aprendizado da aplicação da teoria, é evidente que a adoção da quantidade de produção mensal foi um valor exuberante, em conformidade com o mercado brasileiro. Ao passo que, não é possível afirmar que a população não iria conseguir consumir toda essa fração adotada, podendo haver variações da demanda a ser produzida de acordo com a sazonalidade e necessidade do mercado farmacêutico e, consequentemente, os fluxos de caixas seriam variáveis no decorrer do período analisado.

Outrossim, a contabilização real de todos os custos e despesas oriundos da fabricação do ácido acetilsalicílico e dos procedimentos para a preparação e liberação desse fármaco para a venda também devem ser verificados, já que foi adotado uma premissa genérica, que pode não condizer com o mercado da região.

### **3.5 AVALIAÇÃO AMBIENTAL**

Apesar de o empreendimento proposto ser derivado de fontes renováveis, com o propósito de ser ecologicamente correto, o processo produz subprodutos que, dependendo do método de descarte, podem poluir e prejudicar os seres existentes nestes locais.

#### **3.5.1 MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO**

O processo de dessalinização, como já foi mencionado anteriormente, têm como geração duas correntes, uma com a água purificada e a outra com uma água concentrada de sais e contaminantes. O subproduto derivado a partir do equipamento da GE escolhido apresenta um fluxo de 36,34 m<sup>3</sup> mensais, de acordo com a demanda estipulada. Esse volume de água pode apresentar diversos efeitos negativos no ambiente em que for despejado.

Segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005, modificada pela Resolução CONAMA n° 430/2011, estabelece padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água baseados em concentrações de diferentes poluentes, e por isso algumas alternativas devem ser propostas para

essa definição. Como por exemplo, a utilização de aditivos não tóxicos no processo de dessalinização e aumento do pH antes do descarte do efluente. A disposição submarina, através da instalação de tubulação até o fundo do mar, ao invés do despejo direto na costa também serve para essa mitigação.

Na etapa de pré-tratamento, a combinação de utilização de outras tecnologias de separação por membranas, como os processos de separação por membranas de ultrafiltração ou nanofiltração antecedendo a dessalinização por osmose reversa, contribui para reter a maior quantidade dos contaminantes logo no início do processo, fazendo com que as características físicas, químicas e biológicas do fluxo do concentrado se enquadrem dentro dos parâmetros exigidos nas legislações para que os despejos não causem grandes impactos no sítio.

Caso a água de alimentação contenha concentrações de material orgânico e inorgânico elevadas, realizar processos aeróbios em seu tratamento é uma opção bastante viável, que além de aperfeiçoar a eficiência do processo, ela reduz os custos dos ativos químicos necessários, assim como proporciona uma maior durabilidade da vida útil das membranas.

Devido à boa localização geográfica, a opção de criação de tilápias e de camarão através da água concentrada obtida pelo processo de dessalinização pode ser atrativa, já que o ambiente costeiro proporciona facilidade na logística e também na oferta desses animais que são bastante procurados na região nordestina. Essa ação, além de solucionar um problema ambiental, ela também auxilia na parte financeira, apresentando outro tipo de renda para o empreendimento. Entretanto, o volume de água do tanque de criação será apenas abastecido periodicamente, fazendo com que somente uma parte da salmoura seja reaproveitada.

As usinas de dessalinização de água tradicionais consomem tanto energia elétrica quanto energia térmica, as quais são derivadas de fontes não renováveis, normalmente por meio do petróleo ou usinas termelétricas. Essa atividade contribui para certa emissão de dióxido de carbono, que resulta em poluição ambiental e todas as consequências sociais e econômicas provenientes dessa calamidade.

O acoplamento as plantas de dessalinização por OR com usinas de geração de energia, com o intuito do manuseio da água de refrigeração é uma solução a ser considerada, pelo fato de, ao se aquecida, essa elevação de temperatura, que gira em torno de 5°C a 15°C, reduz a

pressão de alimentação em um intervalo de 5 a 8%, diminuindo no consumo energético requerido, e consequentemente, nas emissões de gases de efeito estufa.

Claro que todas essas melhorias e procedimentos citados elevam os custos do projeto, na qual, dependendo do investimento necessário o projeto poderá até ser inviável. Contudo, as fiscalizações estão ficando cada vez mais rigorosas, e uma multa pelos não cumprimentos das normas pode surgir como uma externalidade negativa, e atrapalhar no planejamento financeiro da empresa.

### 3.5.2 ANÁLISE DA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

Algumas ações praticadas pelo ser humano são causadoras de lançamento de gases de efeito estufa. A “pegada de carbono” (carbono footprint) é um método de mensuração de toda essa emissão causada diretamente ou indiretamente por essa atividade. Os gases que são considerados nessa contabilidade estão descritos na **Tabela 3.19**.

**Tabela 3.19. Gases medidos na pegada de carbono.**

<b>Gás</b>	<b>GWP (CO<sub>2</sub> equivalente)</b>
<b>Dióxido de Carbono</b>	1
<b>Metano</b>	21
<b>Óxido Nitroso</b>	310
<b>Hidro Fluor Carbonos</b>	23.900
<b>Perfluorcarbonos</b>	140 - 11.700
<b>Hexaflureto Sulfúrico</b>	6.500 - 9.200

Fonte: (Dan Epstein, 2011)

O fator de emissão para se medir eletricidade é tCO<sub>2</sub>eq / MWh. No Brasil, a geração de energia elétrica é constituída por algumas fontes, sendo que cada uma possui um valor médio de fator de emissão, sendo demonstrados na **Tabela 3.20**.

**Tabela 3.20. Emissão de CO<sub>2</sub> por tipo de termelétrica.**

<b>Combustível</b>	<b>Emissão (gCO<sub>2</sub> / kWh)</b>
<b>Carvão Mineral</b>	340
<b>Óleo Combustível</b>	280
<b>Óleo Diesel</b>	270
<b>Gás Natural<sup>1</sup></b>	200 * 1,27

Fonte: (Bessa, 2010)

(1) - Incluem o fator de 1,27 devido a 4,7% das perdas fugitivas

Devido ao acúmulo de matéria orgânica que é decomposto pelos microrganismos provenientes da inundação do local pela construção da barragem, gás carbônico também é emitido nas usinas hidrelétricas. O valor médio obtido através de relatórios experimentais foi descrito na **Tabela 3.21**.

**Tabela 3.21. Emissão de CO<sub>2</sub> por usina hidrelétrica.**

Fonte	Emissão (mg/m <sup>2</sup> .dia)
Hidrelétrica	356,88

Fonte: (Bessa, 2010)

Consultando o Ministério de Minas e Energia – MME, a oferta interna de energia elétrica (OIEE) do território nacional de 2017 foi descrita na **Tabela 3.22**. A partir dela, foi possível mensurar a emissão de GEE anual que foi deixada de ser emitida, já que a necessidade da energia da rede elétrica foi quase totalmente eliminada através da implementação do sistema de energia fotovoltaico.

**Tabela 3.22. Quantidade de emissão anual de GEE que foi deixado de emitir na atmosfera.**

Fonte	Representatividade	Emissão de CO <sub>2</sub> [gCO <sub>2</sub> /kWh]
Hidro	67,9%	75.618
Gás Natural / Industrial	9,8%	224.876
Carvão	2,5%	76.789
Petróleo	1,8%	43.905
Biomassa	9,0%	-
Eólica	6,5%	-
Nuclear	2,5%	-
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>421.191 / ano</b>

Fonte: Próprio autor, (MME, 2017)

Para a realização do cálculo da quantidade de emissão representada pela fonte hídrica, adotou-se apenas a participação da Usina Hidrelétrica Paulo Afonso IV, pois ele é a mais representativa para o estado da Bahia, sendo que o consumo energético da planta seria de 0,5% da sua total dimensão, que é de 260.050 m<sup>2</sup>. A emissão de GEE a partir da queima da biomassa não é considerada, pelo fato das emissões resultantes da atividade ser absorvidas e fixadas pela planta durante o seu crescimento.



## 4 CONCLUSÃO

Esta monografia estudou a produção de ácido acetilsalicílico num valor de 2.700 kg/mês, avaliando uma quantidade de água em 108,65 m<sup>3</sup>/mês para o processo. Foram estudados diversos equipamentos de diversas vazões e aspectos diversos, sendo selecionado o modelo GE E4-2200-ECN-60, devido à sua maior adequação com as características do sistema. Esse processo requereu 752,84 kWh/dia de energia elétrica, que foi alimentada por 41 painéis fotovoltaicos CS6K-280M do fornecedor Canadian Solar. O inversor Primo 8.2-1 da Fronius também foi escolhido para complementar o sistema, sendo verificada sua compatibilidade técnica em todos os aspectos.

Um estudo de custo médio ponderado de capital (WACC) foi realizado, sendo um indicador fundamental para análise de viabilidade econômica do sistema. Utilizando tanto o capital de terceiros (BNDES) quanto de capital próprio (através do CAPM), foi obtida uma taxa de desconto de 11,17%.

Estudos econômicos considerando dois cenários distintos foram realizados, ao passo que, a renda de cada situação foi determinada a partir de hipóteses e considerações. A comparação dos resultados financeiros demonstrados com a instalação da planta em relação ao cenário base (operação farmacêutica padrão), também foi analisada.

Como parte final do trabalho, também foi feito estudos dos impactos ambientais do sistema, apontando métodos de mitigação dessas ações, assim como as simulações dos cálculos de emissões de GEE evitados, pelo fato de não estar sendo consumida energia da rede de distribuição.

Uma questão que não foi apontada, mas que merece bastante importância, é da obtenção das licenças ambientais necessárias para a captação da água do oceano, a qual deve ser negociada com a prefeitura local e também das entidades responsáveis pela manutenção e conservação do meio.

As boas condições naturais do local possuem forte influência na viabilidade desse projeto, já que elas proporcionam elevadas potências de irradiação solar, propiciando uma instalação com uma quantidade admissível de painéis fotovoltaicos, além da proximidade com o ponto de

coleta, reduzindo assim, o custo operacional. A área de telhado necessária para suprir com esse volume de placas é concebível para uma indústria, já que, foi-se necessário a instalação de 41 painéis, que ocupa em torno de uma área de 80 m<sup>2</sup>.

O incremento de outra fonte externa de energia também contribui para uma maior segurança no fornecimento deste recurso, aumento a segurança e a estabilidade do mesmo, podendo prevenir a situação de “apagão” ocorrido no Nordeste em 2015, fazendo com que a produção permaneça operante durante o seu período de atividade, assim como na preservação da qualidade e propriedades das membranas.

Com os resultados financeiros calculados, ficou comprovado a praticabilidade desse investimento, considerando os parâmetros do método de Payback Simples e o Composto. É importante destacar novamente, que esses valores foram concebidos através de algumas premissas adotadas, podendo ser variadas, de acordo com as características do sítio, e consequentemente, alterar os cenários de viabilidade econômica. O resultado do cenário base demonstra a oportunidade desperdiçada em processos que demandam grande quantidade de volume de água, assim como de energia elétrica, ao passo que, empreendedores que possuam capital suficiente para investir em tecnologias renováveis, podem obter retornos positivos que podem ser aproveitados de diversas maneiras.

Outro ponto a ser destacado é referente ao segundo cenário a premissa adotada para o fluxo de caixa ser um valor de 20% da receita da venda do fármaco, e a quantidade grandiosa e fictícia de sua produção que foi considerada, que não condiz com a realidade de mercado, e, portanto, faz com que a análise ficasse superestimada.

A evolução tecnológica que vem sendo ampliada constantemente durante os últimos anos é outro fato muito relevante, pois, como um dos pilares das leis da economia, essa tendência contribui para a redução dos preços dos materiais e equipamentos do sistema em estudo, bem como no aprimoramento de suas eficiências e durabilidade.

Devido ao município ser bastante úmida, uma outra solução que poderia ser implantado, é de captação da água das chuvas para aplicação do método de dessalinização, ou para utilização direta em outros serviços prestados dentro do local, como limpeza das salas.

Apesar desses resultados positivos, devido às instabilidades políticas e econômicas do país, os empreendedores estão cada vez mais receosos, necessitando de investimentos que apresentem os riscos mais irrisórios possíveis. Uma alternativa para esse empecilho seria da participação ativa do governo, já que há metas definidas de sustentabilidade impostas pelo de Conferência realizada na França em 2015 pelo COP 21, de impor uma redução fiscal sobre os impostos dos produtos relacionados à energia renovável, assim como dos encargos que as empresas devem pagar para o poder executivo.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Ali Al-Karaghoul, D. R. (2009). Technical and Economic Assessment of Photovoltaic-driven Desalination Systems. *Elsevier*, pp. 323-328.
- Amy M. Bilton, R. W. (2011). On the Feasibility of Community-Scale Photovoltaic-Powered Reverse Osmosis. *Elsevier*, pp. 3246-3256.
- ANVISA. (2010). *Farmacopeia Brasileira*. Brasília.
- ANVISA. (2010). Resolução RDC nº17. *Dispões sobre boas práticas de fabricação de medicamentos no Brasil*.
- ANVISA. (2010). Resolução RDC nº49. *Dispõe sobre a aprovação da Farmacopéia Brasileira, 5. edição*.
- Association, I. D. (2013). *Yearbook*.
- Belton, P. (2015). *O grande salto tecnológico que pode acabar com a sede no mundo*. Fonte: BBC:  
[http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/10/151018\\_tecnologia\\_dessalinizacao\\_agua\\_rm](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/10/151018_tecnologia_dessalinizacao_agua_rm)
- Bessa, V. M. (2010). Geração de energia elétrica no Brasil e CO<sub>2</sub>. *3o Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável*, (p. 33).
- Camasmie, A. (2013). *Aspirina*. Fonte: Revista Galileu:  
<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI142638-17934,00-ASPIRINA.html>
- Coelba. (2017). *Tarifas Grupo B*. Fonte: Coelba Grupo Neoenergia:  
<http://servicos.coelba.com.br/portal-credenciado/Pages/tarifas-grupo-b.aspx>
- CREMESP. (2016). *História da Medicina*. Fonte: CREMESP:  
<http://www.cremesp.org.br/?siteAcao=Revista&id=836>
- Dan Epstein, J. S. (2011). Oficina "Pegada de carbono". *Useful Simple Projects*, (p. 47).
- Daniel Brooke Peig, M. d. (2010). *Aproveitamento e Destino do Concentrado de Processos de Separação por Membranas*. São Paulo.
- Data, C. (2017). *Clima: Salvador*. Fonte: Climate-Data-Org: <https://pt.climate-data.org/location/854/>
- David Feldman, G. B. (2015). *Photovoltaic System*.
- Embasa. (2017). *Tarifas*. Fonte: Embasa:  
<http://www.embasa.ba.gov.br/centralservicos/index.php/tarifas>
- Feltre, R. (1990). *Fundamentos da Química*. São Paulo: Moderna.

- Frederico Venâncio, T. I. (2009). *Síntese do Ácido Acetil Salicílico*. Anápolis.
- GE. (2017). *Product Configurator Tool*. Fonte: GE Water & Process Technologies: <http://www.gewater.com/products/seawater-packaged-desalination.html>
- Globo. (2013). *Agricultura é responsável por 70% do desperdício de água tratada no país*. Fonte: <http://www.redeglobo.globo.com/globoecologia/noticia/2013/09/agricultura-e-responsavel-por-70-do-desperdicio-de-agua-tratada-no-pais.html>
- IBGE. (2016). *IBBGE*. Fonte: IBGE: <http://www.ibge.gov.br/home/>
- INEMA. (2016). *Diagnóstico da Qualidade Ambiental dos Rios de Salvador e Lauro de Freitas, Bahia, Brasil*. Salvador.
- Investimentos, H. e. (2014). *Início de Cobertura*. Rio de Janeiro.
- IRENA. (2012). *Water Desalination Using Renewable Energy*.
- José Carlos Mierzwa, I. H. (2005). *Água na Indústria*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Lauren F.Greenlee, D. F. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges.
- Legner, C. (2013). Reúso de água e seus benefícios para a indústria e meio ambiente. *Revista TAE*.
- Letícia Franco, P. B. (2014). Implantação de um laboratório de análise da qualidade da água e efluentes de uma indústria farmacêutica. *Revista Gestão Industrial*.
- Mendes, A. S., & Maria da Gloria Buglione Peruch, M. F. (2012). *SÍNTESE E PURIFICAÇÃO DO ÁCIDO ACETILSALICÍLICO ATRAVÉS DA RECRISTALIZAÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE SOLVENTES*.
- MME, M. d. (2017). *Boletim Mensal de Energia jan 2017*.
- Neosolar. (2017). *Neosolar*. Fonte: Neosolar: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar.html?p=2>
- ONU, A. N. (2013). *Irrigação é responsável pelo consumo de 72% da água no Brasil*. Fonte: Tera Ambiental: <http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/320413/irrigacao-responsavel-pelo-consumo-de-72-da-agua-no-brasil>
- ONUDI. (2011). *Energia Solar Fotovoltaica*. Fonte: UNIDO: <http://www.renenergyobservatory.org/br/programa-de-capacitacao.html>
- Pacheco, C. R. (2012). Separação por Membranas. *Química e Derivados*, 38-39.
- Pacheco, C. R. (2017). Fundamentos da Utilização de Energia Solar. Em J. R. Simões Moreira, *Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética* (pp. 187-221). Rio de Janeiro: LTC.
- Pena, R. F. (2017). *Distribuição da água no mundo*. Fonte: Brasil Escola: <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-mundo.htm>

- Reuters, T. (2017). *Uol Economia Cotações*. Fonte: Uol: <https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/>
- Ribeiro, M. V. (2015). *Estudo Comparativo entre Dessalinizadores Solares Térmicos e de Osmose Reversa Operado com Painéis Fotovoltaicos para Geração de Água Potável*. São Paulo.
- SANASA. (2017). *Sanasa Campinas*. Fonte: Sanasa Campinas: <http://www.sanasa.com.br/conteudo/conteudo1.aspx?f=A&flag=FF-RT>
- Sebrae. (2017). *Impostos*. Fonte: Sebrae: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/os-principais-tributos-que-todo-empendedor-precisa-conhecer,e40aa0b77d29e410VgnVCM1000003b74010aRCRD>
- Sheida Khajavi, F. K. (2007). Synthesis of thin defect-free hydroxy sodalite membranes: new candidates for activated water permeation. *Journal of Membrane Science*.
- Sheida Khavaji, J. C. (2010). Production of ultra pure water by desalination of seawater using a hydroxy sodalite membrane. *Journal of Membrane Science*, pp. 52-57.
- Silva, J. F. (2015). *Panorama Global da Distribuição e Uso de Água Doce e Análise de Custos de uma Planta de Osmose Reversa Acionada com Diferentes Fontes de Energia*. Niterói.
- Souza, L. F. (2006). DESSALINIZAÇÃO COMO FONTE ALTERNATIVA DE ÁGUA POTÁVEL. *Norte Científico*, pp. 85-97.
- SunData, P. S. (2016). *CRESESB*. Fonte: CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>
- UNESCO. (2015). *Água Para Um Consumo Sustentável*. Perugia.
- UNESCO. (2016). *Água e Emprego*. Perugia.
- UNFCCC, U. N. (2015). *Methodological Tool - Investments Analysis*.

## ANEXO A – CATÁLOGO DO EQUIPAMENTO DESSALINIZADOR



### Membrane System

Model	E4-2200-ECN-60
Part Number	1234779

### Performance Data

---

Design Permeate Flow	1.5 gpm
Feed Flow	2 gpm
Concentrate Feed Flow	0.5 gpm
Recovery	75 %
Design Temperature	25 ° C
Design pH	5.5
System Inlet Pressure	30 psi
System Operating Pressure	220 psi
Minimum Inlet Pressure	30 psi

### Components

---

Cartridge Filtration	
Housing Quantity	1
Housing Model, Manufacturer	PPL, 20-inch
Cartridge Filter Model	ROSave.Zs®, RO.Zs 01-20
Rating, Length	1-micron nominal
Filter Quantity	1
TIES of Filter	2
Membrane Element Housings	
Membrane Housing Model	40EP-300
Housing Manufacturer	GE Osmonics
Number of Housings	1
Housing length	1
Housing Diameter	4
Banking Arrangements	1
High-Pressure Pump	
Model	SS1816X
Manufacturer	GE / Tonkaflo
Quantity	1
Motor Hp and Type	3
Ro Pump Motor Type	TEFC

---

Rev: 1.0, Presentation Date: Aug 23,2017 Valid until: Oct 22,2017

GE Confidential and Proprietary Information - The information contained in this document is submitted for evaluation by Customer only. Customer agrees not to reveal its contents except to those in Customer's organization necessary for evaluation. Copies of this document may not be made without the prior written consent of GE Management. If the preceding is not acceptable to Customer, this document shall be returned to GE.

---



## GE Power & Water Water & Process Technologies

### Membrane Elements

Model	AG4040TM
Manufacturer	GE
Quantity	1
Membrane Type	FRP Wrapped, PA

### Material of Constructions

---

Filter Housing	Polypropylene
Feedwater Piping	Schedule 80 PVC
High-Pressure Piping	Reinforced Rubber Hose
Permeate Piping	Schedule 80 PVC
Frame	Carbon steel
Membrane Element Housings	304L Stainless Steel,
Filter Model	ROSave.Zs®, RO.Zs 01-20

### Installation and Utility Requirements

---

Inlet	0.75-inch
Permeate	0.5-inch
Concentrate	0.5-inch
Inlet (CIP)	0.75-inch
Permeate (CIP)	0.5-inch
Concentrate (CIP)	0.5-inch
Inlet Water Pressure	30 psi
Drain to be Sized for	2 gpm
Power	3 Hp
Motor Power	208/230/460VAC, 3-phase, 60Hz
Control Circuit	110VAC, 1-phase, 60HZ
Skid (H X W X D)	50 x 30 x 20
Shipping Weight Estimate	170 lbs
Membrane Skid Weight	170 lbs

### Controls / Electrical Systems

---

Rev: 1.0, Presentation Date: Aug 23,2017 Valid until: Oct 22,2017

GE Confidential and Proprietary Information - The information contained in this document is submitted for evaluation by Customer only. Customer agrees not to reveal its contents except to those in Customer's organization necessary for evaluation. Copies of this document may not be made without the prior written consent of GE Management. If the preceding is not acceptable to Customer, this document shall be returned to GE.

---





## GE Power & Water Water & Process Technologies

Processor

Relay Logic

Enclosure

NEMA 1

### Instrumentation

Instrument	Manufacturer	Location
Flow Meters	Blue and White	Permeate, concentrate
Pressure Switch		
Pressure Gauge		Pre-filter, post-filter, primary, pump discharge, final
Conductivity Temp.		
pH Meter		

### Membrane System Alarms

Low Inlet Pressure

### Features Included

- Automatic inlet shut-off valve
- Permeate and concentrate flow meters
- Remote machine on/off capability
- Thermal motor protection
- Pre-filter, post-filter, primary, pump discharge, final
- Flow control center including concentrate and recycle valves

*Note: Please consult with GE Water if the feed water to the RO system has a concentration more than 350 mg/l of chloride as ion to verify the materials of construction proposed have adequate corrosion resistance. Please provide minimum, maximum, and average levels of Chloride, Sulphate, pH, and Temperature of the feedwater solution.*

Rev: 1.0, Presentation Date: Aug 23,2017 Valid until: Oct 22,2017

GE Confidential and Proprietary Information - The information contained in this document is submitted for evaluation by Customer only. Customer agrees not to reveal its contents except to those in Customer's organization necessary for evaluation. Copies of this document may not be made without the prior written consent of GE Management. If the preceding is not acceptable to Customer, this document shall be returned to GE.

## ANEXO B – CATÁLOGO DO PAINÉL FOTOVOLTAICO



### CS6K-275 | 280 | 285M

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

\*Black frame product can be provided upon request.

#### KEY FEATURES



Excellent module efficiency of up to 17.41 %



High PTC rating of up to 90.7%



Outstanding low irradiance performance of up to 96.5 %



IP67 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 6000 Pa, wind load up to 4000 Pa \*



linear power output warranty



product warranty on materials and workmanship

#### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2008 / Quality management system  
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

#### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / JET / CEC AU / CQC / INMETRO  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE  
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1  
IEC 60068-2-68: SGS  
Take-e-way



\* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

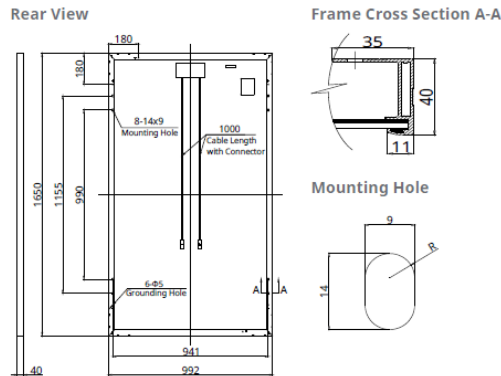
**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 20 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

\*For detail information, please refer to Installation Manual.

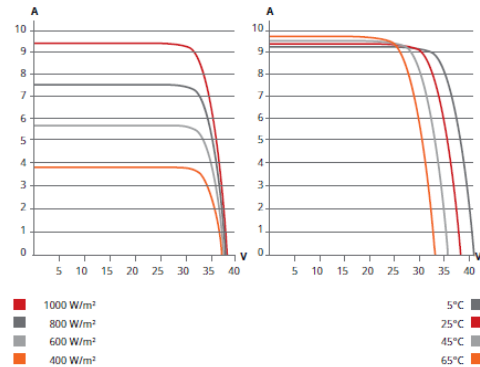
#### CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

## ENGINEERING DRAWING (mm)



## CS6K-280M / I-V CURVES



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS6K	275 M	280 M	285 M
Nominal Max. Power (Pmax)	275 W	280 W	285 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	31.3 V	31.5 V	31.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.80 A	8.89 A	8.98 A
Open Circuit Voltage (Voc)	38.3 V	38.5 V	38.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.31 A	9.43 A	9.51 A
Module Efficiency	16.80 %	17.11 %	17.41 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS6K	275 M	280 M	285 M
Nominal Max. Power (Pmax)	202 W	206 W	209 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	28.8 V	29.0 V	29.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.02 A	7.10 A	7.18 A
Open Circuit Voltage (Voc)	35.7 V	35.9 V	35.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.52 A	7.62 A	7.68 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.5 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per Container (40' HQ)	728 pieces

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43±2 °C

## PARTNER SECTION



## ANEXO C – CATÁLOGO DO INVERSOR



### SOLUÇÕES RESIDENCIAIS

## FRONIUS PRIMO

### FRONIUS PRIMO 3.0-1 / 4.0-1 / 5.0-1 / 6.0-1 / 8.2-1

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Máx. corrente de entrada ( $I_{dc\ max1}$ / $I_{dc\ max2}$ )		12.0 A / 12.0 A		18.0 A / 18.0 A	
Máx. conjunto corrente curto-circuito ( $MPP1$ / $MPP2$ )		18.0 A / 18.0 A		27.0 A / 27.0 A	
Min. tensão de entrada ( $U_{dc\ min}$ )			80 V		
Tensão de alimentação inicial ( $U_{dc\ start}$ )			80 V		
Máx. tensão de entrada ( $U_{dc\ max}$ )			1,000 V		
Faixa de tensão MPPT ( $U_{mpp\ min}$ - $U_{mpp\ max}$ )	200 - 800 V		240 - 800 V		270 - 800 V
Números de rastreadores MPPT			2		
Número de entradas DC			2 + 2		
Potência máx. módulos ( $P_{dc\ máx}$ )	4.5 Wpico	6 Wpico	7.5 Wpico	9 Wpico	12.3 Wpico

DADOS DE SAÍDA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Tensão nominal de saída ( $P_{ac,r}$ )	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,200 W
Máx. potência de saída	3,000 VA	4,000 VA	5,000 VA	6,000 VA	8,200 VA
Máx. corrente de saída ( $I_{ac\ max}$ )	13.0 A	17.4 A	21.7 A	26.1 A	35.7 A
Conexão a rede (faixa de tensão)			1 - NFE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)		
Frequência			50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Distorção harmônica total			< 5 %		
Fator de potência ( $\cos\ \phi_{ac,r}$ )			0.85 - 1 ind. / cap.		



## FRONIUS SYMO

### FRONIUS SYMO 12.5-3-M

DADOS DE ENTRADA	SYMO 12.5-3-M
Máx. corrente de entrada ( $I_{dc\ max\ 1}$ / $I_{dc\ max\ 2}$ )	27.0 A / 16.5 A
Máx. corrente de entrada - total ( $I_{dc\ max\ 1}$ / $I_{dc\ max\ 2}$ )	43.5 A
Máx. corrente do conjunto curto-circuito ( $MPP1$ / $MPP2$ )	40.5 A / 24.8 A
Min. tensão de entrada ( $U_{dc\ min}$ )	200 V
Tensão de alimentação inicial ( $U_{dc\ start}$ )	200 V
Máx. tensão de entrada ( $U_{dc\ max}$ )	1,000 V
Faixa de tensão MPPT ( $U_{mpp\ min}$ - $U_{mpp\ max}$ )	320 - 800 V
Número de rastreadores MPPT	2
Número de entradas DC	3+3
Potência máx. módulos ( $P_{dc\ máx}$ )	18.8 Wpico

DADOS DE SAÍDA	SYMO 12.5-3-M
Saída nominal AC ( $P_{ac,r}$ )	12,500 W
Máx. potência de saída	12,500 VA
Máx. corrente de saída ( $I_{ac\ max}$ )	20 A
Conexão a rede ( $U_{ac,r}$ )	3-NFE 400 V / 230 V ou 3-NFE 380 V / 220 V
Faixa de Frequência ( $f_{min}$ - $f_{max}$ )	45 - 65 Hz
Min. Tensão de saída ( $U_{ac\ min}$ )	150 V
Máx. Tensão de saída ( $U_{ac\ max}$ )	275 V
Frequência ( $f_r$ )	60 Hz
Distorção Harmônica Total	< 2 %
Fator de potência ( $\cos\ \phi_{ac,r}$ )	0 - 1 ind. / cap.

