

**CLARISSA SOARES**

**TRATAMENTO DE ÁGUA UNIFAMILIAR  
ATRAVÉS DA DESTILAÇÃO SOLAR NATURAL  
UTILIZANDO ÁGUA SALGADA, SALOBRA E DOCE  
CONTAMINADA**

Florianópolis, agosto de 2004.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**TRATAMENTO DE ÁGUA UNIFAMILIAR  
ATRAVÉS DA DESTILAÇÃO SOLAR NATURAL  
UTILIZANDO ÁGUA SALGADA, SALOBRA E DOCE  
CONTAMINADA**

**CLARISSA SOARES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
De Santa Catarina, para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Maurício Luiz Sens

Florianópolis, agosto de 2004

# **TRATAMENTO DE ÁGUA UNIFAMILIAR ATRAVÉS DA DESTILAÇÃO SOLAR NATURAL UTILIZANDO ÁGUA SALGADA, SALOBRA E DOCE CONTAMINADA**

CLARISSA SOARES

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental.

Aprovado por :

---

Prof<sup>a</sup>. Rejane Helena da Costa, Dr<sup>a</sup>

---

Prof. Paulo Belli Filho.Dr.

---

Filomena Kotaka, Dr<sup>a</sup>

---

Prof. Armando Borges de Castilhos Jr., Dr.  
(Coordenador)

---

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.  
(Orientador)

FLORIANÓPOLIS, SC - BRASIL

AGOSTO/2004

À minha família  
Pelo amor, incentivo e eterno apoio.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Maurício Luiz Sens a orientação, a amizade e a confiança depositada durante tantos anos.

Agradeço, também, aos professores e funcionários do curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina pela cordialidade e a contribuição para elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA) e ao Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ) os equipamentos e oportunidade de realização deste trabalho.

Agradeço a FUNASA – Fundação Nacional de Saúde a oportunidade e o apoio financeiro para elaboração deste trabalho.

Agradeço a amiga e bolsista Heloiza Rachel W. Böell a dedicação e imprescindível ajuda concedida.

Agradeço ao amigo e bolsista Felipe Vieira de Luca a importante colaboração prestada.

Agradeço aos bons e sempre amigos Cátia Regina da Silva, Luiz Carlos e Renata Iza a amizade, o incentivo e a força que de uma maneira ou de outra repercutiu no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Labsolar – Laboratório de Energia Solar, Eng<sup>o</sup> Dr. Samuel Luna de Abreu o fornecimento de dados de temperatura do ar e radiação solar.

Agradeço a Prof. Cícero Onofre de Andrade e ao grupo do PROSAB da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, por sua imprescindível ajuda na execução deste trabalho.

Agradeço aos professores Dr. Carlos de Carvalho Pinto e Dr. Mário Steindel do Laboratório de Parasitologia/MIP pelo auxílio no teste de cistos de *Giardia lamblia* e de ovos de *Ascaris lumbricoides*.

Agradeço aos amigos do Laboratório de Toxicologia Ambiental, em especial ao Leonardo pela ajuda durante as coletas de água salgada.

Agradeço aos amigos Carlos, Deverson, Nilton, Ramon que de uma forma ou de outra, contribuíram para elaboração deste trabalho.

Agradeço a Deus pela vida, pelas grandes oportunidades e acima de tudo por me proporcionar uma família tão especial e incentivadora.

## RESUMO

A necessidade de produzir água potável a partir da água do mar ou de águas continentais salobras se torna cada vez mais evidente. A finalidade deste trabalho foi produzir água potável a partir de uma água salgada, salobra, e doce contaminada, utilizando a destilação solar natural, para aplicação em residências rurais ou isoladas, produzindo 8 litros de água por dia, oferecendo uma tecnologia simples, barata e de fácil operação, capaz de tratar água para famílias carentes que dispõem de água que não seja considerada potável. Trata-se apenas de produção de água para beber sem uso de eletricidade, de produtos químicos e elementos filtrantes. O equipamento de destilação solar tem a forma de uma pirâmide, as faces são de vidro para permitir a entrada dos raios solares durante todo o tempo independente da posição do sol e do próprio equipamento, tornando o interior da pirâmide uma estufa. Foi testado variando-se: altura da lâmina d'água ou volume no interior da pirâmide, inclinação das faces da pirâmide e grau de poluição da água bruta. A eficiência do equipamento foi medida através da produção e da qualidade da água (análises físico-químicas e bacteriológicas) e temperatura. Os estudos iniciais foram executados em Florianópolis, SC, através do Laboratório de Potabilização de Águas – LAPOÁ/UFSC, onde a maior produção de água foi registrada em apenas um dia do ano, no valor de  $6,2 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$  (Março/2004) e a produção média mensal entre  $3,1$  e  $3,7 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ , considerando dias chuvosos e ensolarados. Após a otimização do sistema de destilação, o equipamento foi encaminhado para uma região do Nordeste brasileiro nas piores épocas do ano quanto à insolação e obteve-se uma produção média mensal entre  $3,0$  e  $3,7 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ . (Maio/2003 e Março/2004), considerando dias chuvosos e ensolarados. No equipamento utilizando uma pirâmide invertida, a produção média mensal foi aproximadamente entre  $1,4 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$  e  $1,7 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ . (Março e Abril/2004) para dias chuvosos e ensolarados também. No teste complementar realizado com cistos de Giárdia e ovos de Helmintos, a remoção foi de 100% na água tratada. Nos ensaios em Florianópolis/SC e Natal/RN, todos os parâmetros de qualidade de água analisados estão de acordo com os padrões de potabilidade segundo a Portaria N. 518/2004 do Ministério da Saúde, exceto aos ensaios com água bruta muito contaminada.

**PALAVRAS-CHAVES:** potabilização de água, destilação solar, qualidade da água.

## ABSTRACT

The necessity to produce potable water from the seawater or continental brackish water becomes more and more evident. The purpose of this work was to produce potable water from salt water, brackish and contaminated fresh water, using natural solar distillation to apply in rural residences or isolated areas, producing 8 litres of water per day, offering a simple, cheap technology and easy to operate, able to treat water to pure families who have the use of water which not considered potable. Its only a question of producing water to drinking without using eletricity, chemicals or filtrating elements. This solar distillation equipment has the shape of a pyramid and its view are made of glass to allow the entrance of sun rays all the time, independent from the sun position or from the equipment itself, making the inner part of the pyramid heated. Was tested, changing: the deph of water, the volume in the inner part of the pyramid, inclination of the pyramid's view and the level of polution in the raw water. The equipment's efficiency was measured through production and water quality (physicochemistry and bacteriological analysis) and temperature. The inicial studies were done in Florianópolis/SC, through LAPOA/UFSC, where the bigger water production was registered in only one day of the year, in the value of 6,2 L/m<sup>2</sup> daily (March/2004) and the average water production by month between 3,1 L/m<sup>2</sup> and 3,7 L/m<sup>2</sup> daily, considering rainy and sunny days. After the optimization of the distillation system, the equipment was sent to a region in northeast during its worst solar radiation and was obtained an average production by month between 3,0 L/m<sup>2</sup> and 3,7 L/m<sup>2</sup> daily (May/2003 and March/2004), considering rainy and sunny days. In the equipment using an inverted pyramid, the average production by month was approximately between 1,4 L/m<sup>2</sup> and 1,7 L/m<sup>2</sup> daily (March and April/2004), for rainy and sunny days too. In the test carried out with Giardia's cyst and Helminto's eggs as a complementary to the study, there was a 100% removal in the treated water. In the attempts in Florianópolis/SC and Natal/RN, all the parameters of water quality analised are in the accordance with the drinking-water standard according to the Decree n° 518/2004 from the Health Ministry, but to the attempts with the very contaminated raw water.

**KEYWORDS:** water potabilization, solar distillation, water quality

## SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS</b> .....	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO/OBJETIVO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1 ENERGIA SOLAR E RADIAÇÃO SOLAR.....	16
2.2 DESSALINIZAÇÃO .....	23
2.2.2 Destilação Solar .....	29
2.2.3 Outras técnicas de dessalinização .....	38
1. Eletrodialise.....	38
2. Congelação .....	39
3. Osmose Reversa .....	39
4. Troca Iônica.....	41
2.3 QUALIDADE DA ÁGUA DESSALINIZADA .....	41
2.4 PADRÕES DE POTABILIDADE .....	47
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>49</b>
3.1 - DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCLINAÇÃO DA COBERTURA DE VIDRO DO EQUIPAMENTO (PIRÂMIDE) .....	50
3.2 – DETERMINAÇÃO DA MELHOR LÂMINA DE ÁGUA BRUTA NO INTERIOR DA BASE DO EQUIPAMENTO (PIRÂMIDE) .....	53
3.3 - ESTUDO DA PRODUÇÃO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS TRATADAS .....	55
3.3.1 – Equipamentos de tratamento de água tipos 1 e 2.....	56
3.3.2 – Equipamento de tratamento de água otimizado - Florianópolis/SC e Natal/RN ..	61
3.3.3 – Teste com cistos de giárdia e ovos de helmintos .....	66
3.4 – EQUIPAMENTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO UMA PIRÂMIDE INVERTIDA .....	66
3.4.1. Equipamento de tratamento de água utilizando uma pirâmide invertida .....	67
3.5 – PARÂMETROS DE CONTROLE.....	69
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>70</b>
4.1 – DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCLINAÇÃO DA COBERTURA DE VIDRO DO EQUIPAMENTO (PIRÂMIDE) .....	70
4.1.1 - Determinação da melhor inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) em função da temperatura da atmosfera interna.....	70
4.1.2 – Determinação da melhor inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) em função da temperatura da água .....	71
4.2 - DETERMINAÇÃO DA MELHOR LÂMINA DE ÁGUA BRUTA NO INTERIOR DA BASE DO EQUIPAMENTO (PIRÂMIDE) .....	72
4.3 - ESTUDO DA PRODUÇÃO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS TRATADAS EM AMBIENTE NATURAL .....	74
4.3.1 – Estudo da produção nos equipamentos de tratamento de água tipo 1 e tipo 2 .....	74
4.3.2 – Estudo da produção no equipamento de tratamento de água otimizado .....	77
4.3.3 – Estudo da qualidade da água produzida com o equipamento de tratamento de água otimizado .....	88
4.3.4 - Teste com cistos de giárdia e ovos de helmintos.....	98
4.3.5 – Produção de sal .....	98

4.4 ESTUDO DA PRODUÇÃO NO EQUIPAMENTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO UMA PIRÂMIDE INVERTIDA.....	99
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>101</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA NOVAS PESQUISAS.....</b>	<b>104</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 - Balanço de radiação da Terra: onda curta e longa -----	22
Figura 2 - Esquema de funcionamento do destilador solar (humidificação) -----	30
Figura 3 – Fotos de destiladores solares triangulares (telhado) -----	31
Figura 4 - Balanço de energia do destilador -----	36
Figura 5 - Processos de Osmose -----	40
Figura 6 - <i>Giardia lamblia</i> : dois cistos em fezes -----	44
Figura 7 - Ciclo da <i>Giardia lamblia</i> -----	45
Figura 8 - Foto de <i>Ascaris lumbricoides</i> ovo e <i>Ascaris lumbricoides</i> adulto -----	47
Figura 9 - Esquema do equipamento para obter a melhor inclinação para o transporte da água condensada -----	50
Figura 10 - Foto do equipamento para testar as inclinações da cobertura -----	50
Figura 11 - Desenho esquemático de uma das faces da cobertura de vidro (pirâmide) --	51
Figura 12 - Foto da cobertura de vidro (pirâmide) de 15°, 25°, 30° e 45° -----	52
Figura 13 - Foto da cobertura de 45°, com aquecimento artificial (chapa de aquecimento) -----	52
Figura 14 – Foto do equipamento com base de madeira para testar a melhor lâmina d’água -----	53
Figura 15 - Foto do equipamento de base de alumínio com gotículas de água -----	54
Figura 16 – Esquema de funcionamento dos equipamentos de tratamento de água tipo 1 e 2 e otimizado -----	55
Figura 17 – Foto do equipamento de tratamento de água 1 -----	58
Figura 18 – Base e calhas do equipamento de tratamento de água tipo 1 (vista em planta) -----	58
Figura 19 - Base e calhas do equipamento de tratamento de água tipo 1 (vista em perfil)-----	59
Figura 20 - Foto do equipamento de tratamento de água tipo 2 -----	60
Figura 21 - Base e calhas do equipamento de tratamento de água tipo 2 (vista em planta) -----	60
Figura 22 - Base e calhas do equipamento de tratamento de água tipo 2 (vista em perfil) -----	61
Figura 23 - Foto do equipamento de tratamento de água otimizado -----	64
Figura 24 - Foto do equipamento de tratamento de água otimizado com reservatório acoplado de água produzida -----	64
Figura 25 - Base e calhas do equipamento de tratamento de água otimizado de 100 x 100 cm (vista em planta) -----	65
Figura 26 - Base e calhas do equipamento de tratamento de água otimizado de 100 x 100 cm (vista em perfil) -----	65
Figura 27 - Foto do equipamento de tratamento de água utilizando uma pirâmide invertida -----	67
Figura 28 - Base do equipamento de tratamento de água uma pirâmide invertida de 40 x 40 cm (vista em planta) -----	68
Figura 29 - Base do equipamento de tratamento de água utilizando uma pirâmide invertida (vista em perfil) -----	68
Figura 30 - Produção de água em função da temperatura da atmosfera interna e inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) de base 35 x 35 cm -----	71
Figura 31 - Produção de água em função da área da cobertura de vidro (pirâmide) de base 35 x 35 cm -----	71

Figura 32 - Produção de água em função da temperatura da água e inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) -----	72
Figura 33 - Lâmina d'água em função do tempo de evaporação para o volume de 50 mL -----	73
Figura 34 - Produção de água em função da temperatura ambiente e temperatura da água -----	75
Figura 35 - Produção de água em função da radiação solar e temperatura ambiente ----	75
Figura 36 - Produção de água em função da temperatura ambiente e radiação solar -----	79
Figura 37 - Produção de água em função da temperatura ambiente e radiação solar -----	80
Figura 38 - Produção de água em função da temperatura ambiente e radiação solar -----	81
Figura 39 - Média de produção de água em função das médias de temperatura ambiente e radiação solar -----	81
Figura 40 - Produção de água em função da temperatura ambiente -----	83
Figura 41 - Produção de água em função da temperatura ambiente -----	84
Figura 42 - Média de produção de água em função das médias de temperatura ambiente e radiação solar -----	85
Figura 43 - Variação das análises em função do tratamento aplicado -----	90
Figura 44 - Variação das análises em função do tratamento aplicado -----	90
Figura 45 - Variação das análises em função do tratamento aplicado -----	91
Figura 46 - Variação das análises em função do tratamento aplicado -----	91
Figura 47 - Variação das análises em função do tratamento aplicado -----	95
Figura 48 - Variação das análises em função do tratamento aplicado -----	95
Figura 49 - Variação das análises em função do tratamento aplicado -----	96
Figura 50 - Remoção de cistos de <i>Giardia</i> e ovos de Helminto -----	98
Figura 51 - Produção de sal -----	99
Tabela 1 - Classificação das águas -----	23
Tabela 2 - Classificação dos processos de conversão de água salina -----	29
Tabela 3 - Comparação entre inclinação, tipo da cobertura, produção e local de realização dos estudos -----	35
Tabela 4 - Planilha de cálculo das dimensões das faces da cobertura de vidro (pirâmide) -----	51
Tabela 5 - Dimensões das faces da cobertura de vidro (pirâmide) -----	52
Tabela 6 - Parâmetros e métodos utilizados no período de monitoramento do equipamento -----	69
Tabela 7 - Resultado do estudo da melhor lâmina d'água -----	73
Tabela 8 - Produção de água no dia 26 de fevereiro de 2003 no equipamento de tratamento de água tipo 2 -----	74
Tabela 9 - Valores para o mês de Outubro/2003 -----	78
Tabela 10 - Valores para o mês de Novembro/2003 -----	79
Tabela 11 - Valores para o mês de Março/2004 -----	80
Tabela 12 - Valores para o mês de Maio/2003 -----	83
Tabela 13 - Valores para o mês de Março/2004 -----	84
Tabela 14 - Características da água bruta e água tratada durante o monitoramento -----	89
Tabela 15 - Características da água bruta e água tratada durante o monitoramento -----	94
Tabela 16 - Valores para o mês de Março/2004 -----	99
Tabela 17 - Valores para o mês de Abril/2004 -----	100

# 1 INTRODUÇÃO/OBJETIVO

A água é encontrada na natureza em fontes superficiais ou subterrâneas. Menos de 3% do total é composto por água doce, ou seja, que contém um volume reduzido de sais e apropriada para o abastecimento público. A água doce, normalmente utilizada para abastecimento, passa por um tratamento principalmente para a remoção de microrganismos e impurezas que possam afetar a saúde. Sendo assim, o abastecimento de água potável para as necessidades humanas é um dos problemas mais acentuados de muitos países de clima quente. Com isso, uma das alternativas para essas regiões que possuem falta de água doce é a utilização de uma água com alta concentração de sais, como a água salobra, encontrada nos aquíferos subterrâneos principalmente no Nordeste Brasileiro e também a água do mar.

Em nosso planeta a água é encontrada no estado líquido em grande abundância,  $\frac{3}{4}$  da superfície da Terra são recobertas por água e  $\frac{1}{4}$  é recoberta pela superfície terrestre, sendo que 97,2% do volume destas águas são salgadas, isto é, apresentam sólidos totais dissolvidos (STD) igual ou superior a 30.000 mg/L. Um outro percentual, bem menos significativo, é de água salobra, com sólidos totais dissolvidos entre 500 e 30.000 mg/L.

Somente a Terra, sendo um dos planetas mais bem dotado do sistema solar, apresenta temperaturas de superfície que permitem à água existir em seus três estados: líquido, sólido e gasoso. Somente ela, ao que se saiba, possui chuva, rios e oceanos. Os restantes 3% representa o estoque de água doce, onde cerca de 1% de água doce é disponível para consumo humano e 2% é o estoque de água em geleiras ou grandes profundidades. E toda esta água não está distribuída de maneira uniforme. Em alguns lugares sobra, em outros falta.

No Brasil, especialmente no Nordeste, região ciclicamente árida, a dessalinização vem sendo praticada em muitos municípios dos Estados que integram essa região, pois os poços

artesianos perfurados para amenizar as secas cíclicas apresentam, muitos deles, água salobra (BUROS, 1990, citado por DANTAS, 1998).

Atualmente muitos países e cidades estão se abastecendo totalmente de água doce extraída da água salgada do mar que, embora ainda a custos elevados, se apresenta como a única alternativa, concorrendo com o transporte em navios tanques, barcaças e outros.

Segundo Cravo e Cardoso (1996), o consumo de água doce no mundo cresce a um ritmo superior ao do crescimento da população, restando, como uma das saídas, a produção de água doce, retirando-a do mar ou das águas salobras dos açudes e poços. O uso das fontes alternativas de energia, como a eólica e a solar, apresenta-se como uma solução para viabilizar a dessalinização no nosso semi-árido, visando o consumo humano e animal e a micro-irrigação, o que propiciaria melhores condições para a fixação do homem no meio rural.

A dessalinização térmica é um dos processos mais antigos, imitando a circulação natural da água. O modo mais simples, a "destilação solar", é utilizada em lugares quentes, com a construção de grandes tanques cobertos com vidro ou outro material transparente, onde a luz solar atravessa o vidro, a água do líquido bruto evapora, os vapores se condensam na parte interna do vidro, transformando-se novamente em água, que escorre para um sistema de recolhimento. Dessa forma, separa-se a água de todos os sais e impurezas. Em lugares frios ou com carência de espaço, esse processo pode ser feito gerando-se calor através de energia. A melhor solução, neste caso, é a utilização de energia solar, que é mais barata, não consome recursos como petróleo e carvão e não agride o meio ambiente.

O destilador solar é, sem dúvida, um dos equipamentos de uso mais simples, além de indiscutível eficiência, na área do atual aproveitamento da energia solar. De manutenção simples, praticamente sem custos operacionais, purifica a água contaminada ou salgada, transformando-a em água adequada para consumo humano e dos animais (STEC - PB, 1984).

As técnicas de destilação solar são usadas há mais de 100 anos: a primeira aplicação conhecida sobre destilação solar foi em 1872 no norte do Chile para suprir com água potável a população de mineiros que trabalhavam nas minas de salgema daquela região. Este primeiro destilador, composto de unidades de 60 m<sup>2</sup> com uma área total de 4400 m<sup>2</sup> foi até 1908, a única fonte de água potável para a comunidade mineira. O destilador utilizou uma bacia preta rasa para reter água salgada e absorver radiação solar (KREITH e KREIDER, 1978; TLEIMAT, 1979; STEC - PB, 1984; SEE, 1960, citado por DUFFIE e BECKMAN, 1991 e RIOS, 2000).

Vários países, como o Kuwait, a Arábia Saudita e o Qatar, que apresentam problemas de abastecimento de água, construíram destiladores de água salgada, seja com o uso da energia solar ou com a queima de derivados de petróleo.

Este estudo teve como objetivo geral estudar e projetar um equipamento para tratamento de água através do processo de destilação solar natural para aplicação em residências rurais ou isoladas. E como objetivos específicos:

- Construir e operar de pilotos para produção de água através da destilação solar natural de águas salgada, salobra e doce contaminada;
- Determinar a melhor inclinação da cobertura de vidro do equipamento (pirâmide);
- Determinar a melhor lâmina de água bruta no interior da base do equipamento (pirâmide) para uma maior produção;
- Estudar a produção de água em função das variações climáticas;
- Estudar a qualidade físico-química e bacteriológica das águas bruta e tratada;
- Determinar a melhor forma para as calhas de coleta de forma a evitar a reevaporação da água produzida;

- Comparar uma pirâmide invertida com a anterior na produção de água, objetivando uma maior facilidade na coleta da água produzida e ao mesmo tempo coleta de água de chuva e;
- Projetar um equipamento para potabilização de água através de destilação solar natural para uma produção diária  $\geq 8$  litros;

A pesquisa está estruturada em sete capítulos. No primeiro, apresenta-se a introdução e os objetivos; no segundo, expõem-se os materiais e métodos; no terceiro, apresenta-se e discutem-se os resultados dos ensaios; no quarto, expõem-se as conclusões finais do trabalho; no quinto, são feitas as considerações para pesquisas futuras e a bibliografia.

## 2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ENERGIA SOLAR E RADIAÇÃO SOLAR

O sol apresenta uma temperatura superficial próxima dos 6000°C. Devido a complexas reações, se produz uma perda de massa do sol a qual se converte em energia. Tal energia é liberada pelo sol, sendo transmitida para o exterior, denominada de radiação solar. A Terra recebe tal radiação propiciando a vida em nosso planeta e, além disto, é aproveitada como fonte de energia para diversas aplicações. A radiação recebida pela Terra não é constante já que depende da época do ano e da latitude e longitude do lugar. A nível do mar, e em dias limpos, pode ser recebida uma intensidade de radiação de 1000W/m<sup>2</sup>.

Segundo Bezerra (1982, citado por SOARES, 2001), a energia solar é uma fonte não poluente, podendo ser utilizada de forma concentrada. A constante solar fora da atmosfera terrestre é de 1,4 KW/m<sup>2</sup>. Ao entrar na atmosfera parte desta potência é absorvida pelas impurezas, poeiras, vapor d'água e outros. A mesma incidente na superfície da Terra é apresentada de forma eletromagnética e está assim distribuída: 3% de ultravioleta, 42% de luz visível e 55% de infravermelho. Dependendo da maneira como for captada, os níveis de temperatura obtidos podem variar desde a temperatura ambiente até alguns milhares de graus centígrados.

Em ordem para evaporar 1 Kg de água numa temperatura de 30°C cerca de 2.4x10<sup>6</sup> J é requerido, assumindo uma insolação de 250 W/m<sup>2</sup> medida sob 24 horas e esta energia poderia evaporar um máximo de 9L/m<sup>2</sup>/dia. Na prática perda de calor ocorrerá e a média de água produzida pode ser de 4 a 5 L//m<sup>2</sup>/dia o qual tem uma eficiência de 45 – 55%. A vazão porque o destilador solar é ineficiente é que a energia considerável deve ser fornecida para evaporar a água.

Nestas três últimas décadas a energia solar, como uma fonte inesgotável de energia das mais promissoras, têm sido um tema bastante comentado com possibilidades de utilização as mais diversas, notadamente nos países tropicais e subtropicais como é o caso do Brasil e outras regiões do continente africano, onde a radiação solar se faz presente em quantidade e qualidade as melhores existentes em todo o mundo (BEZERRA, 1982).

Bezerra (1982), fez um histórico da contribuição da energia solar na história da humanidade e constatou que:

- Os primeiros coletores solares de que se têm notícias foram construídos no ano 212 aC por Arquimedes, físico, matemático e prolífico inventor. Atribui-se a Arquimedes o feito lendário de ter incendiado a frota romana com o emprego de um conjunto de espelhos, dirigindo a radiação solar incidente em direção às velas dos navios romanos. Uma outra versão refere-se a este feito, não com o emprego de espelhos e sim com o emprego dos escudos dos soldados, devidamente polidos, que defendiam Siracusa do ataque da frota romana. Esta é seguramente a primeira aplicação bélica da energia solar de que se tem notícia.
- Em 1560 o cirurgião francês Ambroise Paré construiu um alambique solar. Salomon de Caux, engenheiro francês, construiu uma caldeira solar em 1615, sendo esta a primeira notícia escrita da conversão da energia solar em energia mecânica.
- Entre 1854 e 1873, C. Gunter realizou experiências visando a produção de vapor via energia solar, montou um sistema de espelhos de forma parabólica cuja radiação solar incidente dava origem a um foco linear no qual se encontrava uma caldeira rudimentar formada por um tubo com água. O conjunto era manualmente deslocado para acompanhar o movimento aparente do sol de modo que a posição do foco permanecesse invariável.
- De 1860 a 1878, Auguste B. Mouchot, professor no Liceu de Tours, que construiu diversas caldeiras solares. Apresentou em 1866, numa exposição em Paris, a primeira máquina a vapor alimentada por tais caldeiras. Em 1875, realizou as primeiras aplicações da

energia solar para o bombeamento de água. Mouchot foi pioneiro em refrigeração com o emprego da energia solar, utilizando um ciclo de absorção água-amônia, descoberto em 1828 por Michael Faraday na Royal Institution de Londres. Ainda em 1878, com o emprego de refletores parabólicos, o inventor A. Pifre construiu caldeiras solares e exibiu o seu invento na exposição de Paris, o qual acionava uma prensa tipográfica.

- Entre 1870 e 1884, John Ericson, engenheiro de origem sueca, contribuiu na construção de engenhos solares, alguns a vapor e outros a ar quente.

- De 1901 a 1911, surgiram efetivamente as primeiras aplicações em grande escala da energia solar. Em 1901 em Pasadena - Califórnia, Aubrey G. Eneas desenvolveu sistemas solares para bombeamento de água.

- Entre 1906 e 1911, Frank Shuman construiu painéis solares utilizando coletores planos. Em 1911 foi fundada em Londres uma empresa denominada SUN POWER COMPANY, que em 1913 inaugurou o primeiro grande sistema solar de irrigação e que funcionou às margens do rio Nilo, em Meadi, perto do Cairo.

- Em 1950 surgiu um fato novo e importante para a energia solar. Descobriu-se que certos materiais denominados de semicondutores tinham a propriedade de gerar eletricidade quando expostos à luz, principalmente a luz solar.

- A energia nas suas mais variadas formas, se no passado exerceu papel de fundamental importância no estabelecimento dos padrões étnicos da sociedade contemporânea à época, seria hoje inadmissível pensar que a manutenção destes padrões pudesse prescindir do concurso da energia nas suas mais variadas formas.

- Enquanto isto, entre 1973 e 1975 a Austrália passou de 8.400 metros quadrados de coletores planos instalados para aquecimento de água residencial para 25.300 metros quadrados. O Japão bate o recorde com mais de cinco milhões de sistemas instalados com a mesma finalidade.

Delyannis e Belessiotis (1996), relatam que nas Ilhas do Pacífico estão utilizando a energia solar de duas maneiras: para aquecimento solar da água e para sistemas fotovoltaicos solares para eletrificação em áreas rurais e remotas. O aquecimento solar da água foi introduzido por volta dos anos oitenta como um projeto de demonstração. Desde então, isto foi bem aceito e espalhou-se através da região, especialmente em casas de alta renda, hotéis e outros. Enquanto alguns dos sistemas são importados, a simplicidade e o amplo uso desta tecnologia permitiu muitas fabricações locais.

O Brasil, dada a sua condição de país tropical, detém todas as condições para promover o desenvolvimento de um programa integrado configurado pelas energias ditas alternativas. A tecnologia a ser desenvolvida nesta área deverá ser fundamentalmente aquela capaz de se adequar às nossas necessidades mais prementes, notadamente nas regiões mais pobres do país, onde existem até mesmo a carência de água de boa qualidade para matar a sede das populações.

A energia solar é uma realidade que deverá ser contemplada dentro de um enfoque científico e tecnológico, coerente com a sua condição de energia diluída, mas que mesmo assim põe à disposição da humanidade uma potência solar da ordem de  $1\text{Kw/m}^2$  de superfície do globo.

Segundo See (1960, citado por Duffie e Beckman, 1991), apresenta a descrição da história e operação da produção de sal por evaporação solar de água. O processo é uma cristalização fracional. Reservatórios de água são preenchidos com salmoura para ser evaporado e exposto a radiação, onde a concentração aumentará com o tempo, e a cristalização ocorrerá quando a saturação for alcançada. A operação no reservatório depende da fonte de alimentação de água. Água do mar contém aproximadamente 3.5% de sais, com aproximadamente  $2/3$  de NaCl (produto desejado). A evaporação da água do mar pode ser considerada em três estágios. O primeiro é concentração de salmoura para trazer a solução

para saturação (aproximadamente 23% de sais) e é a maior em área. Esta solução é transferida para o reservatório do segundo estágio, onde os primeiros sais para cristalizar são cálcio, magnésio, e carbonatos de ferro e sulfetos. Então a solução vai cristalizando nos reservatórios onde NaCl cristalizados saem, necessitando-se um maior volume de água para evaporar antes que a solução chegue perto do ponto de saturação para cloretos de magnésio e potássio, brometos e outros sais (sais amargos). O sal precipitado no reservatório de cristalização é NaCl numa razoável forma pura e é colhido mecanicamente.

De acordo com Block *et al.* (1951, citados por Duffie e Beckaman, 1991) a evaporação solar tem sido interesse substancial para produção de sal e também para estimativa nas perdas de evaporação do estoque de água dos reservatórios. O número de estudos deste processo tem sido publicado, incluindo artigos de medição de tanques de sal e rios e reservatórios (GEOLOGICAL SURVEY, 1954).

A radiação solar é uma superposição de ondas eletromagnéticas cujos comprimentos de ondas estão compreendidos entre 0,25 $\mu$ m e 4 $\mu$ m. A radiação solar da parte difusa representa cerca de 10% a 15% da radiação direta total que chega a superfície da Terra num dia ensolarado e sem nuvens.

As radiações que atingem a superfície do globo terrestre podem originar-se diretamente do sol ou provir da reflexão pelo céu ou pela lua. As radiações emitidas direta ou indiretamente por outros corpos celestes são de intensidade desprezível, na consideração dos fenômenos limnológicos. A intensidade das radiações emitidas diretamente pelo sol em um dia sem nuvens depende da hora do dia, da estação do ano e da latitude, ou seja, da inclinação com que os raios atingem a superfície da terrestre (INPE, 2003).

A luminosidade procedente do céu é originada pela difusão dos raios solares provocada por partículas cuja dimensão molecular é proporcional à quarta parte da potência

da radiação e, assim sendo afetam mais as ondas de pequeno comprimento que as longas, resultando disto, a coloração azul que se observa em dias claros (BRANCO, 1986).

O balanço de energia radiante na Terra é complexo. Parte da radiação solar (em torno de 30%) é refletida pela atmosfera e pelas nuvens. Nas regiões tropicais os raios solares estão mais perto da vertical, enquanto que nas regiões polares eles estão muito inclinados em relação ao solo. Assim, a radiação solar é mais intensa e penetrante nas primeiras; nas últimas, o aquecimento resultante é escasso. Ainda, a cada momento o hemisfério noturno (50% da superfície terrestre) não é iluminado (INPE, 2003).

Até atingir a superfície da Terra, a radiação solar sofre inúmeras interações com a atmosfera terrestre. A níveis mais altos, cerca de 25km acima da superfície terrestre, o processo de interação ocorre e remove virtualmente toda a radiação ultravioleta (Bezerra, 1982, citado por SENEM, 2000).

As radiações com comprimento de onda na faixa do visível e infravermelho interagem com os gases moleculares e partículas de poeira da atmosfera sem, no entanto serem capazes de produzir fraturas de ligação. Em vez disso elas são dispersas mais ou menos uniformemente em várias direções, de modo que parte da radiação é dirigida novamente para o espaço.

Ainda segundo Bezerra (1982, citado por SENEM, 2000) as gotas de água também causam forte dispersão da radiação e quando isto ocorre densamente, como no caso de uma fina nuvem, a dispersão múltipla pode fazer com que mais de 80% da radiação incidente retorne ao espaço.

Durante um dia, a Terra gira uma vez em torno de si mesma e todas as longitudes recebem radiação solar (radiação de onda curta) emitem e absorvem radiação térmica. Algumas latitudes têm um saldo positivo, e outras um saldo negativo. O excesso absorvido nos trópicos é transportado na direção das latitudes maiores, através das correntes oceânicas e

pela circulação da atmosfera. A distribuição horizontal e vertical da temperatura, umidade e ventos (incluída a presença de nuvens, aerossol e diversos gases atmosféricos) influencia no balanço de energia sobre um dado local ou região. Esse balanço é variável no tempo, mas tende a "fechar" em cada local no período de um ano. As suas características definem o clima regional (INPE, 2003). A Figura 1 apresenta o balanço da radiação na Terra através de ondas curtas e longas.

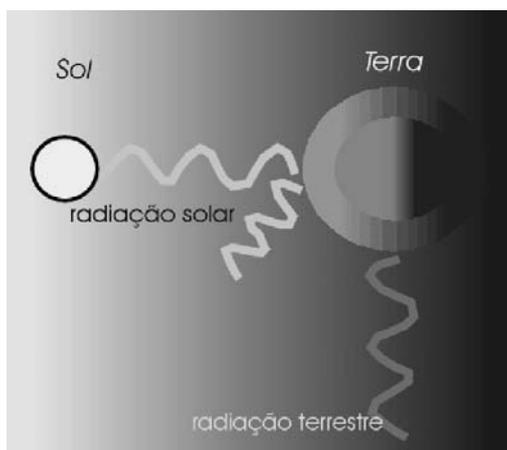


Figura 1 - Balanço de radiação da Terra: onda curta e longa  
Fonte: INPE, 2003.

Segundo Bezerra (1982), estas interações com a atmosfera reduzem a radiação solar na superfície da Terra há um pouco mais que a metade daquela existente nos limites externos da atmosfera. Estes efeitos, contudo, variam, de lugar para lugar, dependendo da constituição da atmosfera.

Segundo BLANCO *et al.*, 1999, citado por SOARES, 2001), a descontaminação das águas contaminadas é hoje a mais bem sucedida aplicação fotoquímica dos fótons solares, com importantes vantagens e projetos já em operação. Isto é devido ao fato de que esta descontaminação é uma demonstração que o sol (uma fonte de energia renovável) é uma alternativa adequada para solucionar problemas ambientais, mas também que ele é um processo seletivo, que trabalha com misturas complexas dos contaminantes. Referências e

patentes relacionadas com a remoção fotocatalítica heterogênea de compostos tóxicos e perigosos na água e no ar, publicados durante a última década são muitos.

Em lugares onde a radiação solar disponível é de média a alta, a descontaminação solar é útil para o tratamento de contaminantes da água com muitas centenas de mg/L de contaminantes não-biodegradáveis (BLANCO *et al.*, 1999, citado por SOARES, 2001).

## 2.2 DESSALINIZAÇÃO

### 2.2.1 Conceito e Aplicações

As águas salgadas encontradas na natureza têm inúmeros sais nela dissolvidos. As águas doces, potáveis, apresentam pequena quantidade de sal dissolvido, o que possibilita o consumo.

A água do mar não é a única muito mineralizada que pode ser utilizada como fonte de água doce. Existem também as águas salobras, onde o teor de sal é inferior ao da água do mar, de origem superficial ou subterrânea, mas acima do limite de uso doméstico e potável. É a famosa água de poço, que não faz espuma quando se lava alguma coisa com ela (UNIAGUA, 2003).

Essas águas podem ser encontradas nas regiões mais áridas da Terra, em particular no Oriente Médio, mas sua utilização depende da capacidade de renovação. No Brasil, grande parte do Sertão Nordestino, a pouca água existente é salobra. A Tabela 1 mostra a classificação das águas.

Tabela 1 – Classificação das águas

<b>Águas Doces</b>	<b>Águas Salobras</b>	<b>Águas Salinas</b>
Águas com salinidade igual ou inferior a 0,50 ‰	Águas com salinidade entre 0,50 ‰ e 30 ‰	Águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰

Fonte: Modificado de CONAMA, 1986.

Chama-se de solução salina a dissolução de um sal (soluto) em um líquido (solvente), sendo este líquido normalmente a água. Se dissolvermos uma colher de sal de cozinha (cloreto de sódio) em um copo d'água pura, teremos uma solução salina de cloreto de sódio. Se

pusermos mais colheres de sal no mesmo copo, a solução ficará mais "salgada", isto é, a concentração do sal ficará maior até a saturação (UNIAGUA, 2003).

Os diferentes sais existentes na natureza apresentam diferentes capacidades de se dissolver na água. Existem os sais que se dissolvem muito pouco ou nada (insolúveis) até os que se dissolvem em grandes quantidades e com facilidade (cloreto de potássio).

Existem ainda substâncias que se dissolvem em água com facilidade, como a sacarose (açúcar), mas resultam em soluções um pouco diferentes das soluções salinas, pois não são soluções eletrolíticas, isto é, não conduzem a corrente elétrica (UNIAGUA, 2003).

Já antes da nossa era, os marinheiros evaporavam a água do mar e recuperavam em esponjas. Isto é muito vantajoso para os navios, ao invés de embarcar água potável, destilar a água do mar.

A dessalinização é usada para designar qualquer processo empregado na desmineralização parcial ou completa de águas muito salinas, como a água do mar (35000 ppm de sais dissolvidos) ou águas salobras. O objetivo do processo de desmineralização parcial é diminuir o teor de sal a um grau que torne a água conveniente para ser bebida (preferencialmente inferior a 500 ppm de sais) ou para outras finalidades gerais. Quanto ao processo de desmineralização completa, visa fornecer água apropriada para utilização em caldeiras de alta pressão e em algumas outras aplicações industriais.

Em trabalhos realizados por Tleimat (1979), o destilador consiste em um recipiente de água salgada, de fundo negro para absorver a luz do sol, coberto com placas de vidro transparentes que formam um ambiente hermético. As coberturas transparentes se inclinam sobre esta cuba coletora. Quando o destilador está em funcionamento, a energia solar passa através das coberturas transparentes e é absorvida pela água e pelo revestimento interior do recipiente. A energia absorvida esquenta a água salgada e faz com que evapore parte dela e que aumente a umidade do tempo junto da superfície da mesma, produzindo então as

correntes de convecção dentro do ambiente do destilador. O ar úmido, mais quente, sobe até o vidro, mais frio, em cuja superfície parte do vapor d'água se condensa, desliza para baixo e cai gotejando para cuba coletora, saindo pelos extremos desta em forma de água doce. Para impedir a precipitação nas saídas do recipiente, pode-se colocar água salgada de maneira contínua ou descontínua. A quantidade de água salgada contida no recipiente deve ser, no mínimo, o dobro de água doce produzida.

Ainda, de acordo com o autor citado, a cobertura transparente pode ser de vidro ou de plástico. Excetuando-se sua vulnerabilidade ao dano mecânico, o vidro possui todas as propriedades desejadas, como uma alta transmissão da radiação solar, uma baixa transmissão da radiação de baixa temperatura, umidade da água, facilidade de obtenção e alta estabilidade de suas propriedades durante prolongados períodos de exposição. As coberturas de película de plástico transparentes utilizadas nos destiladores solares têm mostrado uma transmissão relativamente alta de radiação solar e de baixa temperatura, e também uma degradação devido aos raios ultravioleta. É preciso tratá-las mecanicamente para torná-las molhadas. Por outro lado, mesmo que películas de plástico sejam menos vulneráveis aos danos mecânicos, elas são sensíveis aos efeitos de vento e não têm sido aperfeiçoadas suficientemente ainda para que resistam a longo tempo nas condições inerentes da destilação solar.

Como as propriedades herméticas dos vapores influem muito no rendimento dos destiladores solares, a obstrução da cobertura transparente destes para impedir possíveis fugas de vapor é de suma importância.

Os materiais empregados para o revestimento do tanque têm que ser impermeáveis e capazes de absorver a radiação solar. É preciso que esses revestimentos possam resistir a elevadas temperaturas sem deteriorar.

A cuba coletora do condensado e os tubos têm que ser de materiais que resistam a água destilada. Com esse objetivo pode ser utilizado um recipiente plástico (TLEIMAT, 1979).

A dessalinização de água tem sido um dos mais importantes trabalhos tecnológicos realizados em muitos países. Para esse objetivo, a energia solar é o atraente caminho familiar na produção de água potável onde o custo da energia aumenta constantemente (AKASH *et al.*, 1998; ELKADER, 1998) e BOUKAR e HARMIN, 2001). A verdade é que se o crescimento populacional continuar aumentando como vem ocorrendo até então, o problema do suprimento de energia assumirá no futuro proporções preocupantes com previsões de racionamento energético, indesejável e prejudicial à economia do país. A solução terá que vir quer seja através do controle de natalidade ou de novas formas de energia como as energias alternativas, nas suas mais diferentes manifestações.

Segundo Bezerra (1982), países como os EUA, Alemanha, Austrália, Índia, França e Israel já trabalham em diferentes planos de desenvolvimento tecnológico do aquecedor solar. Israel, por exemplo, iniciou seu plano ainda na década de 50 e hoje alcança a surpreendente marca de 70% de suas residências equipadas com aquecimento solar.

A evaporação solar para produzir sais a partir da água do mar ou outros tipos de água salgada (salmoura) é uma operação industrial em larga escala, e de bases mundialmente conhecidas de aproximadamente de 1/3 da produção de sal. Nos Estados Unidos, facilidades solares na produção de sal são concentradas no Grande Lago Salgado e nas áreas da Baía de São Francisco. Esta é a melhor tecnologia estabelecida.

Rios (2003), fez um histórico da dessalinização e constatou que:

- Em 1928, foi instalado na cidade de Curaçao uma estação dessalinizadora pelo processo da destilação artificial, com uma produção diária de 50 m<sup>3</sup> de água potável.

- Nos Estados Unidos da América as primeiras iniciativas para o aproveitamento da água do mar datam de 1952, quando o Congresso aprovou a Lei Pública número 448, cuja finalidade seria criar meios que permitissem reduzir o custo da dessalinização da água do mar. O Congresso designou a Secretaria do Interior para fazer cumprir a lei, daí resultando a criação do Departamento de Águas Salgadas.

- Em 1964 entrou em funcionamento o alambique solar de Syni, ilha grega do Mar Egeu, considerado o maior da época, destinado a abastecer de água potável a sua população de 30.000 habitantes.

- A Grã-Bretanha, já em 1965, produzia 74% de água doce que se dessalinizava no mundo, num total aproximado de 190.000 m<sup>3</sup> por dia.

- No Brasil, algumas experiências com destilação solar foram realizadas em 1970, sob os auspícios do ITA- Instituto Tecnológico da Aeronáutica, em São José dos Campos.

- Em 1971 as instalações de Curaçao foram ampliadas para produzir 20.000 m<sup>3</sup> por dia.

Rios (2003), relacionou ainda que em 1983, o LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Lisboa- Portugal, iniciou algumas experiências com o processo de osmose reversa, visando, sobretudo, o abastecimento das ilhas dos Açores, Madeira e Porto Santo e em 1987, a Petrobrás iniciou o seu programa de dessalinização de água do mar para atender às suas plataformas marítimas, usando o processo da osmose reversa, tendo esse processo sido usado pioneiramente, aqui no Brasil, em terras baianas, para dessalinizar água salobra nos povoados de Olho D'Água das Moças, no município de Feira de Santana, e Malhador, no município de Ipiara.

Atualmente existem cerca de 7.500 usinas em operação no Golfo Pérsico, Espanha, Malta, Austrália e Caribe convertendo 4,8 bilhões de metros cúbicos de água salgada em água doce, por ano. O custo, ainda alto, está em torno de US\$ 2,00 o metro cúbico (RIOS, 2003 e METROSANTOS, 2003).

Entretanto, a dessalinização não é um processo aplicado só à água do mar. Os poços artesianos, principalmente os das bacias cristalinas, caso de 95% do semi-árido nordestino, apresentam-se na sua grande maioria, com água salobra que, uma vez dessalinizada, é uma solução para atender ao meio rural.

Cravo e Cardoso (1999), informaram que a descoberta e implementação de novos métodos e técnicas ocorreram simultaneamente em outros países, entre os quais destacam-se a Inglaterra, Itália, França, Alemanha e Japão. No Brasil, grupos não consolidados de pesquisadores, mas com alguns especialistas de nível internacional, estão implementando estudos sobre a dessalinização de águas.

Buros (1990, citado por DANTAS, 1998), mostrou que não existe um melhor método de dessalinização. Geralmente, a destilação e a osmose reversa são usadas para dessalinizar a água do mar, enquanto que eletrólise e, também a osmose reversa são utilizadas para dessalinizar a água salobra. Entretanto, a escolha do processo dependerá de cuidadoso estudo das condições locais e da aplicação do processo mais apropriado para a região a ser estudada.

Foi melhorando as condições de destilação, em particular, a diminuir o custo de produção, que outros métodos surgiram, dividindo-os em dois processos: os que retiram os sais da salmoura, através de membranas e da troca iônica e os que retiram a água da salmoura, através da destilação, congelamento e extração. Dentre todos os processos experimentados, nenhum deles pode ser considerado superior de forma indiscutível, pois cada um apresenta vantagens e inconvenientes em função da região, da vazão, das fontes locais de energia e das características de demanda local. A Tabela 2 apresenta a sub-divisão destes processos.

Tabela 2 – Classificação dos processos de conversão de água salina

<b>Processo de separação da água por sais dissolvidos</b>	<b>Processo de separação do sal da solução</b>
Destilação ou evaporação	Eletrodiálise
Múltiplo efeito	Osmoses
Estágios sucessivos	Absorção
Compressão de vapor	Extração do líquido
Humidificação (solar)	
Cristalização ou congelação	Troca iônica
Congelamento direto	Difusão controlada
Congelamento indireto	Sistema biológico
Hidratação	
Osmose reversa	
Extração de solventes	

Fonte: Modificado de Clark, 1985.

## 2.2.2 Destilação Solar

### 1. Princípios e Aplicações

A destilação solar consiste no aquecimento da água pelos raios solares e assim, propicia a produção de vapor d'água e esse vapor é então condensado numa superfície fria e o condensado coletado como água-produto.

Segundo Buros (1990, citado por DANTAS, 1998), a humidificação solar (Figura 2), emprega diretamente a energia solar para dessalgar a água salina e tem sido investigado e usado por algum tempo. Durante a segunda guerra mundial, considerável trabalho foi dirigido à execução de pequenos alambiques solares para uso em botes salva-vidas. Esse trabalho prosseguiu após a guerra, resultando numa variedade de dispositivos construídos e testados.

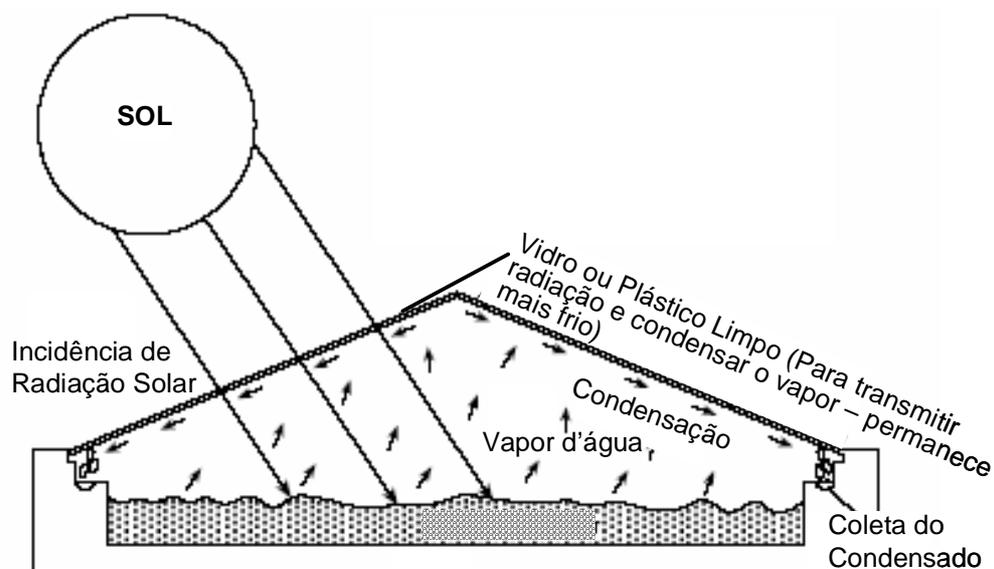


Figura 2 – Esquema de funcionamento do destilador solar (humidificação)  
**Fonte:** Bueros, 1980.

Garcias (1985), relata que a destilação solar simples (humidificação) é o processo mais indicado para a utilização em locais de difícil operação e manutenção. Consiste em uma estufa, com uma pequena lamina de água salina e coberta por vidro. Os raios solares atravessam o vidro e aquecem a água até ocorrer a evaporação. É de baixo custo, fácil montagem e requer como operação apenas a limpeza periódica do sal depositado no fundo. Como manutenção, requer serviços simples de substituição de vidros que sejam eventualmente quebrados e desobstrução das canaletas e condutos (eventualmente).

Segundo Cometta (1977), destiladores solares têm a vantagem de que seu produto, a água doce, é tanto mais exigido quanto maior é a insolação, sendo, portanto maior sua produção. O diagrama da produtividade tende a seguir o da demanda. Isto é importante para o melhor aproveitamento e mais econômico das instalações. Supondo que a radiação solar diária disponível tenha um valor médio de  $5000\text{Kcal/m}^2$  por dia, e considerando, que para a destilação da água, ocorrem por volta de  $600\text{Kcal/Kg}$ , um destilador com superfície de  $1\text{ m}^2$  poderia fornecer, teoricamente, cerca de 8 litros de água destilada por dia.

O destilador solar de cobertura inclinada é uma unidade em que está dividida em estreitos vãos paralelos, cada uma delas com uma diferente altura. Neste tipo de construção pode-se obter maiores rendimentos que com o tipo tanque (TLEIMAT, 1979). A Figura 3 mostra um conjunto de destilador cuja cobertura é inclinada.



Figura 3: Fotos de destiladores solares triangulares (telhado)  
**Fonte:** Buros, 1990.

Senem (2000) estudou um destilador solar de  $1 \text{ m}^2$ , a cobertura de vidro em forma de uma pirâmide com inclinação de  $45^\circ$  com a horizontal e com base em aço galvanizado pintada na cor preta. Através da destilação solar de água do mar, obteve uma produção de  $3,5 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ .

Vários autores utilizaram tinta preta na base do destilador, pois a cor preta absorve mais a radiação solar, aumentando assim a sua eficiência, ou seja, maior é a produção de água (BRINKWORTH, 1981; AKASH *et al.*, 1998; FATH, 1998; CAPPELLETTI, 1999; SENEM, 2000; BOUKAR e HARMIN, 2001; NAIM e KAWI, 2002; CERDA *et al.*, 2002 e BOUCHEKIMA, 2002).

Garcias (1985), estudou a qualidade da água obtida por destilação da água do mar, usando como fonte de calor a energia solar, e a qualidade da água da chuva, através de uma destiladora de  $160 \text{ m}^2$ . Os destiladores implantados foram classificados como convencionais compostos por uma cuba, onde foi colocada a água a ser destilada, com uma lâmina média de 3 cm. A cuba foi totalmente coberta com um teto transparente de vidro tipo telhado, ou seja,

duas águas, com uma inclinação de 20° com a horizontal. Cerda *et al.* (2002) estudou um destilador com o mesmo princípio, mas com ângulo de 45° com a base de aço galvanizado e evidenciou que o processo de destilação solar reduz excessivamente o teor de sais na água.

Cappelletti (1999) observou que o destilador solar é um aparelho que permite obter água doce utilizando água bruta salgada ou salobra. Ele utiliza o efeito estufa usando a energia solar. Num destilador solar convencional a produção de água potável em dia claro e temperatura ambiente agradável foram de 5 a 5.5 L/ m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>, de acordo com profundidade da água no destilador solar. O objetivo da pesquisa realizada na Itália foi aumentar a produtividade pela destilação utilizando o calor latente liberando vapor d'água condensada.

Com esse objetivo, Cappelletti (1999), construiu um destilador solar com cobertura em forma de telhado caracterizado por duas bases (B1 e B2) sobrepondo uma sobre a outra. Os materiais de construção foram uma folha preta de Plexiglas para o fundo do destilador solar, uma folha transparente de Plexiglas para todas as caixas, e uma folha expandida de poliestileno, usada como material isolante. O destilador solar foi hermeticamente vedado para reduzir vazamentos do vapor dos seus arredores. A maior quantidade de água fresca obtida pelo destilador solar testado foi de 1.7 – 1.8 L m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. A eficiência do destilador solar testado foi por volta de 16%. A baixa eficiência é provavelmente devido a baixas temperaturas da água contida no destilador (por volta de 50°C). O destilador solar já usado somente em experimentos por alguns meses, durante o qual não foi possível estudar a deterioração do material (Plexiglas). Estes resultados mostraram que um projeto elaborado e o aumento nos custos para tal projeto de construção não fazem sempre a produção de água melhorar.

Estudos feitos por Boukar e Harmim (2001), mostram que obter água potável é uma das maiores ocupações das pessoas rurais em áreas desertas. A introdução da destilação solar em zonas áridas na Argélia promete aumentar a qualidade de vida e o padrão de saúde, incluindo a sobrevivência infantil. O objetivo da pesquisa foi estudar o efeito das condições

climáticas no desempenho de um simples destilador e um similar acoplado em uma chapa fixa do coletor solar. Testes foram conduzidos na estação solar de Adrar, na parte nigeriana do deserto do Sahara.

O desempenho do destilador solar foi comparado com um acoplado. Foram testadas em um dia inteiro as produtividades sob condições de céu claro e limpo, com diferentes níveis de profundidade em águas salobras nos períodos de inverno e verão num ciclo de três meses de testes de janeiro até março de 2000. Dados foram tirados durante todos os tipos de condições climáticas. O ciclo de três meses de estudo mostrou que a produtividade do destilador simples e do similar acoplado depende da radiação solar e da temperatura ambiente. A produtividade diária do destilador no período de verão varia desde 4.01 até 4.34 L/m<sup>2</sup>.d para o tanque simples do destilador solar e de 8.02 até 8.07 L/m<sup>2</sup>.d para um acoplado.

Trabalho feito por Elkader (1998) apresenta os resultados experimentais realizados com o destilador solar com cobertura inclinada para estudar os efeitos da separação livre, ângulo da inclinação da base e ângulo da inclinação da cobertura de vidro no desempenho do destilador. Na ordem, foram investigados os parâmetros envolvidos através de três modelos de destiladores; foram projetados, manufaturados e testados contra algumas medidas experimentais em um destilador de 1m x 1m de área de base. Os modelos foram projetados numa maneira de poder dar ângulos de inclinação da base e ângulos de declividade do vidro diferentes. A comparação entre os três modelos foi feita com três ângulos de declividade dos vidros. Os resultados do teste mostram que o modelo com ângulo de 15° de declividade da base e 35° de declividade do vidro deram o melhor resultado. Isto dá uma quantidade de água dessalinizada diária de 5.6 L/m<sup>2</sup>. dia.

Trabalhos feitos por Akash *et al.* (1998), avaliaram que destiladores solares de tanque simples podem ser usados para dessalinização da água. Provavelmente, eles são considerados a melhor solução para produção de água em áreas afastadas, áridas a semi-árida, pequenas

comunidades, onde a água potável é inexistente. De qualquer forma, a quantidade de água destilada produzida por unidade de área é um tanto baixo a qual torna o destilador solar de tanque simples inaceitável em alguns exemplos. O objetivo foi estudar os efeitos do uso de diferentes materiais absorventes num destilador solar, e desta maneira ressaltar a produção da água. Resultados experimentais mostram que a produtividade de água destilada foi ressaltada por alguns materiais. Como exemplo usando uma esteira de borracha preta, aumentando a produção diária de água em 38%. Usando tinta preta aumentando isto para 45%. Tinta preta foi o melhor material absorvente usado em condições de produção de água. Isto resultou um aumento aproximadamente em 60%. O destilador usado neste estudo foi destilador solar de tanque simples com inclinação dupla e com uma área efetiva de insolação de 3 m<sup>2</sup>.

Senem (2000), constatou que o aumento da produtividade da água poderá reduzir a área efetiva de insolação do destilador solar, a qual tem sido considerada a maior desvantagem no destilador solar. A eficiência térmica e a produção diária por m<sup>2</sup> de um destilador solar de simples efeito pode ser aumentado como reduzindo a lâmina d'água na base, injetando tinta preta na massa de água, e reduzindo a perda de calor. Isto pode ser melhorado integrando o destilador com outro aquecedor solar ou adensador solar.

O desenvolvimento dos sistemas de destilação solar tem demonstrado sua conveniência para processos de dessalinização quando as condições do tempo são favoráveis e a demanda não é muito grande, por exemplo, menos que 200 m<sup>3</sup>/d. (FATH, 1998).

Fath (1998) e Boukar *et al.* (2001), observaram que a fibra de vidro é o material ideal para ser usado na construção do destilador solar. Ela é resistente, não corrosiva, forte e flexível. A superfície moldada é extremamente resistente podendo ser facilmente mantida limpa. A base pode ser pintada de preta para otimizar a eficiência, o pigmento deve ser adicionado na resina. A única desvantagem da fibra de vidro é o custo.

A Tabela 3 mostra a comparação dos estudos de diversos autores.

Tabela 3 – Comparação entre inclinação, tipo da cobertura, produção e local de realização dos estudos.

<b>Autor</b>	<b>Inclinação da cobertura (°C)</b>	<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Produção (L/m<sup>2</sup>.dia)</b>	<b>Local</b>	<b>Observação</b>
Ribeiro e Nunes (1983)		uma água (tipo telhado)	3,4 a 5,2	Fortaleza	Inclinação não registrada
Torres (1984)	10	uma água (tipo telhado)	4,1	Paraíba	
STEC (1984)	10	uma água (tipo telhado)	5,0	Recife	
Garcias (1985)	20	uma água (tipo telhado)		Paraná	Produção não registrada
Hamed et al. (1993)		uma água (tipo telhado)	2,8		Inclinação e local estudado não registrados
Elkader (1998)	35	½ água	5,6	Egito	
Akash et al. (1998)	35	uma água (tipo telhado)	2,1	Jordânia	
Senem (2000)	45	pirâmide	3,5	Florianópolis	
Soares (2001)	45	pirâmide	1,3	Florianópolis	Ocorrência de reevaporação na calha coletora de água destilada e fuga de vapor na mesma
Boukar et al. (2001)	10	uma água (tipo telhado)	4,0	Deserto de Sahara	
Cappelletti (2002)	45	uma água (tipo telhado)	1,8	Itália	
Cerda et al. (2002)	45	uma água (tipo telhado)		México	Produção em Kg/hora e em gráficos

## 2. Teoria da destilação solar

Delyannis e Belessiotis (1996) e Duffie e Beckaman (1991), têm estudado os princípios da destilação solar. Considerando a unidade de área de um destilador solar; para uma radiação solar de intensidade  $H_s$  são considerados os parâmetros a seguir:

- transmitância da cobertura ( $\tau$ ),
- absorvância da cobertura ( $\alpha_g$ ),
- absorvância da bandeja (quantidade de água) ( $\alpha_w$ )

- capacidade térmica do sistema ( $C_{wg}$ ).

Com isso, tem-se:

- energia absorvida pelo vidro ( $\alpha_g H_s$ ),
- energia transmitida pelo vidro ( $\tau H_s$ ),
- energia absorvida pela bandeja ( $\tau H_s \times \alpha_w$ )
- energia estocada no sistema ( $C_{wg} \times (dT_w/dt)$ ).

Com relação às perdas, é necessário considerar: através da cobertura ( $q_{ga}$ ) e através das paredes laterais e fundo ( $q_b$ ).

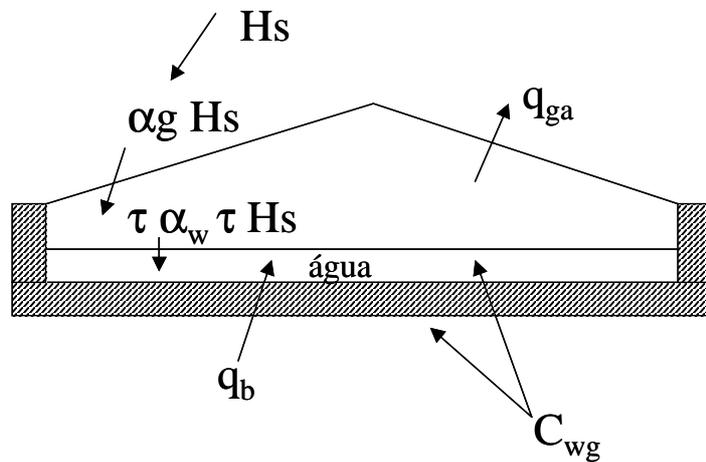


Figura 4 – Balanço de energia do destilador  
**Fonte:** Modificado de Torres, 1984.

Assim, a energia estocada pelo destilador pode ser expressa pela equação:

$$\alpha_g H_s + \alpha_w H_s - q_{ga} - q_b = C_{wg} \times (dT_w/dt) \quad (1)$$

O calor que é transferido da salmoura para o vidro pode ser expresso por:

$q_r + q_c + q_e$ , (2) onde:  $q_r$  = calor transferido pela radiação,  $q_c$  = calor transferido por convecção e  $q_e$  = calor transferido por evaporação-condensação.

O calor transferido para o exterior, pelo vidro, é dado pela soma anterior acrescida da energia absorvida pelo vidro:

$$q_{ga} = q_r + q_c + q_e + \alpha_g H_s \quad (3)$$

As perdas, através das paredes e base do destilador, são expressas por:

$q_b = k_b (T_w - T_a)$  (4), onde  $k_b$  é a condutibilidade do material,  $T_w$  é a temperatura da água (interna) e,  $T_a$  é a temperatura ambiente (externa).

Dunkle obteve valores para  $q_r$ ,  $q_e$  e  $q_c$ . Pode-se também calcular  $q_{ga}$  em função do coeficiente de transferência de calor por convecção  $h_{ga}$ .

São ao todo sete equações que permitem chegar a soluções gráficas.

O rendimento  $\eta$  de um destilador pode ser calculado pela expressão:

$$\eta = \frac{P \times \lambda}{H_s} \quad (5)$$

Onde se obtém:  $P = \frac{\eta \times H_s}{\lambda}$  (6) sendo:

P: produção de água destilada (L/m<sup>2</sup>.dia)

H<sub>s</sub>: valor da radiação solar (w/ m<sup>2</sup>)

$\lambda$ : calor latente de evaporação da água

Estudos feitos por Tleimat (1979), mostram que o rendimento dos destiladores solares se expressa normalmente pela quantidade de água produzida por unidade de área por dia. Essa quantidade varia segundo configuração do destilador, a insolação e as condições climáticas. Uma vez que, um destilador está construído e instalado, ele tem uma configuração geométrica permanente pelo qual seu rendimento será função exclusivamente da insolação e das condições ambientais.

## 2.2.3 Outras técnicas de dessalinização

### 1. Eletrodialise

A eletrodialise é uma evolução de eletrólise que, além da energia elétrica, requer o uso de membranas especiais, semi-permeáveis, de pergaminho ou de matéria plástica, as quais podem ser catiônicas ou aniônicas.

As unidades de eletrodialise são normalmente empregadas na dessalinização de água salobra. A maior parte de energia utilizada é de corrente contínua, usada para separar as substâncias iônicas no perfilado de membranas.

Segundo Dantas (1998), a água bruta de alimentação deve ser pré-tratada para eliminar matérias que poderiam adentrar e prejudicar as membranas ou obstruir os estreitos canais nas células. Os equipamentos que utilizam os métodos e as técnicas de eletrodialise começaram a ser comercializados no início da década de 60 e estão implantados, principalmente, nos Estados Unidos e no Japão. O princípio básico de sua aplicação considera que os sais em solução têm um comportamento iônico e que estes íons são separados através de membranas eletrodialíticas sob o efeito de uma diferença de potencial aplicada a um par de eletrodos.

Segundo Cravo e Cardoso (1999), atualmente estes sistemas produzem cerca de 5% do volume mundial de água artificialmente dessalinizada, o que equivale a 0.75 milhões de m<sup>3</sup>/dia. Complementarmente, dentre outras aplicações, produzem sais para consumo humano e industrial.

Segundo Torres (1984), a mesma elimina não mais de 50% de salinidade, portanto sendo indicada para águas cujo teor salino não ultrapasse 4g/litro. Algumas desvantagens que as membranas apresentam são: seletividade iônica insatisfatória, pouca resistência a difusão molecular (deslocamento de moléculas de cloreto de sódio para soluções menos concentradas) e permeabilidade à água sob pressão.

## 2. Congelamento

Desde a década de 1950, estão sendo realizadas pesquisas em criogenia aplicada, objetivando a remoção de sais das águas. Nesse processo, por transferência de calor, com mudança de fase, a água doce forma cristais de gelo e os sais ficam concentrados na solução. Os cristais assim formados, após serem enxaguados para a remoção dos sais que aderem às suas paredes, são fundidos para a obtenção de água doce (CRAVO e CARDOSO, 1999).

Buros (1990, citado por DANTAS, 1998), observou que teoricamente, a congelamento tem algumas vantagens sobre a destilação. Essas vantagens incluem, uma menor exigência (teórica) de energia, potencial (tendência) mínimo para corrosão e pouco encrustamento ou precipitação. A desvantagem é que envolve a manipulação de misturas de gelo e água, o que é mecanicamente complexo, tanto no transporte, como no processamento.

O mais recente e significativo exemplo de dessalinização por congelamento foi de uma unidade experimental, alimentada por energia solar, construída na Arábia Saudita no final dos anos 80.

## 3. Osmose Reversa

Trabalhos feitos por Cravo e Cardoso (1999), mostram que o princípio operacional desse processo de dessalinização foi desenvolvido no final da década de 1960 e suas aplicações foram iniciadas em meados de 1970. No Brasil, sua utilização ocorreu a partir de 1986, havendo, por desconhecimento de causa, uma sensível reação à sua implantação, por ter sido considerada uma tecnologia complexa e onerosa.

A osmose é um fenômeno natural de caráter físico-químico, identificado há mais de duzentos anos. Nela, quando duas soluções com diferentes concentrações, são separadas em um mesmo recipiente por uma membrana semipermeável, ocorre espontaneamente a

passagem da solução de menor concentração no sentido da solução menos diluída, até que se estabeleça um equilíbrio. A Figura 5 apresenta os processos de osmose natural e reversa.

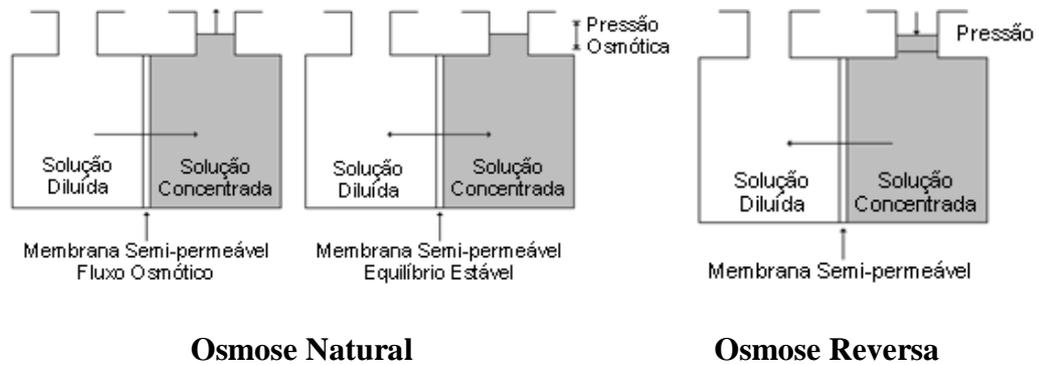


Figura 5 - Processos de Osmose

Fonte: Dow Latin America, 1990.

Rios (2003), constatou que a dessalinização de água através de osmose inversa apresenta-se como uma ótima alternativa, uma vez que possui um menor custo quando comparado com outros sistemas de dessalinização. Além de retirar o sal da água, este sistema permite ainda eliminar vírus, bactérias e fungos, melhorando assim a qualidade de vida da população interiorana. O seu funcionamento está baseado no efeito da pressão sobre uma membrana polimérica, através da qual a água irá passar e os sais ficarão retidos.

Ainda, de acordo com o autor, este processo, atualmente, vem sendo usado em larga escala nos países europeus, Oriente Médio e nos EUA e, está entrando no Brasil. Por produzir água doce purificada, livre de coliformes fecais, sem bactérias, isenta de microorganismos, com as mesmas condições de uma água mineral que é vendida comercialmente, tem todas as condições para resolver grande parte dos problemas das pequenas comunidades do semi-árido que possuem poços e açudes com água salobra.

As membranas de Osmose Reversa são capazes de separar microsolutos dissolvidos com peso moleculares inferior a 500, através do mecanismo de solução/difusão. Quando o peso molecular das partículas do soluto exceder este valor, o mecanismo de separação será

determinado pelo tamanho das partículas presentes na solução e pelo diâmetro dos poros existentes na membrana (PUROSYSTEMS, 2004).

#### 4. Troca Iônica

Segundo Cravo e Cardoso (1999) nesse processo são utilizadas resinas naturais ou sintéticas como condutores, para trocar íons indesejáveis por outros mais aceitáveis para o uso determinado. É empregado como complemento de unidades de purificação de águas, principalmente como abrandador, retirando os sais dissolvidos, especificamente os formados por elementos divalentes, do tipo cálcio e magnésio.

Devido ao custo operacional elevado, sua aplicação é restrita ao tratamento das águas de caldeiras e ao emprego direto na indústria farmacêutica. O seu uso não é recomendado para dessalinizar águas com elevado teor salino, pois as resinas saturam-se rapidamente, acarretando uma freqüente necessidade de regeneração. Nesta operação utilizam-se produtos químicos como a soda cáustica e o ácido clorídrico, o que torna a manutenção muito onerosa e o rejeito ambientalmente impactante.

### 2.3 QUALIDADE DA ÁGUA DESSALINIZADA

Segundo Custódio (1983, citado por GARCIAS, 1985), a água dessalinizada apresenta composição química variada em função do processo de desmineralização. Nos processos de destilação e osmose reversa, o consumo de energia é quase independente da salinidade inicial, porém outros processos, como eletrodialise e troca iônica, a energia consumida é aproximadamente proporcional à salinidade inicial, para uma mesma qualidade de água produzida, enquanto uns processos proporcionam uma água com teor de sais muito baixo, como no processo de destilação, de 2 a 10 mg/L de concentração final de sais, outros processos produzem menor redução de salinidade, função da tecnologia empregada. Com

exceção do processo de dessalinização por congelamento, todos os demais produzem água bacteriologicamente potável.

A água, quando em estado de pureza, não possui sabor e odor próprios. Por esta razão, a água destilada é desagradável ao paladar sendo desejável na água potável, a presença de algumas substâncias, em baixas concentrações, que promovem a sua palatabilidade. Entre substâncias mais freqüentemente encontradas nas águas naturais, figuram: os carbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio, ferro, magnésio e sódio, além de alguns compostos de silício e, freqüentemente, vários compostos orgânicos (BRANCO, 1996).

### 2.3.1 Problemas causados por organismos ao abastecimento de água

Segundo Branco (1986), o estabelecimento de critérios para a determinação da potabilidade das águas constitui problema antigo para o homem. Há muito tempo que se conhece o fato de que certas águas são causadoras de doenças no homem, embora só no século passado se relacionasse à produção de doenças com a presença de certos microorganismos na água ingerida. Sabe-se que o homem, desde épocas remotas, procura obter águas de melhor qualidade assim como protegê-las em reservatórios que as mantenham com boa qualidade, reconhecida exclusividade pelas suas características organolépticas e físicas em geral.

O critério bacteriológico, entretanto, não basta para a classificação de uma água. A análise física e química é, também, indispensável na demonstração de sua qualidade especialmente na detecção de substâncias tóxicas ou mesmo de compostos que prejudiquem esteticamente a qualidade das águas, alterando o sabor, cor, odor, etc.

Mota e Andrade (1986), pesquisaram o uso da destilação solar no tratamento de águas contaminadas por microorganismos, onde procurou-se observar a eficiência do

destilador, principalmente quanto à eliminação de microorganismos patogênicos. O destilador era de ferrocimento com tampo de vidro e com área de exposição de 0,90 m<sup>2</sup>.

Os principais fatores que podem tornar a água imprópria para o consumo são: microorganismos parasitas, tais como bactérias, vírus, protozoários e vermes; elementos tóxicos; sabor e odor desagradáveis; cor e turbidez; elementos corrosivos, incrustantes, etc (BRANCO, 1986).

### 2.3.2 Parasitologia de águas contaminadas

#### 1. *Giardia Intestinalis* (LAMBL, 1859)

O gênero *Giardia* apresenta flagelados parasitos de todas as classes de vertebrados, tendo sido possivelmente o primeiro protozoário intestinal humano a ser conhecido. A primeira descrição do trofozoíto tem sido atribuída a Anton van Leeuwenhoek (1681), que notou “animalúnculos móveis” em suas próprias fezes. A *Giardia* do homem, por exemplo, pode infectar várias espécies animais (NEVES, 1995). Dos flagelos parasitas do aparelho digestivo do homem, o mais freqüente e de ação patogênica mais intensa é a *Giardia intestinalis*. Em nosso país a incidência desse flagelado varia muito entre localidades e entre diferentes grupos populacionais, havendo em alguns deles a incidência da ordem de 25%. Localiza-se nas partes altas do intestino delgado (GOULART *et al.*, 1978). A Figura 6 apresenta cistos de *Giardia lamblia*.

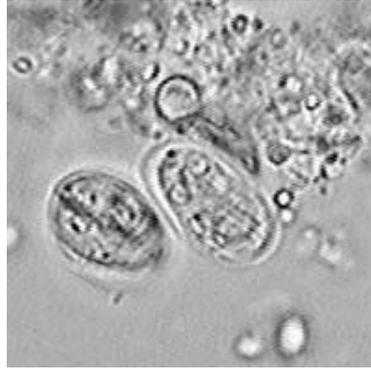


Figura 6 - *Giardia lamblia*: dois cistos em fezes  
Fonte: UFRGS, 2004.

Segundo Pelczar *et al.* (1996), a giardíase é causada pela *giardia lamblia*, o único protozoário flagelado conhecido como responsável por doença intestinal humana (infecção intestinal). A doença tem distribuição mundial e ocorre freqüentemente em viajantes que consomem água não-tratada ou alimento não-cozido, lavado ou preparado com água contaminada. Nos Estados Unidos, pelo menos 4% da população está infectada e, embora muitos indivíduos infectados não apresentem nenhum sintoma, ocorrem anualmente no mínimo 15.000 a 26.000 casos clínicos de giardíase. Os cistos infecciosos do protozoário são normalmente transmitidos por água contaminada com fezes, porém a transmissão por alimentos já foi também relatada. A *giardia lamblia* pode invadir e destruir as células superficiais do duodeno, a primeira porção do intestino delgado. Pacientes com a doença clínica apresentam diarréia e cólicas, distensão abdominal e flacidez, perda de peso, anemia e diminuição da absorção de nutrientes. Os parasitas, estágio de trofozoíto como de cistos, podem ser encontrados nas fezes dos pacientes.

A prevenção da doença está baseada na boa higiene pessoal e na eliminação dos cistos na água de abastecimento (PELCZAR *et al.*, 1996). Em relação a este último aspecto, pesquisas recentes sobre *Giardia* mostram evidências que os filtros de areia e de terra de diatomáceas são capazes de remover os cistos de *Giardia lamblia*. É evidente que deve-se lembrar que a água pode tornar-se contaminada (por exemplo, por esgotos) na sua distribuição

à população. Embora haja evidências que os cistos resistem à cloração da água, eles são destruídos em água fervente (NEVES, 1995). A Figura 7 mostra o ciclo da *Giardia lamblia*.

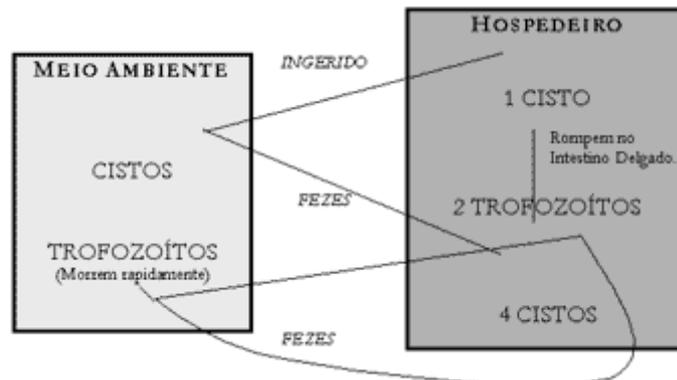


Figura 7 - Ciclo da *Giardia lamblia*.  
Fonte: UFRGS, 2004.

Um dos maiores problemas no controle do *Cryptosporidium* e da *Giardia* é que ambos oferecem grande resistência aos desinfetantes utilizados normalmente para potabilização da água. As Estações de Tratamento possuem um sistema convencional, capaz de remover estes protozoários nas etapas de tratamento da água.

Dentre a ocorrência de surtos de *Cryptosporidium*, um dos exemplos mais impressionantes ocorreu em 1993 na cidade de Milwaukee (Estados Unidos) quando mais de 403 mil pessoas foram contaminadas, culminando na morte de mais de 100 indivíduos. No Brasil, segundo a literatura científica, já foram identificados casos da doença nas cidades de Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Uberlândia, Paulínia e Rio de Janeiro (UNICAMP, 2002).

## 2. *Helmintos*

Segundo Goulart e Leite (1978), algumas infecções transmitidas pela água e alimentos são causadas por vermes parasitas, ou *helmintos* – animais parasitas multicelulares, que apresentam corpos alongados e moles. Os *helmintos* são classificados em dois grupos principais: os *platelmintos*, que são achatados em corte transversal e os *nematóides*, que se

apresentam arredondados em corte transversal. No estudo realizado foi utilizado o *Ascaris lumbricoides* que é encontrado em quase todos os países do globo, estimando-se que 30% da população mundial estejam por ele parasitados. É popularmente conhecido por lombriga, e causa a doença denominada ascariíase ou ascariose e atinge cerca de 70 a 90% das crianças na faixa etária de um a dez anos, podendo ser causadores os seguintes fatores: temperatura média anual elevada; umidade ambiente elevada; viabilidade do ovo infectante por muitos meses (até um ano); grande produção de ovos pela fêmea; dispersão dos ovos através de chuvas e ventos (poeira) e moscas; grande concentração de ovos no peridomicílio, em decorrência do mau hábito que as crianças possuem de aí defecarem.

Uma das formas de disseminação destes organismos se dá no meio ambiente, na forma de ovo. Nesta forma, são encontrados em grandes quantidades em águas residuárias. A presença de formas infecciosas (ovos) destes organismos no ambiente, especialmente nas águas para irrigação, é um dos principais indicadores de contaminação fecal (TAY, 1995).

Em consequência de sua elevada prevalência a ação patogênica, essencialmente em infecções altas e crônicas em crianças, reputam esse helminto como uma das causas e consequências do subdesenvolvimento de grande parcela da população dos países do Terceiro mundo. No Brasil é muito freqüente principalmente entre os habitantes de zona rurais, das vilas e povoados sem esgotos e das áreas não urbanizadas das grandes cidades, cujo solo sofre contínua contaminação (GOULART e LEITE, 1978).

O seu ciclo de vida no hospedeiro inicia-se com ovos ingeridos via água e alimentos, particularmente vegetais crus, contaminados com fezes. Os ovos ingeridos desenvolvem-se em larvas que migram para o intestinos delgado para vários tecidos do organismo e finalmente retornam ao intestino delgado (PELCZAR *et al.*, 1996). A Figura 8 apresenta o *Ascaris* na forma de ovo e na forma adulta.

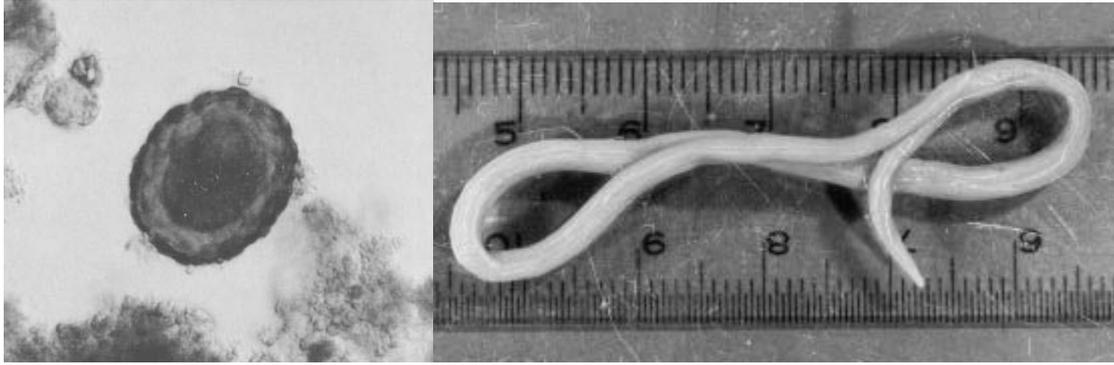


Figura 8 – Foto de *Ascaris lumbricoides* ovo e *Ascaris lumbricoides* adulto  
Fonte: UFRGS, 2004

## 2.4 PADRÕES DE POTABILIDADE

Os Padrões de Potabilidade do Brasil, fixados pela Portaria n° 518/2004, do Ministério da Saúde, determinam os valores máximos desejáveis e permissíveis das características físicas, organolépticas, químicas e bacteriológicas da água potável.

Segundo Funasa (2004), a água potável é a água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde.

A água própria para o consumo humano, ou água potável, deve obedecer a certos requisitos de ordem:

- de aceitação para consumo humano: não possuir gosto e odor objetáveis; não conter cor e turbidez acima dos limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade;
- química: não conter substâncias nocivas ou tóxicas acima dos limites estabelecidos no padrão de potabilidade;
- biológica: não conter microorganismos patogênicos;
- radioativa: não ultrapassar o valor de referência estabelecidos no padrão de potabilidade;

Entre os principais tipos de organismos patogênicos que podem encontrar-se na água, estão as bactérias, cianobactérias, vírus, protozoários e helmintos.

Em virtude de grande dificuldade para identificação dos vários organismos patogênicos encontrados na água, dá-se preferência, para isso, a métodos que permitam a identificação de bactérias do “grupo coliforme” que, por serem habitantes normais do intestino humano, existem, obrigatoriamente, em águas poluídas por matéria fecal.

As bactérias coliformes são normalmente eliminadas com a matéria fecal, à razão de 50 a 400 bilhões de organismos por pessoa por dia. Dado o grande número de coliformes existentes na matéria fecal (até 300 milhões por grama de fezes), os testes de avaliação qualitativa desses organismos na água têm uma precisão ou sensibilidade muito maior do que a de qualquer outro teste (FUNASA, 2004).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido mediante a construção de diversos pilotos como:

- Pilotos para determinação da melhor inclinação da cobertura de vidro do equipamento (pirâmide); com dimensões de 35 x 35 cm de base, construídos e avaliados no Laboratório de Potabilização de Águas - UFSC/Florianópolis/SC.
- Piloto para a determinação da melhor lâmina de água bruta no interior da base do equipamento (pirâmide) com dimensões de 35 x 35 cm de base, construídos e avaliados no Laboratório de Potabilização de Águas - UFSC/Florianópolis/SC.
- Pilotos para os estudos da produção e da qualidade das águas bruta e tratada: com dimensão de 30 x 30 cm de base para os equipamentos de tratamento de água 1 e 2 e de 1 x 1 m para o equipamento otimizado, de base quadrada. Os estudos iniciais foram realizados em Florianópolis/SC, que está localizada entre os paralelos 27°10' e 27°50' de latitude sul e entre os meridianos de 48°25' e 48°35' de longitude a oeste de Greenwich. Os trabalhos ocorreram no Laboratório de Potabilização de Águas – LAPOÁ/UFSC e o equipamento de tratamento de água solar foi instalado no terraço do prédio do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Após otimização do sistema de destilação solar e estudos iniciais, o equipamento foi encaminhado para Natal/RN que está localizada a 05°45' de latitude sul e a 35°12' de longitude oeste. Os trabalhos ocorreram no Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – LARHISA/UFRN, onde o destilador solar foi instalado na Estação de Tratamento de Esgoto da UFRN por um período de vinte dias.

### 3.1 - DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCLINAÇÃO DA COBERTURA DE VIDRO DO EQUIPAMENTO (PIRÂMIDE)

Este estudo teve como objetivo determinar artificialmente a melhor inclinação da cobertura de vidro utilizando um equipamento (Figura 9 e 10), para testar inclinações a fim de construir as coberturas avaliando-se a produção num intervalo de quatro horas em diferentes temperaturas. Foi realizado em dois estágios: o primeiro, produzindo vapor de água em uma lâmina de vidro e o segundo, produzindo vapor dentro da cobertura.

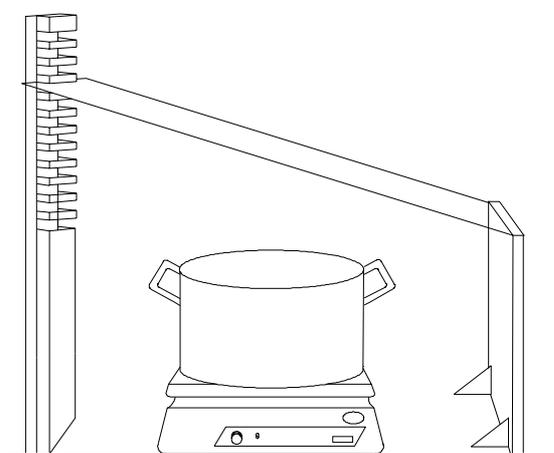


Figura 9 – Esquema do equipamento para obter a melhor inclinação para o escoamento da água condensada.



Figura 10 – Foto do equipamento para testar as inclinações da cobertura

Quatro pirâmides de vidro (Figura 12) foram construídas com inclinações de 15°, 25°, 30° e 45°, conservando-se a mesma área da base, aplicando-se temperaturas na atmosfera interna de 50°, 60°, 70° e 80° e temperaturas na água de 60°, 70° e 80° para cada inclinação. A Tabela 4 mostra a planilha feita em excel para os cálculos dos parâmetros da Figura 11 e a Tabela 5 mostra os resultados das dimensões.

Geralmente para coletores solares a inclinação escolhida se dá através da latitude da região, onde o equipamento será utilizado, mais 10 graus. Para a região de Florianópolis, cuja latitude está entre 27°10' e 27°50', a inclinação usada deveria ser, portanto, 36°. Porém, foi adotada a inclinação de 25° para construção do equipamento otimizado que pudesse funcionar em todo território brasileiro, pois esta inclinação apresentou escoamento perfeito nas faces de vidro e também para obter-se economia de material.

Tabela 4 – Planilha de cálculo das dimensões das faces da cobertura de vidro (pirâmide)

DADOS:			Cálculos	Metros	Centímetros
Base	Quadrada		$H = \text{tg } a \cdot L/2$	0,175	17,5
Lado Base	L	0,35			
Ângulo das faces	a	45	$a = H/\text{sen } a$	0,25	24,7
		0,785398164			
			$b = ((a^2 + (L/2)^2)^{1/2})$	0,30	30,3

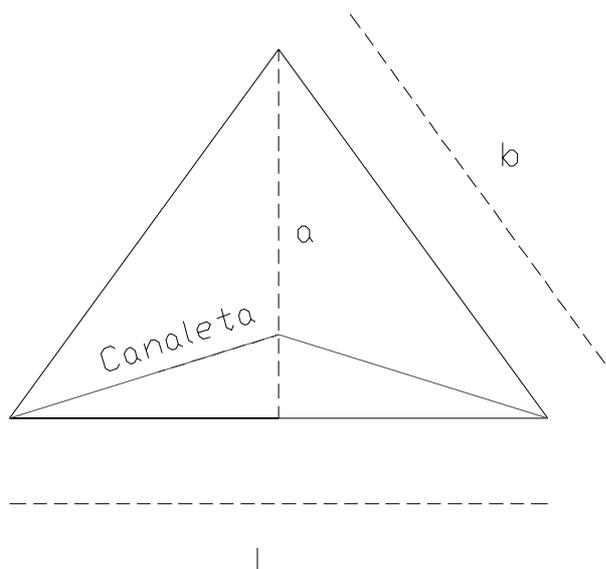


Figura 11 – Desenho esquemático de uma das faces da cobertura de vidro (pirâmide)

Tabela 5 – Dimensões das faces da cobertura de vidro (pirâmide)

Inclinação (°)	L(cm)	a (cm)	b (cm)
----------------	-------	--------	--------

45	35	24,7	30,3
30	35	20,2	26,7
25	35	19,3	26,1
15	35	18,1	25,2



Figura 12 - Foto da cobertura de vidro (pirâmide) de 15°, 25°, 30° e 45°



Figura 13 – Foto da cobertura de 45°, com aquecimento artificial (chapa de aquecimento)

Os ensaios foram realizados da seguinte maneira: as coberturas de vidro foram apoiadas em uma base de alumínio (Figura 13), de forma quadrada e o termômetro foi colado na face interna das coberturas. Esse equipamento foi colocado sobre uma chapa de aquecimento, marca Sovereign. Com essa chapa, a base de alumínio foi aquecida provocando a evaporação da água da rede de distribuição contida na base, formando então, gotículas nas paredes de vidro da cobertura. A água destilada foi coletada em quatro pontos em garrafas de plástico tipo PET. O volume foi medido em uma proveta de 500mL.

### 3.2 – DETERMINAÇÃO DA MELHOR LÂMINA DE ÁGUA BRUTA NO INTERIOR DA BASE DO EQUIPAMENTO (PIRÂMIDE)

Este estudo foi desenvolvido artificialmente criando-se uma atmosfera luminosa, tendo em vista as variações climáticas para determinação da melhor profundidade em função da produção de água. Assim, variou-se a lâmina d'água no interior do equipamento (Figura 14).



Figura 14 - Foto do equipamento com base de madeira para testar a melhor lâmina d'água

A metodologia utilizada para o respectivo teste foi a seguinte:

1. A água foi aquecida através das quatro lâmpadas espelhadas (250 watts) acopladas na estrutura de madeira sobre a cobertura de vidro (pirâmide).
2. Mediu-se a temperatura da água e a temperatura ambiente para se obter o melhor gradiente de temperatura.
3. A base do equipamento foi abastecida pela água que vem do alimentador de água bruta.
4. O nível da água foi modificado em cada ensaio, variando-se a altura do equipamento em relação ao alimentador de água bruta.



Figura 15 – Foto do equipamento de base de alumínio com gotículas de água

Tendo em vista um problema de perda de vapor d'água pelas laterais da base metálica, foi trocada a base por outra de madeira (Figura 14). Esta base foi construída de uma forma tal que a fuga de vapor d'água pelas laterais era praticamente nula. Foi necessário o uso de um ventilador para se obter um melhor resfriamento da superfície externa da cobertura de vidro. Estas ações fizeram melhorar o gradiente de temperatura e conseqüentemente a produção de água.

Para cada ensaio, estipulou-se um volume de 50 mL para cada lâmina testada e verificou-se o tempo gasto para cada 50 mL consumido. Esta graduação foi feita na garrafa de vidro (alimentador de água bruta).

### 3.3 - ESTUDO DA PRODUÇÃO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS TRATADAS

O estudo iniciou em Florianópolis/SC com a construção de duas bases, uma metálica (aço inox), e outra de madeira. A escolha destes materiais se deu pelo fato de um ser um bom condutor térmico e o outro ser um mal condutor. As bases foram construídas levando-se em conta os estudos anteriores. Foram pintadas de preto e foi aplicado impermeabilizante a fim de evitar vazamentos. Foram testadas coberturas de vidro (pirâmide) com inclinações de 25° e 45°. O uso destas inclinações deve-se ao estudo anterior, onde as melhores produções de água foram obtidas nas inclinações de 25° e 45° respectivamente.

As coberturas de vidro foram acopladas sobre as bases formando então o equipamento de destilação solar conforme esquema (Figura 16). Estes equipamentos passaram por mais testes até se chegar num equipamento de tratamento de água na qual maximizou-se a

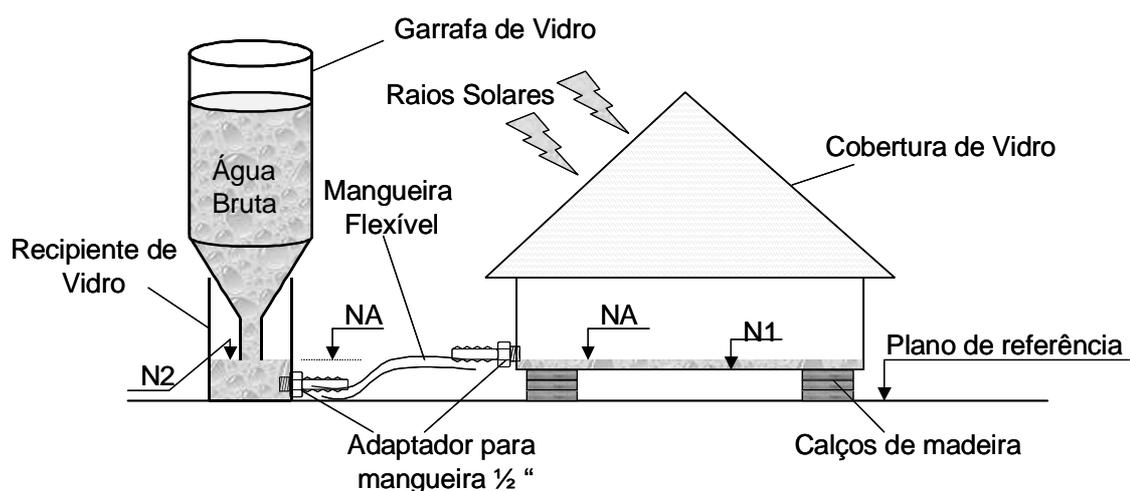


Figura 16 – Esquema de funcionamento dos equipamentos de tratamento de água tipo 1 e 2 e otimizado

O funcionamento ocorreu da seguinte maneira: através do alimentador de água bruta (garrafa de vidro) acoplado em um béquer de vidro de capacidade de 1000 mL (sistema bebedouro) foi armazenada toda a água estudada. A água entra continuamente através de uma mangueira de silicone para o interior do equipamento até atingir a lâmina ótima de água. É possível alterar a lâmina d'água através dos calços de madeira colocados abaixo da base do equipamento.

Com a incidência dos raios solares na cobertura de vidro (pirâmide) tornando o ambiente uma estufa, a água bruta evapora nas paredes do vidro e escoava para as calhas de coleta de água produzida (água destilada), assim coletou-se a água para realização das análises de qualidade da mesma.

### 3.3.1 – Equipamentos de tratamento de água tipos 1 e 2

Durante este estudo foram construídos dois equipamentos, um com a base de madeira e a outra em aço inox, porém notou-se que a base de madeira não demonstrou ser um bom material. Quando se estudou a melhor lâmina d'água, o teste foi realizado com a base de madeira em ambiente fechado, ou seja, em atmosfera seca. Ocorreram vazamentos devido à atmosfera muito aquecida, onde a água evaporava rapidamente.

Quando o equipamento foi colocado em ambiente aberto, ou seja, exposição ao ar livre, os vazamentos apareceram visivelmente devido ao fato de a madeira ficar vezes umedecidas, vezes secas, assim ocorrendo o apodrecimento da mesma. O uso de tintas para impedir tal acontecimento poderia fazer com que a água se tornasse contaminada, por isso descartou-se o uso da madeira, passando a utilizar somente o aço inox na construção das bases.

Utilizou-se um coletor de energia solar no equipamento 1, fornecido pelo LABSOLAR/UFSC (Laboratório de Energia Solar), com a proposta de aumentar a produção

de água. Do mesmo modo que se utilizou o coletor e para os mesmo fins, utilizou-se uma serpentina feita de mangueira de cobre 3/8”, porém mais uma vez a produção de água não aumentou, isto ocorreu possivelmente devido ao ganho de temperatura da água obtido na serpentina e no coletor ter sido perdido logo quando a água entrava na base do destilador. Devido a isto, não foram utilizados esses materiais na construção do equipamento de tratamento de água otimizado.

As medições de temperatura da água e temperatura do ar foram registradas de uma em uma hora, bem como a produção de água. A temperatura interna do equipamento foi medida em um termômetro colado na face interna da cobertura de vidro, a temperatura da água foi medida através de um termômetro digital e a temperatura ambiente através de um termômetro de bulbo de mercúrio.

Os dados climáticos foram anotados, com todas as modificações durante a jornada de trabalho.

A água utilizada nesta etapa foi água tratada da torneira fornecida pela CASAN e não foram realizadas análises da água produzida, pois se estudou somente a produção (litros).

#### 3.3.1.1 - Equipamento de tratamento de água tipo 1

Este equipamento (Figura 17) apresentava as seguintes características:

- Base do equipamento: aço inox pintado de cor preta com dimensões de 30x30 cm x 4 cm.
- Inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) com a base: 25° e 45°.
- Calhas de coleta de água produzida: colocadas na parte interna da base do equipamento (aço inox), a fim de não perder área de vidro. O encontro de cada duas calhas colocadas em cada parte da base quadrada, foram colocadas mangueiras transparente tipo cristal para coleta de água produzida, e a água foi armazenada em um recipiente de plástico.

- Reservatório de água bruta: garrafa de vidro acoplada em uma lata (sistema tipo bebedouro).  
Junto ao reservatório foi acoplada uma serpentina de cobre a fim de aumentar a temperatura da água bruta.



Figura 17 – Foto do equipamento de tratamento de água tipo 1

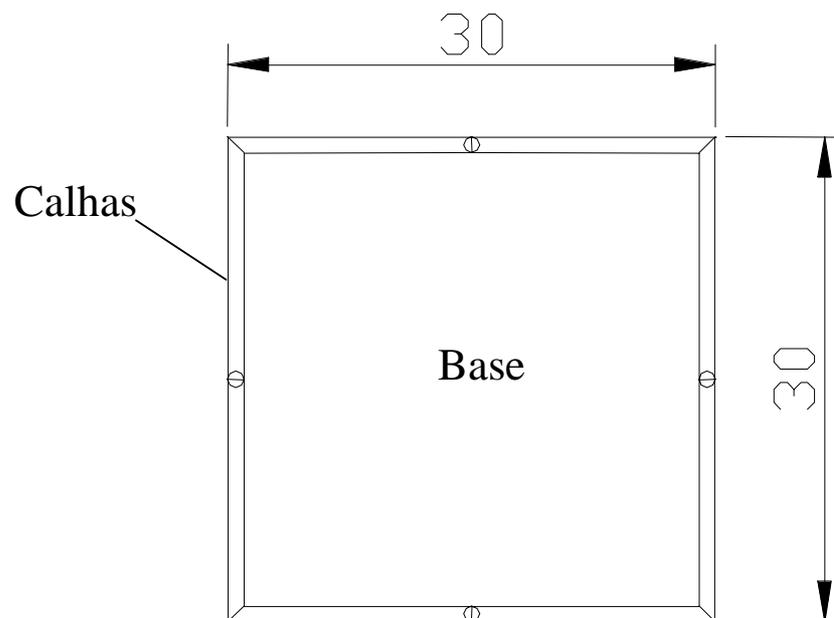


Figura 18 – Base e calhas do equipamento de tratamento de água tipo 1 (vista em planta)

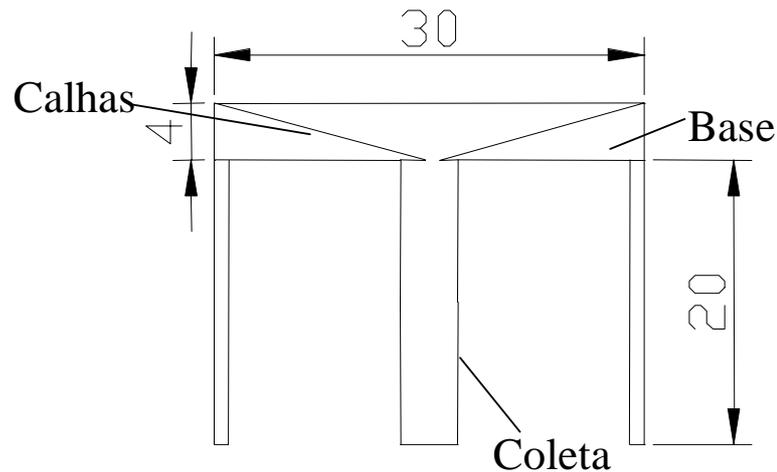


Figura 19 – Base e calhas do equipamento de tratamento de água tipo 1 (vista em perfil)

### 3.3.1.2 - Equipamento de tratamento de água tipo 2

Este equipamento (Figura 20) apresentava as seguintes características:

- Base do equipamento: aço inox natural com dimensões de 30x30 cm x 2.5 cm.
- Inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) com a base: 45°.
- Calhas de coleta de água produzida: colocadas na parte externa da peça de madeira colocada em volta da base do equipamento (aço inox), a fim de não perder área de vidro. Ao encontro de cada duas calhas colocadas em cada parte da base quadrada, foram colocadas mangueiras transparente tipo cristal para coleta de água produzida, o encontro de duas calhas se deu através de um funil e a água foi armazenada em um erlenmeyer de vidro de 100 mL.
- Reservatório de água bruta: garrafa de vidro acoplada em uma lata (sistema tipo bebedouro).



Equipamento de Tratamento de Água 2

Figura 20 – Foto do equipamento de tratamento de água tipo 2

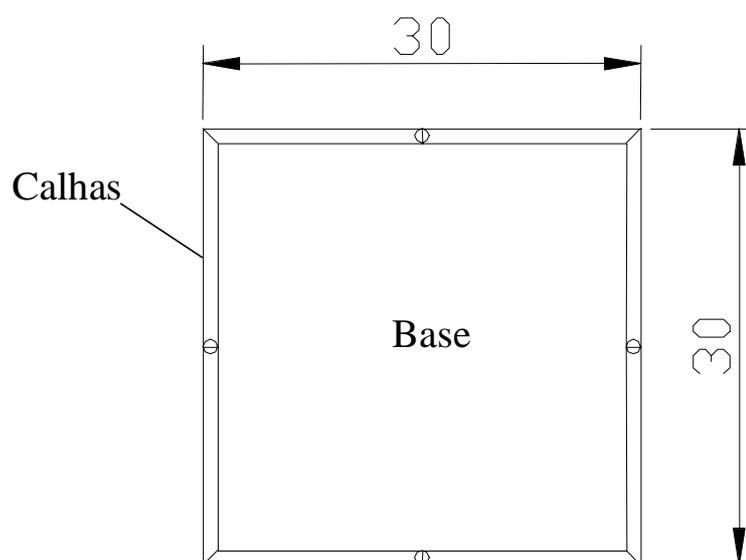


Figura 21 – Base e calhas do equipamento de tratamento de água tipo 2 (vista em planta)

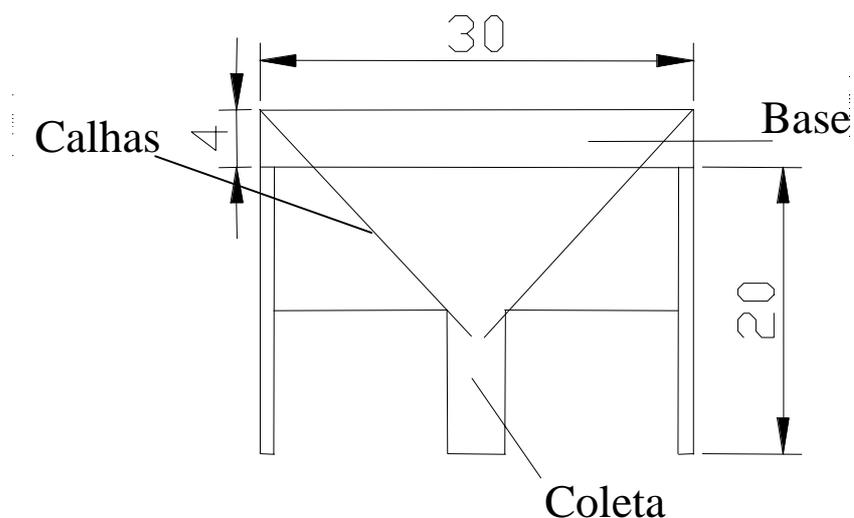


Figura 22 – Base e calhas do equipamento de tratamento de água tipo 2 (vista em perfil)

### 3.3.2 – Equipamento de tratamento de água otimizado - Florianópolis/SC e Natal/RN

Foi construído o equipamento otimizado e testado em duas regiões do Brasil, Florianópolis/SC e Natal/RN.

O material utilizado na construção da base e calhas foi fibra de vidro. A fibra não requer mão de obra muito especializada, apresenta boa resistência podendo ficar exposta às intempéries da natureza, possui bom isolamento térmico, leve, sendo, portanto, fácil de transportar e é um material que retém bastante calor. Para a construção da cobertura (pirâmide) foi utilizado o vidro de 4mm de espessura. A base de fibra de vidro foi pintada de cor preta.

Na etapa realizada em Florianópolis/SC, as águas brutas utilizadas foram: água salgada, captada do mar e do Laboratório de Piscicultura da UFSC localizado na praia da Barra da Lagoa; água salobra, captada de uma ponteira localizada na praia de Jurerê Internacional e água doce contaminada, captada do lago do Hospital Universitário localizado no bairro da Trindade.

O equipamento (Figuras 23 e 24) funcionou por 24 horas, mediu-se a produção de água e registrou-se os dados de temperatura ambiente e radiação solar (a partir de imagens de satélite), fornecidos pelo LABSOLAR (Laboratório de Energia Solar – UFSC/SC). As análises realizadas estão descritas no item 3.5 a seguir e foram realizadas em dias alternados. Durante todo o estudo foi realizada a desinfecção no equipamento para evitar qualquer contaminação no mesmo.

A partir de outubro do ano de 2003 até março do corrente ano, foram realizados testes com o equipamento, onde acoplou-se no mesmo um reservatório de capacidade de 25 litros para armazenar água produzida localizado na parte inferior, abaixo das calhas de coleta (Figura 24).

Na etapa realizada em Natal/RN, as águas brutas utilizadas foram: água salgada, captada do mar localizado na praia de Ponta Negra; água salobra e salobra contaminada, ambas preparada também em laboratório.

Os estudos ocorridos em Natal/RN com duração de vinte dias foram realizados com o equipamento de tratamento de água da Figura 25. Mediu-se produção e registrou-se os dados de temperatura ambiente, fornecidos pela Estação Meteorológica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. As análises feitas estão descritas no item 3.5 a seguir e foram realizadas todos os dias. Durante o estudo realizado em Natal/RN, não foram registrados dados de radiação solar, pois os mesmos não são fornecidos há mais de dez anos.

A preparação das águas salobra e salobra contaminada em laboratório teve o seguinte protocolo:

**Dosagem de água salobra:** Para cada 100 mL de água salgada com salinidade de 36.3 ‰, foi adicionado 700 mL de água de poço, então foi obtido uma água salobra com 5‰. Essa água foi usada para o ensaio do dia 23/05/03.

Para cada 300 mL de água salgada com salinidade de 31 ‰, foi adicionado 800 mL de água de poço, então foi obtido uma água salobra com 6‰. Essa água foi usada para os demais ensaios durante todo o trabalho realizado em Natal/RN.

***Dosagem de água salobra contaminada:*** Para os ensaios de água salobra contaminada foi utilizada água salobra preparada conforme especificações anteriores, acrescida de um esgoto proveniente da mistura de dois filtros localizados na Estação de Tratamento de Esgoto da UFRN.

Para cada 10 litros de água salobra, foram adicionados 5 litros de esgoto e para obter uma salinidade de 6.4‰, foi colocado 1150 mL de água salgada.

#### 3.3.2.1 - Equipamento de tratamento de água otimizado

Este equipamento (Figura 23) possuía as seguintes características (Anexo 1):

- Base do equipamento: fibra de vidro pintado de cor preta com dimensões de 1 x 1m x 2,5 cm.
- Inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) com a base: 25°.
- Calhas de coleta de água produzida: colocadas na parte interna da base do equipamento (fibra de vidro), a fim de não perder área de vidro. O encontro de cada duas calhas colocadas em cada parte da base quadrada, tem-se um ponto de coleta da água produzida (Figura 25 e 26). Após modificações, acoplou-se um reservatório com capacidade de 25 litros para coleta de água produzida (Figura 24).
- Reservatório de água bruta: garrafa de vidro (5 litros) acoplada em um béquer de 250 mL (sistema tipo bebedouro).



Figura 23 – Foto do equipamento de tratamento de água otimizado



Figura 24 – Foto do equipamento otimizado com reservatório acoplado de água produzida

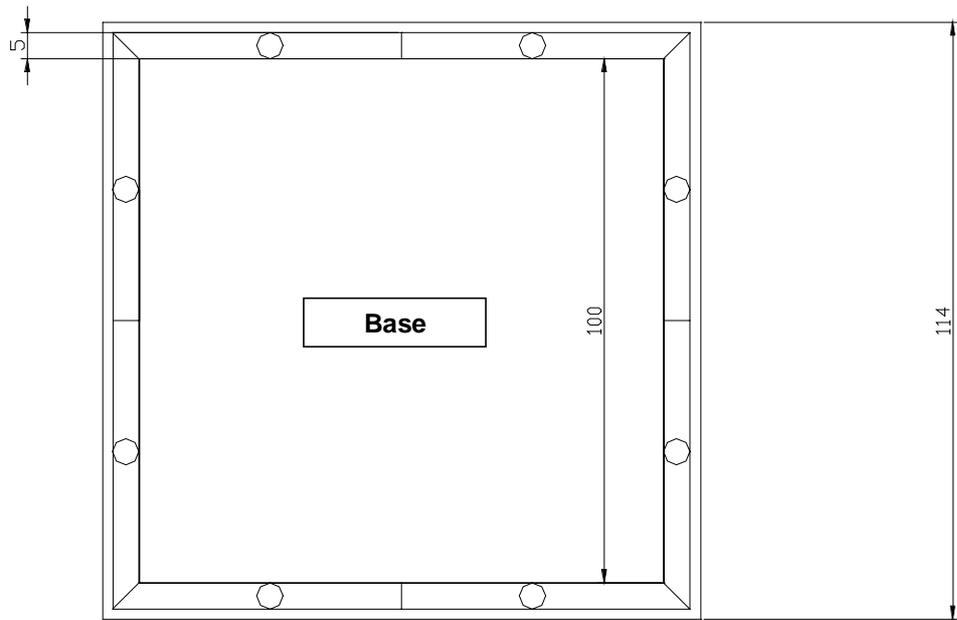


Figura 25 – Base e calhas do equipamento de tratamento de água otimizado de 100 x 100 cm (vista em planta)

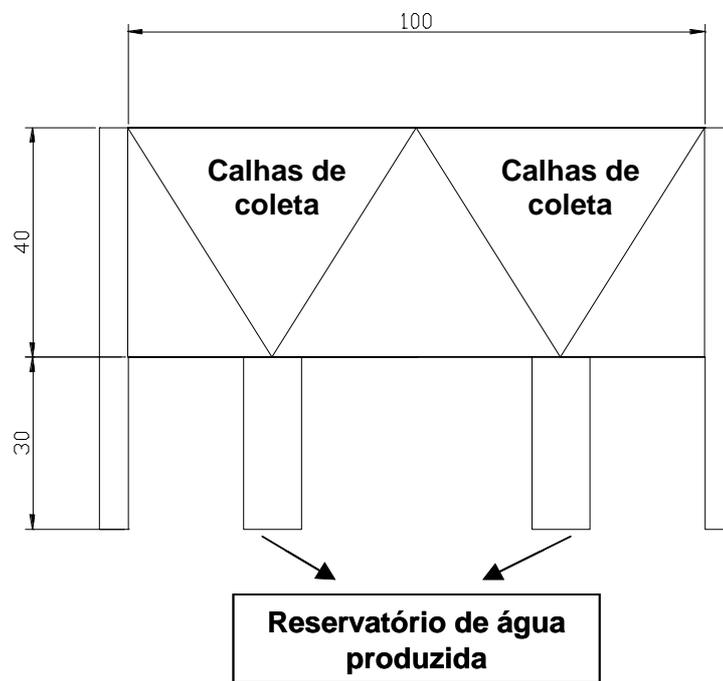


Figura 26 – Base e calhas do equipamento de tratamento de água otimizado de 100 x 70 cm (vista em perfil)

### 3.3.3 – Teste com cistos de giárdia e ovos de helmintos

Foi realizado um teste para verificação da presença e/ou ausência de cistos de *Giardia lamblia* e de ovos de *Ascaris lumbricoides* com o equipamento de tratamento de água otimizado.

A solução de 30.000 cistos/mL e 10.000 ovos/mL foi preparada pelo Laboratório de Protozoologia - UFSC. A mesma foi colocada no equipamento de tratamento de água (Figura 24) por um período de 24 horas. Após este período foi realizada a verificação da presença e/ou ausência de cistos e ovos na água produzida.

Através do método de sedimentação espontânea, a água produzida foi colocada em um cone inhoff e após a sedimentação foi coletado o sedimento e realizada a contagem dos mesmos em microscópio óptico no Laboratório de Protozoologia - UFSC.

### 3.4 – EQUIPAMENTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO UMA PIRÂMIDE INVERTIDA

Foi construído um equipamento piloto de tratamento de água utilizando uma pirâmide com a cobertura invertida (Figura 27) seguindo os mesmos princípios do anterior (Figuras 23 e 24), testado em Florianópolis/SC. O objetivo deste equipamento foi o mesmo do anterior (produção de água potável). A diferença foi a diminuição da calha coletora de água destilada e a realização da coleta de água da chuva simultaneamente em reservatório separado.

### 3.4.1. Equipamento de tratamento de água utilizando uma pirâmide invertida

Este equipamento (Figura 27) apresentava as seguintes características:

- Base do destilador: fibra de vidro pintado de cor preta com dimensões de 40 x 40 x 14,5 cm
- Inclinação da cobertura da pirâmide (vidro) com a base: 25°.
- Calhas de coleta de água produzida: colocadas na parte interna da base do destilador (fibra de vidro), a fim de não perder área de vidro. Ao encontro de cada duas calhas colocadas em cada parte da base quadrada, tem-se um ponto de coleta da água produzida (Figura 28).
- Reservatório de água bruta: garrafa de vidro (3 litros) acoplada em um béquer de 250 mL (sistema tipo bebedouro).



Figura 27 – Foto do equipamento de tratamento de água utilizando pirâmide invertida

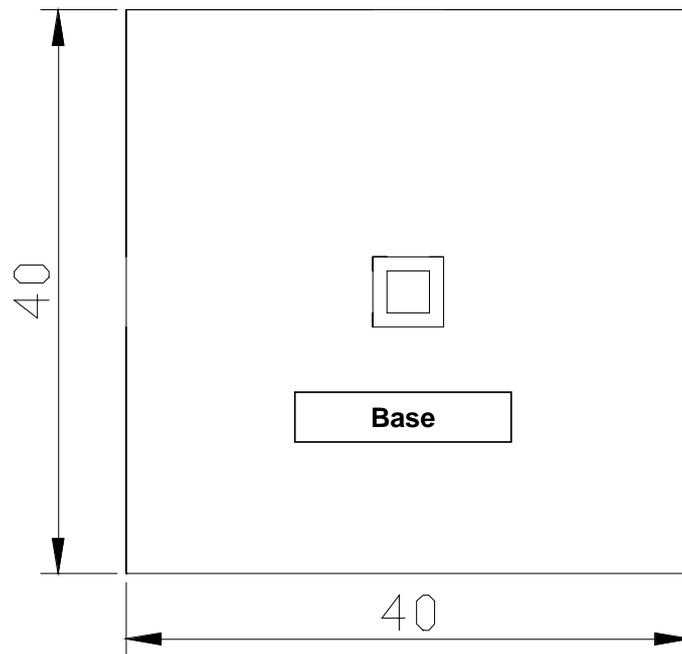


Figura 28 – Base do equipamento de tratamento de água com pirâmide invertida de 40 x 40 cm (vista em planta)

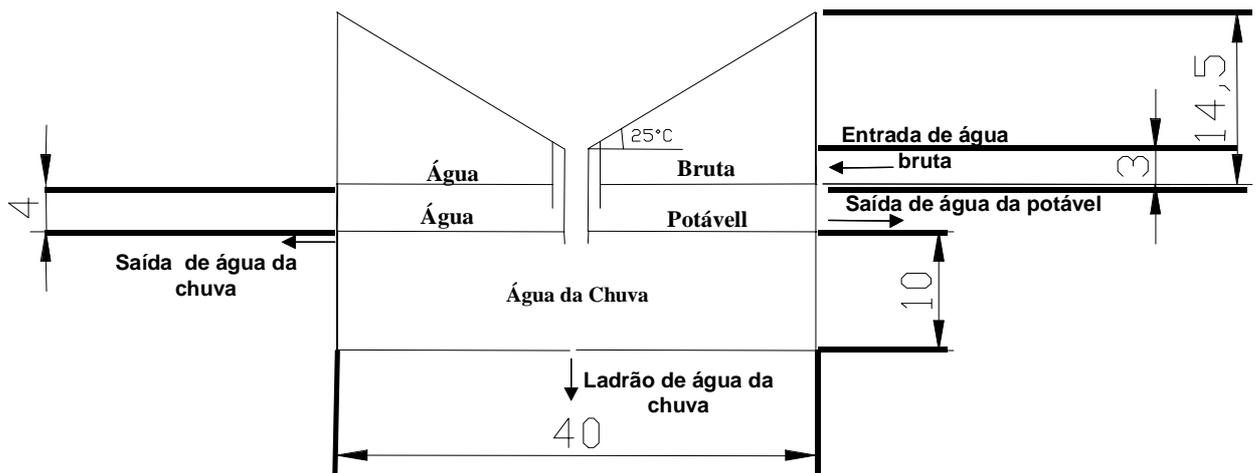


Figura 29 – Base do equipamento de tratamento de água com pirâmide invertida de 40 x 40 cm (vista em perfil)

### 3.5 – PARÂMETROS DE CONTROLE

A eficiência do equipamento foi medida através da produção e qualidade da água (análises físico-químicas e bacteriológicas) e temperatura. Os principais parâmetros físico-químicos foram: condutividade, cor aparente, cor verdadeira, odor, pH, sabor, salinidade, sólidos totais dissolvidos e turbidez. Os parâmetros bacteriológicos foram: coliformes totais e fecais. A Tabela 6 mostra os parâmetros, os métodos e os equipamentos utilizados.

As análises foram realizadas Segundo APHA – *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 20 ed., 1998.

Tabela 6 - Parâmetros e métodos utilizados no período de monitoramento do equipamento.

<b>Parâmetros</b>	<b>Métodos de medidas</b>
Condutividade (uS/cm)	Condutivímetro portátil – Lutron DR 4303
Cor aparente (uH)	Espectrofotometria – DR 2010 HACH
Cor verdadeira (uH)	Filtração em membrana de acetato de celulose de 0,45µm com Espectrofotometria – DR 2010 HACH
Odor	Odor threshold test
pH	Potenciométrico – pHmetro HACH
Sabor	Flavor threshold test
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	Método C (Standard Methods)
Turbidez (uT)	Neofelométrico, utilizando-se aparelho TURBIDIMETER 2100-P HACH
Salinidade (‰)	Equipamento portátil – ORION – modelo 115
Coliformes totais/Fecais (NMP/100mL)	Colilert ®

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 – DETERMINAÇÃO DA MELHOR INCLINAÇÃO DA COBERTURA DE VIDRO DO EQUIPAMENTO (PIRÂMIDE)

Os estudos realizados com o equipamento das Figuras 9 e 10, mostraram que o vapor de água condensado na lâmina de vidro escoou para o final da lâmina, com aproximadamente 100% a partir da inclinação de 15°. Igualmente foram testadas as quatro inclinações citadas no item 3.1 desta dissertação, para todas as inclinações, a água escoou 100% para o final da lâmina.

Conforme Tabela 3 do Capítulo 2, alguns autores utilizaram 10° para inclinação da cobertura. Torres (1979), STEC (1984) e Boukar *et al.* (2001) obtiveram produções consideradas boas. Porém neste trabalho, quando realizado artificialmente o estudo da inclinação, constatou-se que com 10° a água pingava para a base do equipamento, ou seja, não ocorreu o escoamento até o final da lâmina (Figuras 9 e 10).

#### 4.1.1 - Determinação da melhor inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) em função da temperatura da atmosfera interna

Foi realizada a comparação de diversas produções de água em função das inclinações e temperatura da atmosfera interna do equipamento e em função da área da cobertura de vidro do equipamento (Figura 13) no intervalo de 8 horas para cada temperatura testada. Através da Figura 30, verificou-se que a inclinação de 25° apresentou-se melhor na maioria das temperaturas testadas. E na Figura 31 pode-se observar quem nem sempre a maior área de cobertura produz a maior quantidade de água.

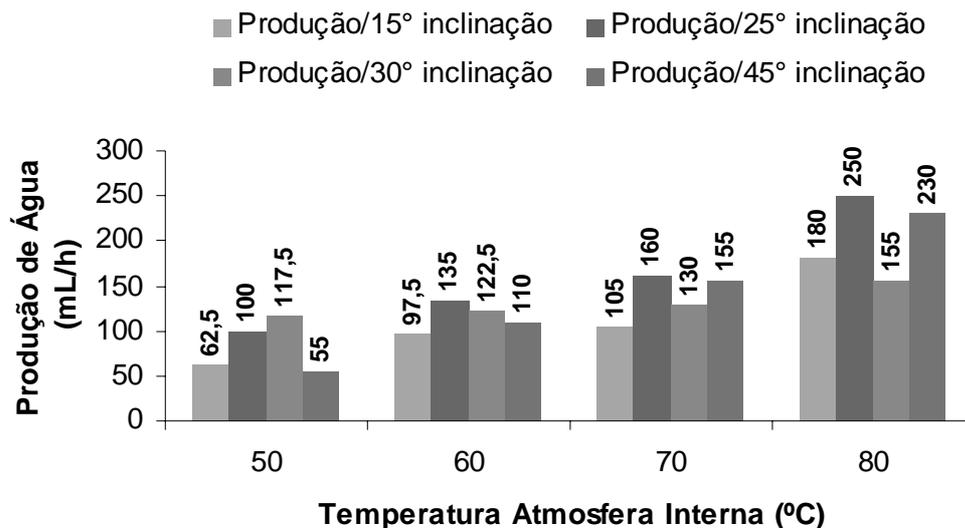


Figura 30 - Produção de água em função da temperatura da atmosfera interna e inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) de base 35 x 35 cm

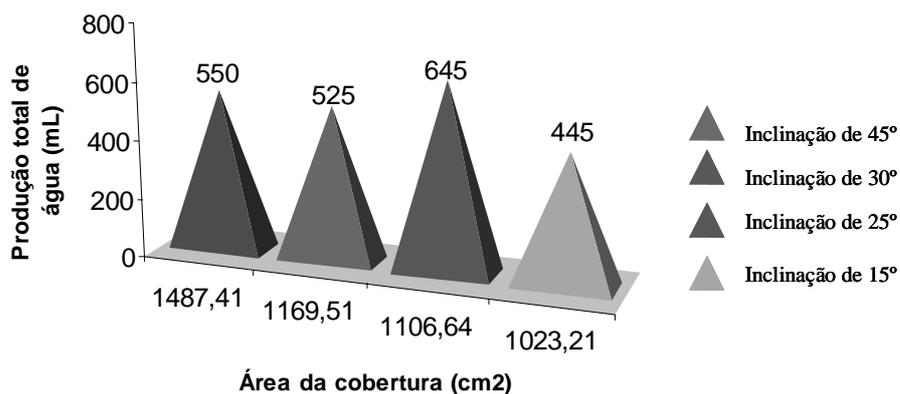


Figura 31 - Produção de água em função da área da cobertura de vidro (pirâmide) de base de 35 x 35 cm

#### 4.1.2 – Determinação da melhor inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) em função da temperatura da água

A Figura 32 apresenta uma comparação das diversas produções de água em função das inclinações e temperatura da água no interior da pirâmide.

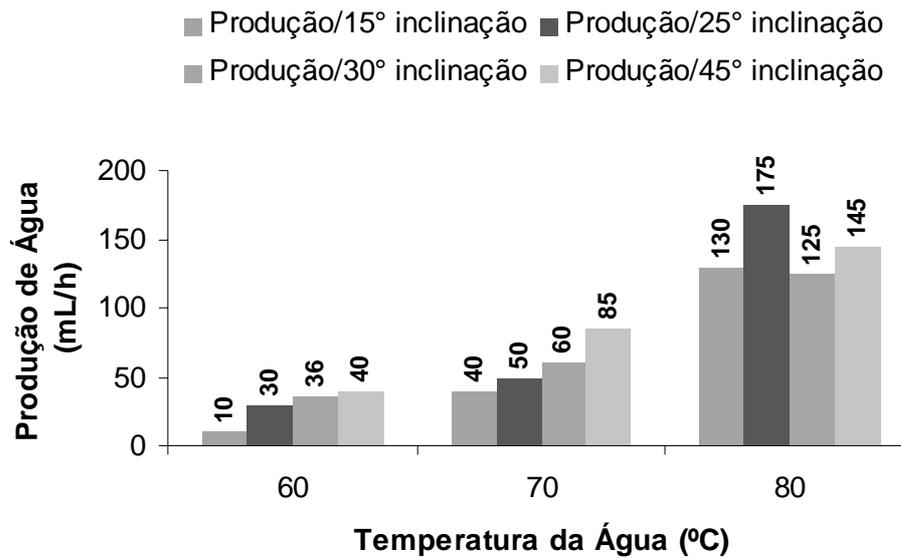


Figura 32 - Produção de água em função da temperatura da água e inclinação da cobertura de vidro (pirâmide) de base 35 x 35 cm

Analisando o gráfico da Figura 32, verificou-se que quanto maior a temperatura da água, maior a produção. Quando a temperatura da água está por volta dos 80°C, as maiores produções ocorreram com inclinações de 25° e 45°.

Bouhekima (2002) e Akash *et al.* (2000) mostraram que a produtividade é influenciada pela radiação solar e pela temperatura da água.

Estudos realizados por Cappelletti (2002) mostraram que os resultados de 1,7 L/m<sup>2</sup>.dia foram decorrentes da baixa temperatura da água na base, que era entre 50°C a 80°C.

#### 4.2 - DETERMINAÇÃO DA MELHOR LÂMINA DE ÁGUA BRUTA NO INTERIOR DA BASE DO EQUIPAMENTO (PIRÂMIDE)

A Figura 33 mostra o tempo gasto para evaporar 50 mL de água em função da lâmina de água no interior do equipamento de base de 35 x 35 cm. A Tabela 7 apresenta o resultado da determinação da melhor lâmina.

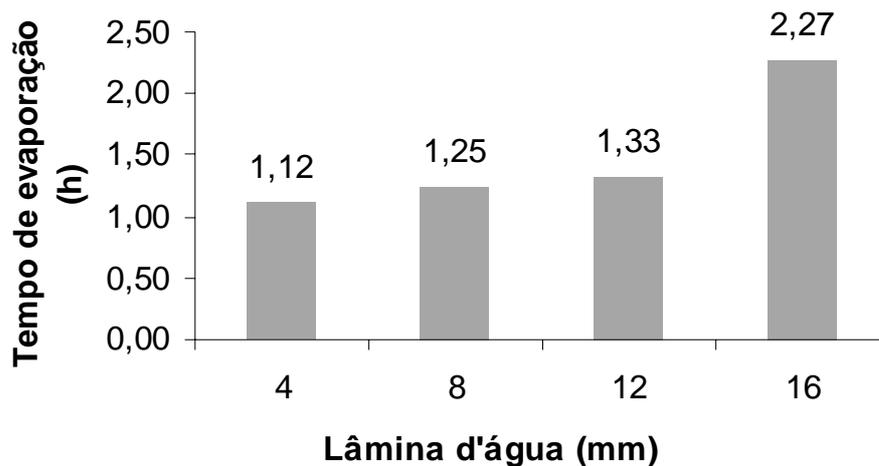


Figura 33 - Lâmina d'água em função do tempo de evaporação para o volume de 50 mL

Tabela 7 - Resultado do determinação da melhor lâmina d'água

Tempo Inicial (min)	Tempo Final (min)	Tempo (min)	Lâmina d'Água (mm)	Temp. Ambiente (°C)	Temp. Água (°C)	Gradiente (°C)	Volume Consumido (mL)
15:35	16:40	01:05	4	30	50	20	50
17:25	18:40	01:15	4	29	52	23	50
14:10	15:25	01:15	4	27	47	20	50
15:35	17:00	01:25	8	27	48	21	50
17:15	18:35	01:20	8	30	48	18	50
08:15	09:45	01:30	8	28	46	18	50
10:15	11:45	01:30	12	32	47	15	50
14:25	16:00	01:35	12	27	49	22	50
16:50	18:25	01:35	12	27	49	22	50
09:00	11:20	02:20	16	28	49	21	50
12:00	14:30	02:30	16	28	45	17	50
15:00	17:30	02:30	16	29	45	16	50

Analisando a Figura 33 e a Tabela 7 concluiu-se que a medida em que a lâmina é minimizada, a produção é maximizada e existe uma relação inversamente proporcional entre a lâmina d'água e a produção da mesma.

Verificou-se que a quanto menor a lâmina diferença no tempo de evaporação de 50 mL, para as lâminas d'água de oito mm e doze mm, não foi considerável. Por este motivo e considerando também as dificuldades práticas de manter sempre o equipamento nivelado, a ponto de todo o fundo manter-se úmido, preferiu-se adotar uma lâmina de 10 mm, além das facilidades construtivas.

Segundo Sommer *et al.* (1997, citado em Prosab, 2001) a espessura da lâmina d'água interfere significativamente na eficiência de inativação de microorganismos. O aumento da profundidade da água leva a um menor eficiência do processo, se considerado um tempo fixo de exposição. Suneja e Tiwari (1999) também verificaram que quanto maior a profundidade da lâmina d'água no interior da base do destilador, menor a transferência de calor na água condensada, ou seja, menor a produção de água.

### 4.3 - ESTUDO DA PRODUÇÃO E DA QUALIDADE DAS ÁGUAS TRATADAS EM AMBIENTE NATURAL

#### 4.3.1 – Estudo da produção nos equipamentos de tratamento de água tipo 1 e tipo 2

Na Tabela 8 é apresentado o resultado do ensaio do dia 26 de fevereiro de 2003, onde obteve-se a maior produção de água tratada de 281 mL ( $3,12 \text{ L/ m}^2 \cdot \text{d}$ ) com o equipamento tipo 2. As Figuras 34 e 35 apresentam a produção de água em função da hora do dia, temperatura da água, temperatura ambiente e radiação solar.

Tabela 8 – Valores do dia 26/02/2003

Hora	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Água (°C)	Gradiente (°C)	Produção (mL/h)	Radiação solar (Wh/m <sup>2</sup> )
7	32	39	7	0	48
8	35	48	13	10	252
9	37	53	16	20	481
10	38	55	18	35	698
11	38	58	20	42	845
12	39	61	22	52	950
13	40	63	23	55	982
14	39	59	20	28	941
15	40	49	9	29	833
16	38	45	7	10	630

**Total: 281 mL**

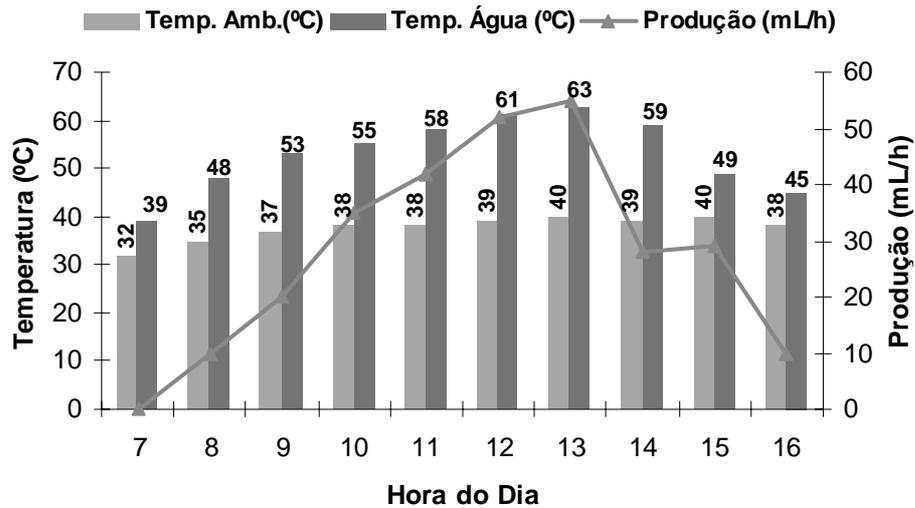


Figura 34 – Produção de água em função da temperatura ambiente e temperatura da água para o equipamento de tratamento de água tipo 2

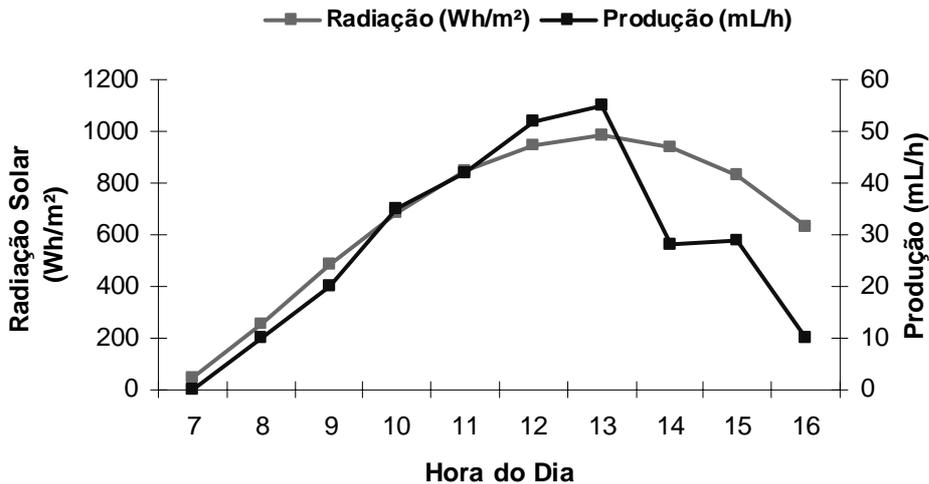


Figura 35 – Produção de água em função da radiação solar e temperatura ambiente para o equipamento de tratamento de água tipo 2

Com a análise das Figuras 34 e 35, conclui-se que a produção de água foi em geral diretamente proporcional e depende de fatores como: temperatura ambiente, temperatura da água no interior da base, gradiente de temperatura (diferença entre temperatura da água no interior da base e a temperatura ambiente) e da radiação solar.

A Figura 36 apresenta um aumento na produção de água principalmente por volta das 12 – 13 horas e uma diminuição significativa a partir das 14 horas, mesmo com uma radiação de 941 Wh/m<sup>2</sup>, isto aconteceu porque neste momento o tempo nublou.

A média da produção de água para o equipamento de tratamento de água tipo 2 sem o uso de coletor de energia solar e usando um ângulo de inclinação para cobertura de vidro de 45° foi de 168,3 mL ( $\cong 1,9 \text{ L/m}^2\cdot\text{dia}$ ) e usando um ângulo de inclinação para a cobertura de vidro de 25° foi de 200,3 mL ( $\cong 2,2 \text{ L/m}^2\cdot\text{dia}$ ). Analisando o estudo feito e comparando o resultado de diversos dias de trabalho (dias com temperatura ambiente e radiação solar semelhante), optou-se pelo uso da inclinação de 25°.

No decorrer do estudo foram realizados ensaios acoplando o uso de um coletor de energia solar para o equipamento de tratamento de água tipo 1 (ver características na metodologia), onde a média de produção de água usando um ângulo de inclinação para cobertura de vidro de 45° foi de 132,8 mL ( $\cong 1,5 \text{ L/m}^2\cdot\text{dia}$ ) e usando um ângulo de inclinação para a cobertura de vidro de 25° foi de 173,5 mL ( $\cong 2,0 \text{ L/m}^2\cdot\text{dia}$ ).

Comparando os resultados obtidos na produção de água tratada com e sem o uso deste coletor de energia solar, concluímos que o uso deste coletor seria irrelevante pelo fato da troca de água entre o coletor e a água contida no interior da base do destilador ser muito pequena, ou seja, a vazão é muito baixa. Considerando este fato e observando os dados obtidos empiricamente, verificou-se que o uso do coletor de energia solar não fez com que a produção de água melhorasse consideravelmente, sendo assim foi descartado o uso do mesmo.

Pelo fato do equipamento de tratamento de água tipo 2 apresentar a maior produção média de água tratada e por apresentar uma melhor disposição das calhas de coleta de água produzida, optou-se pela construção do equipamento de tratamento de água otimizado seguindo o mesmo modelo construtivo do equipamento de tratamento de água tipo 2; porém o material utilizado na construção da base do equipamento foi fibra de vidro.

Segundo BOUKAR *et al.* (2000) que realizou um estudo dos efeitos das condições climáticas para um destilador de bacia simples, o fator velocidade do vento teve um efeito pequeno na produção de água, por isso desconsiderou-se este fator neste estudo.

#### 4.3.2 – Estudo da produção no equipamento de tratamento de água otimizado

No estudo realizado em Florianópolis/SC, os resultados apresentados foram obtidos durante o monitoramento com o equipamento de tratamento de água (Figura 24). Porém anteriormente, foram realizados estudos com o equipamento da Figura 23. Quando foi acoplado o reservatório de água produzida (Figura 24), observou-se um aumento na produção de água e assim resolveu-se trabalhar com o acoplado, pois era totalmente fechado não ocorrendo perdas de vapor.

No estudo realizado em Natal/RN, os resultados foram obtidos utilizando o equipamento da Figura 23 em maio de 2003 durante dez dias. Em março do corrente ano utilizou-se novamente o mesmo equipamento (Figura 23), pois o reservatório acoplado não teve condições de ser implantado devido a problemas técnicos, pois o estudo durou apenas dez dias.

Os resultados estão sob forma de gráficos e tabelas onde se comparou a produção em relação à temperatura do ar, à radiação solar global e juntamente com as condições climáticas de cada dia analisado.

##### 4.3.2.1 - Teste no Sul do Brasil (Florianópolis/SC)

#### ***Produção de água***

As Tabelas 9,10 e 11 relacionam com as Figuras 36, 37 e 38 os valores de produção de água, temperatura do ar, radiação solar global e condições climáticas durante o mês. Os valores em negrito nas tabelas representam os valores mínimos, valores máximos e ao final, apresenta –se a média de todos os valores.

Outubro/2003

Tabela 9 – Valores para o mês de Outubro/2003

<b>Dia</b>	<b>Temp. Média Ambiente (°C)</b>	<b>Produção de Água (L/m<sup>2</sup>.dia)</b>	<b>Radiação Global (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Condições Climáticas</b>
2	21,0	3,9	6333,8	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
3	23,2	4,0	6805,1	sol, sem nuvens, vento fraco
4	23,3	2,9	5675,1	nublado, pancadas de sol, vento moderado
5	22,6	1,9	3038,3	nublado, pancadas de sol, vento moderado
6	21,3	1,5	2514,7	nublado, pancadas de chuva, vento moderado
7	<b>20,4</b>	<b>1,2</b>	<b>2917,5</b>	<b>chuva, sem vento</b>
8	22,0	3,2	6182,8	sol, alta nebulosidade, sem vento
10	19,8	3,4	7371,1	sol, alta nebulosidade, sem vento
11	20,7	1,8	3222,2	chuva, alta nebulosidade, sem vento
12	15,3	2,8	3663,2	sol, sem nuvens, vento moderado
13	17,3	3,4	6799,7	sol, baixa nebulosidade, vento fraco
15	18,7	3,2	7711,0	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
16	19,3	4,1	5908,8	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
17	20,2	3,9	6676,2	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
18	20,9	3,9	7711,6	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
19	21,5	3,9	6987,4	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
21	21,7	2,6	4933,7	garoa, nublado
22	20,4	3,5	1438,6	garoa, pancadas de sol
23	<b>20,7</b>	<b>4,4</b>	<b>5634,6</b>	<b>sol, baixa nebulosidade, vento fraco</b>
24	21,6	3,2	7098,6	sol, baixa nebulosidade, vento fraco
<b>Médias</b>	<b>20,6</b>	<b>3,1</b>	<b>5341,2</b>	

A Figura 36 apresenta a produção de água mínima (chuva e sem vento), média e máxima (sol, baixa nebulosidade e vento fraco) em função da temperatura ambiente e radiação solar.

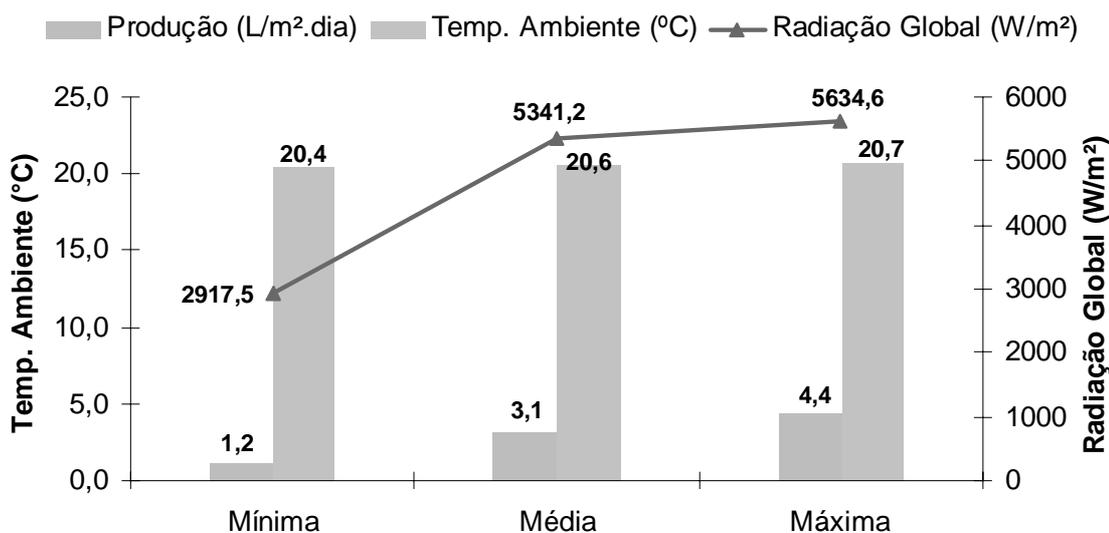


Figura 36 – Produção de água em função da temperatura ambiente e radiação solar

Novembro/2003

Tabela 10 – Valores para o mês de Novembro/2003

Dia	Temp. Média Ambiente (°C)	Produção de Água (L/m <sup>2</sup> .dia)	Radiação Global (W/m <sup>2</sup> )	Condições Climáticas
8	24,2	4,6	NR	sol, sem nuvens, vento moderado
9	26,6	4,4	NR	sol, sem nuvens, vento moderado
10	25,4	4,2	NR	sol, sem nuvens, vento moderado
25	24,4	1,5	NR	nublado, pancadas de chuva
<b>26</b>	<b>24,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1995,3</b>	<b>garoa, nublado</b>
27	26,5	2,6	3491,3	nublado
28	23,6	4,8	9042,2	sol, sem nuvens, vento fraco
29	22,4	4,7	8390,7	sol, sem nuvens, vento fraco
30	23,2	5,1	7114,6	<b>sol, sem nuvens, vento fraco</b>
<b>Médias</b>	<b>24,5</b>	<b>3,7</b>	<b>6006,8</b>	

NR – Não Registrado

A Figura 37 apresenta a produção de água mínima (garoa e nublado), média e máxima (sol, sem nuvens e vento fraco) em função da temperatura ambiente e radiação solar. A média da radiação solar foi calculada considerando-se apenas cinco valores, devido a ausência de dados fornecidos pelo LABSOLAR/UFSC ocasionada por problemas técnicos no equipamento.

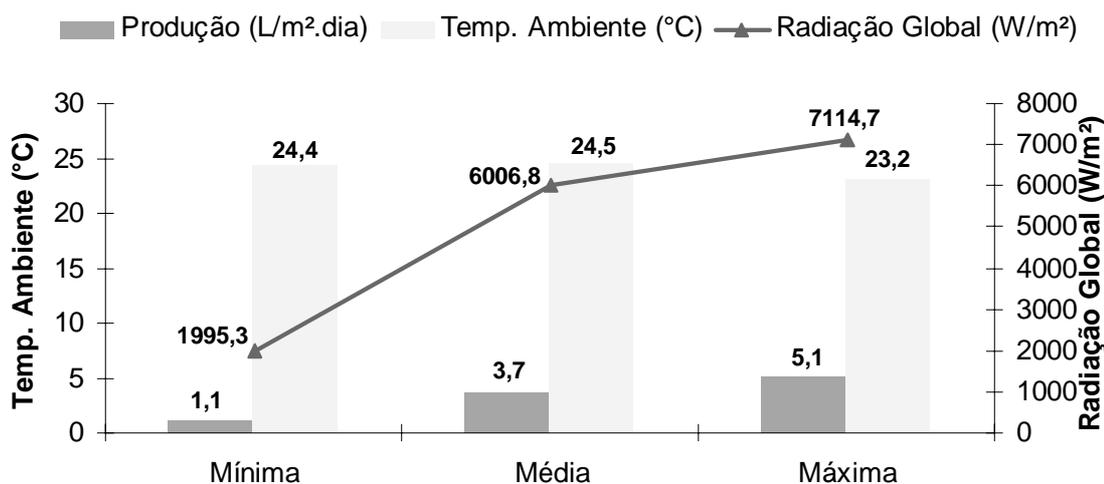


Figura 37 – Produção de água em função da temperatura ambiente e radiação solar

Março/2004

Tabela 11 – Valores para o mês de Março/2004

Dia	Temp. Média Ambiente (°C)	Produção de Água (L/m <sup>2</sup> .dia)	Radiação Global (W/m <sup>2</sup> )	Condições Climáticas
<b>16</b>	<b>23,7</b>	<b>6,2</b>	<b>6325,9</b>	<b>sol, sem nuvens, vento moderado</b>
17	23,4	2,6	5037,1	sol, alta nebulosidade, vento moderado
18	23,0	3,5	4205,5	sol, alta nebulosidade, vento moderado
19	21,8	2,7	1972,4	sol, alta nebulosidade, vento moderado
<b>25</b>	<b>21,9</b>	<b>2,4</b>	<b>5058,7</b>	<b>sol, baixa nebulosidade, vento moderado</b>
26	22,9	3,1	5265,1	sol, alta nebulosidade, sem vento
27	24,2	3,9	5578,6	sol, baixa nebulosidade, sem vento
28	24,6	3,9	1942,0	sol, baixa nebulosidade, sem vento
29	22,9	3,9	4552,8	sol, baixa nebulosidade, sem vento
30	23,6	4,5	4806,8	sol, sem nuvens, vento fraco
<b>Médias</b>	<b>23,2</b>	<b>3,7</b>	<b>4474,5</b>	

A Figura 38 apresenta a produção de água mínima (sol, baixa nebulosidade e vento moderado), média e máxima (sol, sem nuvens e vento moderado) em função da temperatura ambiente e radiação solar.

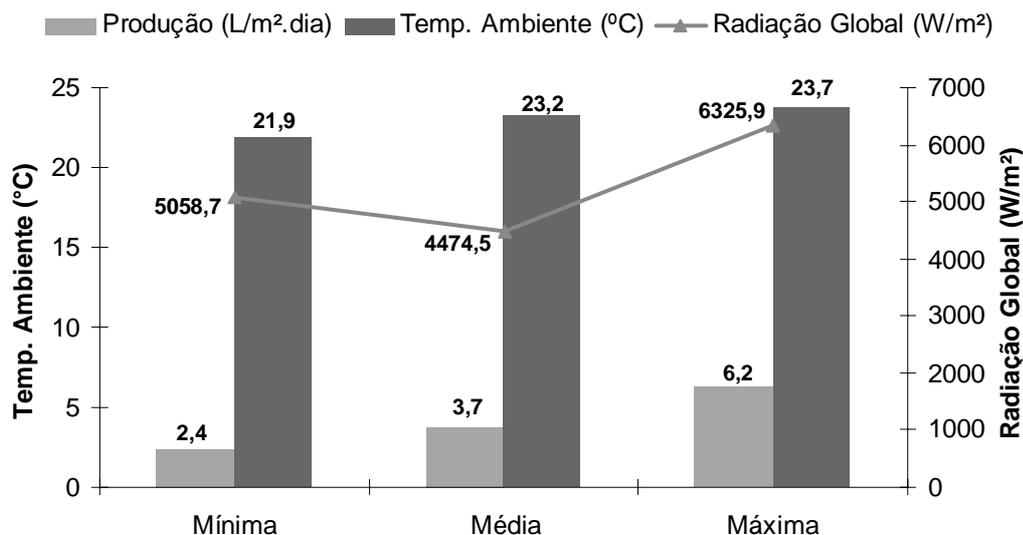


Figura 38 – Produção de água em função da temperatura ambiente e radiação solar

A Figura 39 apresenta a média da produção de água em função das médias de temperatura ambiente e radiação solar global nos meses de Outubro e Novembro/2003 e Março/2004.

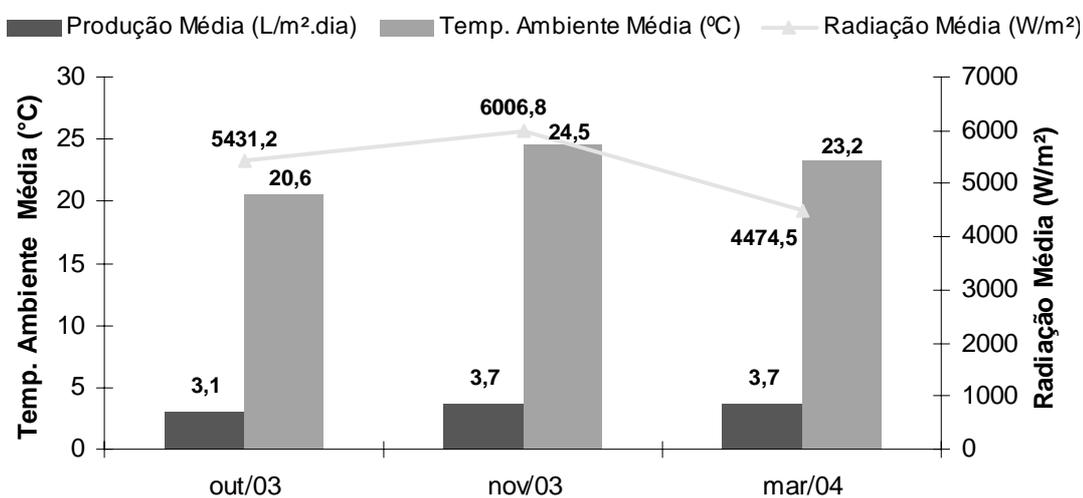


Figura 39 – Média de produção de água em função das médias de temperatura ambiente e radiação solar

Como se pode constatar nas Figuras 36, 37 e 38, a produção de água depende da temperatura ambiente e principalmente da radiação solar, apesar da temperatura ambiente ter

apresentado pequena variação comparando os resultados para produção mínima, média e máxima mensal.

Analisando ainda os gráficos e considerando que a produção de água está relacionada com a radiação solar, é importante enfatizar que quando há baixa nebulosidade ou ausência da mesma, a produção de água é ainda maior.

Segundo INPE (2003), para os dias com alta nebulosidade, a radiação solar diminui e isto é justificável devido ao fato de que as nuvens são responsáveis por 25 a 30% (em média) da reflexão da radiação solar que chega ao planeta. As nuvens variam continuamente de forma e tamanho, e são as grandes moduladoras da energia solar que chega à superfície.

Na Figura 39, comparou-se a médias das produções de água e constatou-se que as produções nos meses de Novembro/2003 e Março/2004 apresentaram-se semelhantes, ressaltando-se que no mês de Novembro/2003, a radiação solar apresentou-se mais alta do que no mês de Março/2004, devido a média deste último mês ter sido realizada considerando-se apenas cinco valores. Na realização de uma suposta estimativa, seria esperado que os valores fossem semelhantes.

#### 4.3.2.2 – Teste no Nordeste do Brasil (Natal/RN)

##### ***Produção de água***

As Tabelas 12 e 13 relacionam com as Figuras 40 e 41 os valores de produção de água, temperatura do ar e condições climáticas durante o mês. Os valores em negrito nas tabelas representam os valores mínimos, valores máximos e ao final, apresenta –se a média de todos os valores.

Os dados relacionados à radiação solar não são apresentados, pois segundo informações obtidas através do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, não são medidos há mais de dez anos.

Maio/2003

Tabela 12 – Valores do mês de Maio/2003

<b>Dia</b>	<b>Temp. Média Ambiente (°C)</b>	<b>Produção de Água (L/m<sup>2</sup>.dia)</b>	<b>Condições Climáticas</b>
23	28,0	2,9	sol, alta nebulosidade, vento moderado
26	28,8	3,1	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
27	28,6	2,8	sol, baixa nebulosidade, vento fraco
28	28,1	3	sol, alta nebulosidade, vento fraco
<b>29</b>	<b>28,3</b>	<b>3,6</b>	<b>sol, baixa nebulosidade, vento fraco</b>
<b>30</b>	<b>27,6</b>	<b>2,5</b>	<b>nublado, alta nebulosidade, vento fraco</b>
<b>Médias</b>	<b>28,0</b>	<b>3,0</b>	

A Figura 39 apresenta a produção de água mínima (nublado, alta nebulosidade e vento fraco), média e máxima (sol, baixa nebulosidade e vento fraco) e temperatura ambiente.

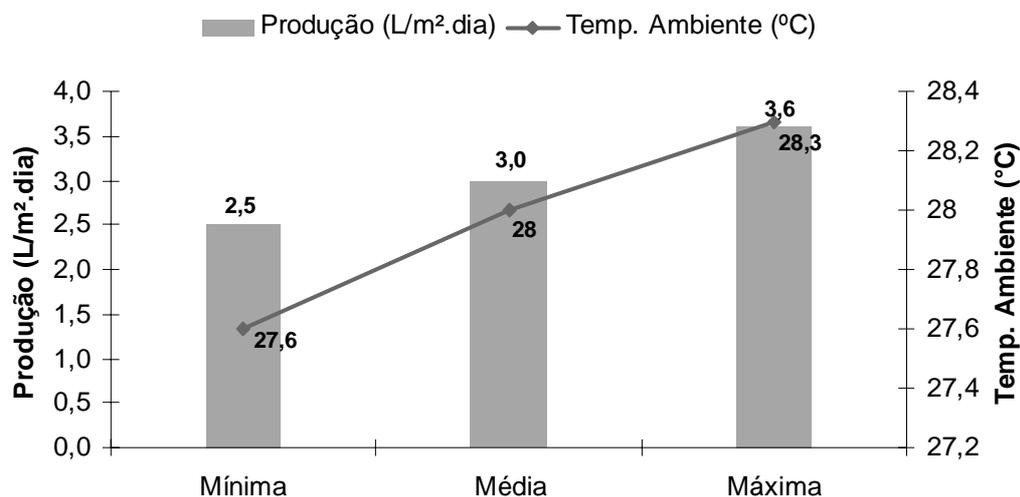


Figura 40 – Produção de água e temperatura ambiente

Março/2004

Tabela 13 – Valores do mês de Março/2004

<b>Dia</b>	<b>Temp. Média Ambiente (°C)</b>	<b>Produção de Água (L/m<sup>2</sup>.dia)</b>	<b>Condições Climáticas</b>
27	28,9	3,5	sol, alta nebulosidade, vento moderado
28	28,7	4	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
<b>29</b>	<b>28,7</b>	<b>4,6</b>	<b>sol, baixa nebulosidade, vento moderado</b>
<b>30</b>	<b>28,3</b>	<b>3,1</b>	<b>sol, alta nebulosidade, vento moderado</b>
31	27,5	3,2	sol, alta nebulosidade, vento moderado
<b>Médias</b>	<b>28,4</b>	<b>3,7</b>	

A Figura 40 apresenta a produção de água mínima (sol, alta nebulosidade e vento moderado), média e máxima (sol, baixa nebulosidade e vento moderado) e temperatura ambiente.

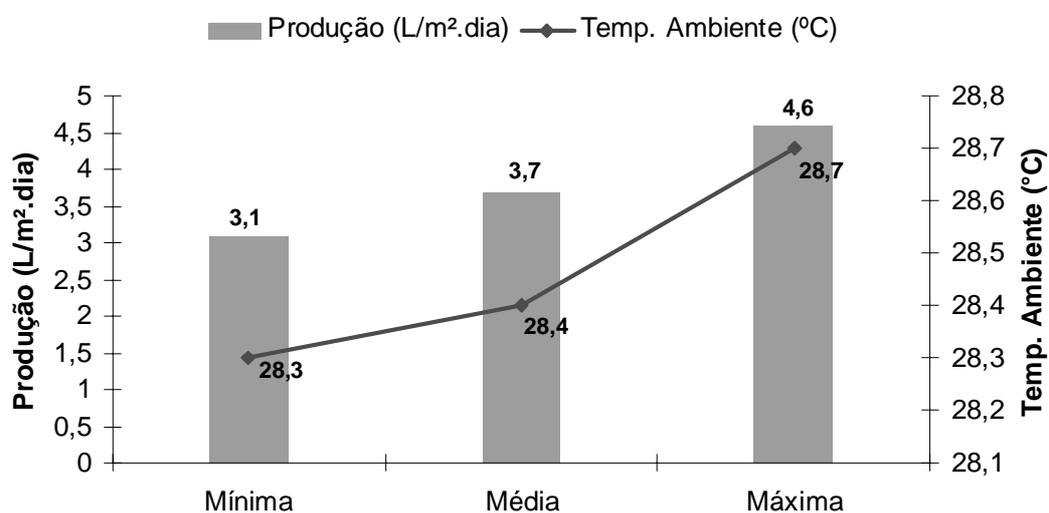


Figura 41 – Produção de água e temperatura ambiente

A Figura 42 apresenta a média da produção de água e média de temperatura ambiente nos meses de Maio/2003 e Março/2004.

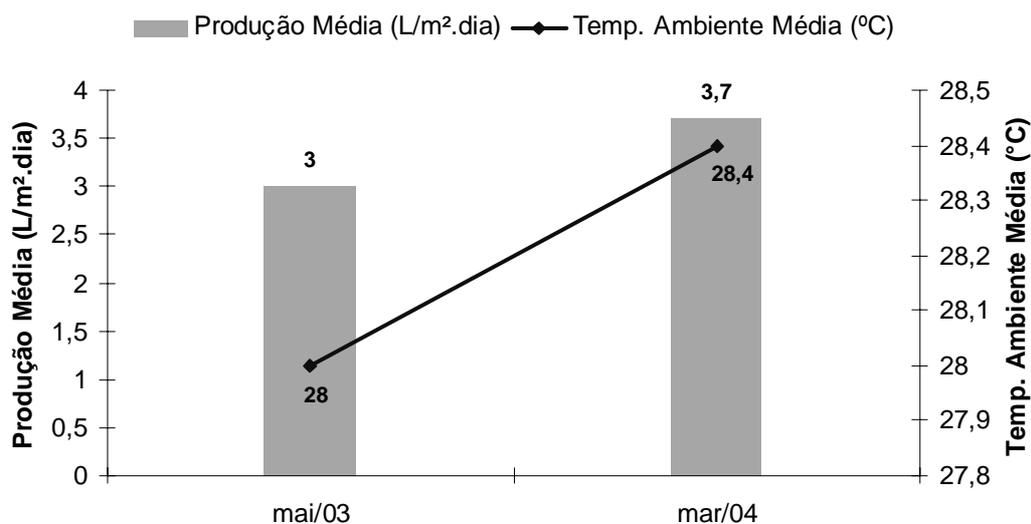


Figura 42 – Média de produção de água e temperatura ambiente

Como já comentado anteriormente e analisando as Figuras 40 e 41 a produção de água depende da temperatura ambiente, mesmo para pequena variação ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) deste, comparando os resultados para produção mínima e máxima. Uma vez que não se tem dados de radiação solar, pode-se somente analisar os dados de temperatura.

A eficiência do equipamento em relação a produção de água, mesmo com temperaturas ambientes maiores do que os estudos realizados em Florianópolis, pode ter sido diminuída pelo fato do estudo ter sido realizado com o equipamento de tratamento otimizado (Figura 23), ou seja, sem o reservatório de água produzida acoplado, o que pode ter acarretado em perdas de vapor durante o ensaio (dia).

Diante do estudo realizado em Natal/RN, também foi observado que o fator nebulosidade influenciou na produção de água. Como constatado na Figura 42, a média das produções de água e temperaturas ambientes foram semelhantes uma vez que apresentaram condições climáticas similares, tanto que a diferença de  $3,0 \text{ L/m}^2.\text{dia}$  para  $3,7 \text{ L/m}^2.\text{dia}$  foi mínima.

Conclui-se que a produção obtida nos estudos em Natal/RN comparado com Florianópolis/SC foi considerada baixa. Isto pode ser explicado também pelos estudos terem

sido realizados nas piores épocas do ano (considerado inverno), mesmo com condições climáticas favoráveis. Espera-se que a produção seja ainda maior quando o monitoramento for acompanhado em épocas melhores (consideradas verão), como por exemplo, entre os meses de outubro e janeiro.

Bouchekima (2002) estudou um destilador na Argélia, onde a temperatura ambiente no verão era por volta dos 40°C, atingindo temperatura da água entre 65 a 75°C. O autor mostra que a produtividade é influenciada pela radiação solar e temperatura da água e que aumento significativo da produção de água destilada foi obtida não somente durante o dia, mas também durante a noite, onde ocorre o resfriamento da água que se encontra na base do destilador.

Segundo Torres (1984) para as condições de Recife/PE conclui que no início da manhã já são produzidos alguns litros d'água e a produção máxima é obtida nas horas de maior intensidade de radiação solar (12-15 horas), diminuindo ao aproximar-se o período noturno. Verificou-se, ainda, que 30% da produção diária é obtida durante a noite, quando a temperatura externa diminui e favorece a condensação do vapor na lâmina de vidro. Por outro lado, mesmo em dias com o céu completamente nublado o destilador funciona, produzindo uma média de 3,5 L/m<sup>2</sup>.dia. Adotou-se para Recife uma média de 4,5 L/m<sup>2</sup>.dia para um dia de operação normal.

Através dos estudos realizados com o equipamento de tratamento de água otimizado em Florianópolis/SC e em Natal/RN durante os meses de estudo, a média das produções de água foram de 3,5 L/m<sup>2</sup>.dia considerando-se dias ensolarados e chuvosos.

Na verdade, um bom destilador solar pode fornecer aproximadamente cerca de 4 litros de água destilada por dia por metro quadrado de superfície, com um rendimento de cerca de 50% (COMETTA, 1977), em acordo com o que foi determinado aproximadamente tanto para Florianópolis/SC como para Natal/RN.

Conforme a Tabela 3 vista no item 2.1.1 deste trabalho, vários autores estudaram a destilação solar como sendo um processo de potabilização de água.

Os autores citados que utilizaram como cobertura, o tipo duas águas (telhado), entretanto com diferentes inclinações para a mesma, a produção média de água utilizando-se 10° de inclinação, apresentou valores entre 4,0 a 5,0 L/m<sup>2</sup>.dia. Já para inclinação de 35° a produção média foi de 2,1 L/m<sup>2</sup>.dia e para a mesma inclinação, porém utilizando como tipo de cobertura, uma água, a produção foi bem maior (5,6 L/m<sup>2</sup>.dia).

Como neste trabalho, utilizou-se a inclinação de 25° para a cobertura de vidro do equipamento, em forma de pirâmide, pode-se comparar os resultados com autores citados, porém onde usaram

Senem (2000) e Soares (2001), em estudos realizados com cobertura do equipamento em forma de pirâmide e com inclinação de 45°, obtiveram produções médias de água de 3,5 L/m<sup>2</sup>.dia e 1,3 L/m<sup>2</sup>.dia respectivamente.

Soares (2001), concluiu o que valor citado acima apresentou-se baixo, devido a reevaporação ocorrida na calha coletora de água destilada, bem como a fuga de vapor na mesma.

Comparando-se os valores obtidos por Senem (2000) com os obtidos neste trabalho, a produção de água foi semelhante para as inclinações de 45° e 25°, usada neste trabalho.

Já para Cappelletti (2002) nas condições da Itália, quando utilizou também uma inclinação de 45° para a cobertura tipo telhado, a produção média de água foi de 1,8 L/m<sup>2</sup>.dia. Este resultado quando comparado com os deste trabalho foi considerado baixo.

#### 4.3.3 – Estudo da qualidade da água produzida com o equipamento de tratamento de água otimizado

Neste item mostra-se o estudo realizado para verificação da qualidade da água produzida pelo equipamento. Neste estudo realizaram-se diversas análises físico-químicas e bacteriológicas e também uma análise complementar, porém importante, onde utilizou-se cistos de *Giardia* (*Giardia lamblia*) e ovos de Helmintos (*Ascaris lumbricoides*). Os gráficos a seguir mostram a qualidade da água bruta e tratada realizada com o equipamento otimizado.

##### 4.3.3.1 - Teste no Sul do Brasil (Florianópolis/SC)

#### ***Qualidade da água***

A Tabela 14 apresenta os valores médios dos parâmetros medidos durante o estudo utilizando como água bruta: água salgada (mar), água salgada (filtrada), água salobra (ponteira) e água doce contaminada.

Tabela 14 - Características da água bruta e da água tratada.

Parâmetros de Controle	Água Salgada (Mar)		Água Salgada (Filtrada)		Água Salobra (Ponteira)		Água Doce Contaminada (Lago)		VMP (Portaria nº 518/2004)
	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Tratada
Cor Aparente (uH)	18	9	8	1	125	22	92	10	15
Cor Verdadeira (uH)	10	4	3	0	65	12	14	0	
Condutividade x 1000 (µS/cm)	54,20	0,12	57,40	0,02	0,76	0,05	0,22	0,05	
Coliformes Totais (NMP/100mL)	> 2,4 x 10 <sup>3</sup>	0	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0	1,2 x 10 <sup>3</sup>	0	> 2,4 x 10 <sup>3</sup>	0	Ausência em 100 mL
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0	0,04 x 10 <sup>3</sup>	0	0	0	1,6 x 10 <sup>3</sup>	0	Ausência em 100 mL
pH	8,1	5,9	8,2	7,4	8,0	6,5	8,4	7,7	Entre 6,0 e 9,5
Odor	NO	NO	NO	NO	LT	NO	FE	NO	Não Objetável
Sabor	S	NO	LS	NO	LT	NO	NR	NR	Não Objetável
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	34705	124	24117	25	5140	118	1060	139	1000
Salinidade (‰)	33	0	32	0	0,4	0	0	0	
Turbidez (uT)	1,72	0,43	0,62	0,36	1,22	0,98	11,3	0,95	5

NO – Não Objetável, NR – Não Realizado, LS – Leve Salgado, S – Salgado, LT – Leve Terra e FE – Forte Esgoto

Com os dados da Tabela 14, construiu-se os gráficos para visualizar melhor os resultados obtidos neste estudo. As Figuras 43, 44, 45 e 46 apresentam a variação dos parâmetros medidos e a sua remoção devido ao tratamento aplicado.

## Água Salgada – Mar

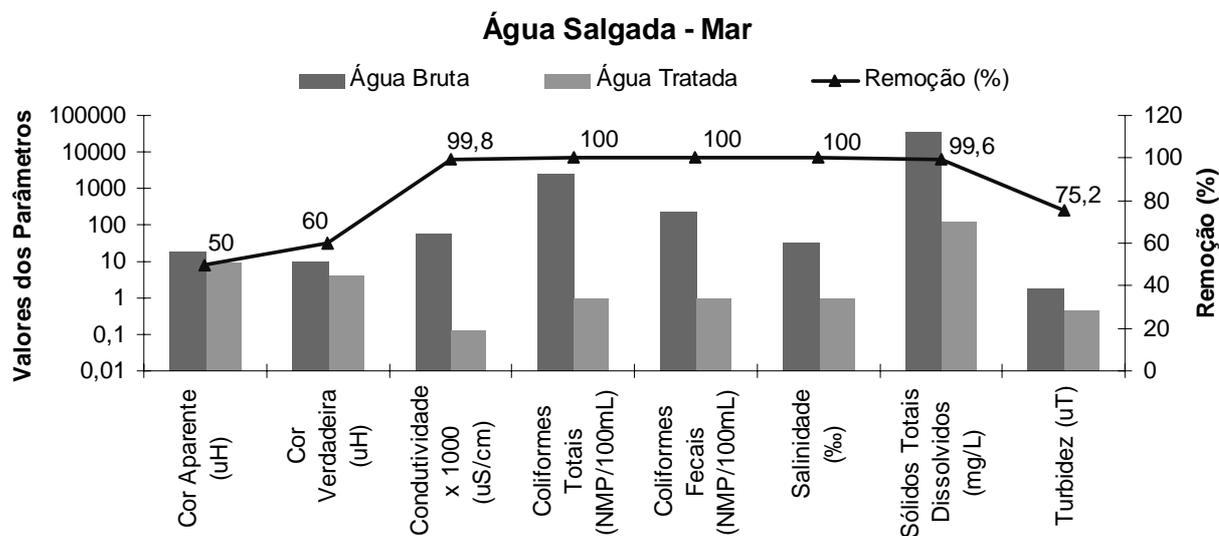


Figura 43 - Variação da qualidade da água salgada – mar antes e pós-tratamento

## Água Salgada – Filtrada

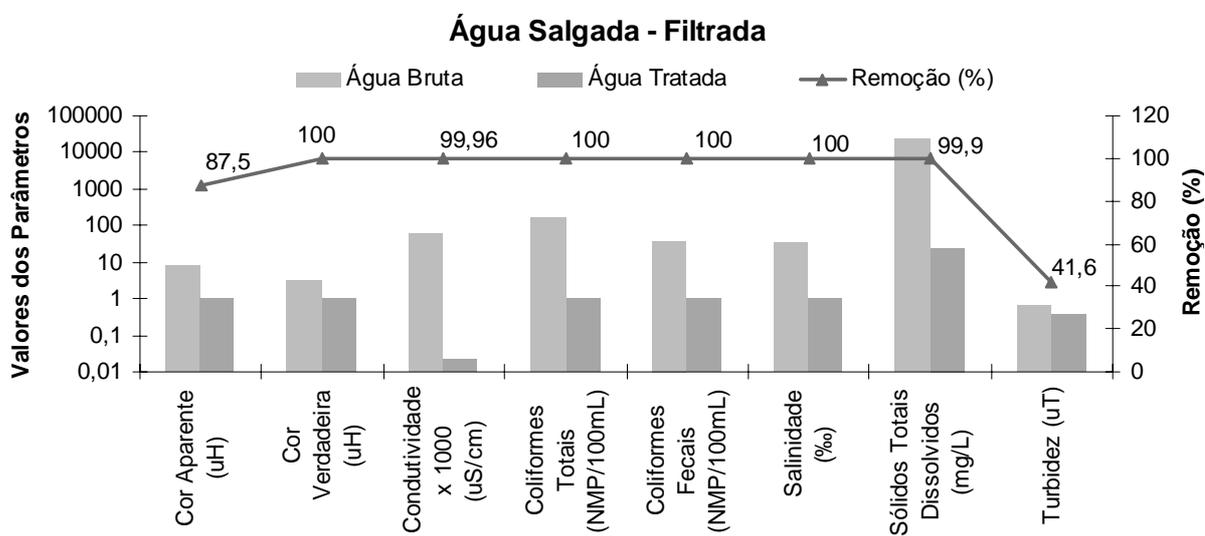


Figura 44 - Variação da qualidade da água salgada – filtrada antes e pós-tratamento

## Água Salobra – Ponteira

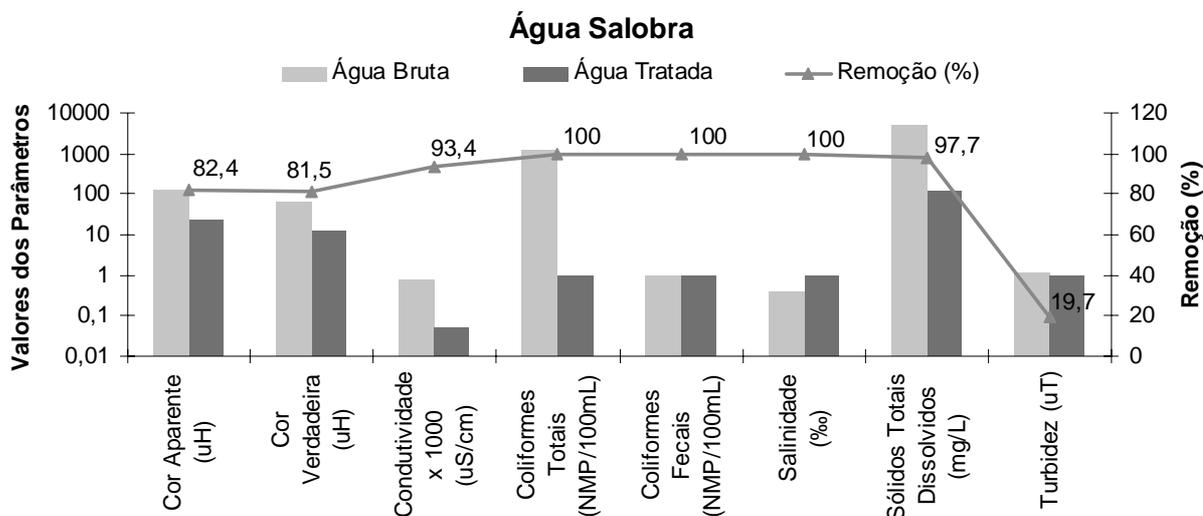


Figura 45 - Variação da qualidade da água salobra antes e pós-tratamento

## Água Doce Contaminada – Lago

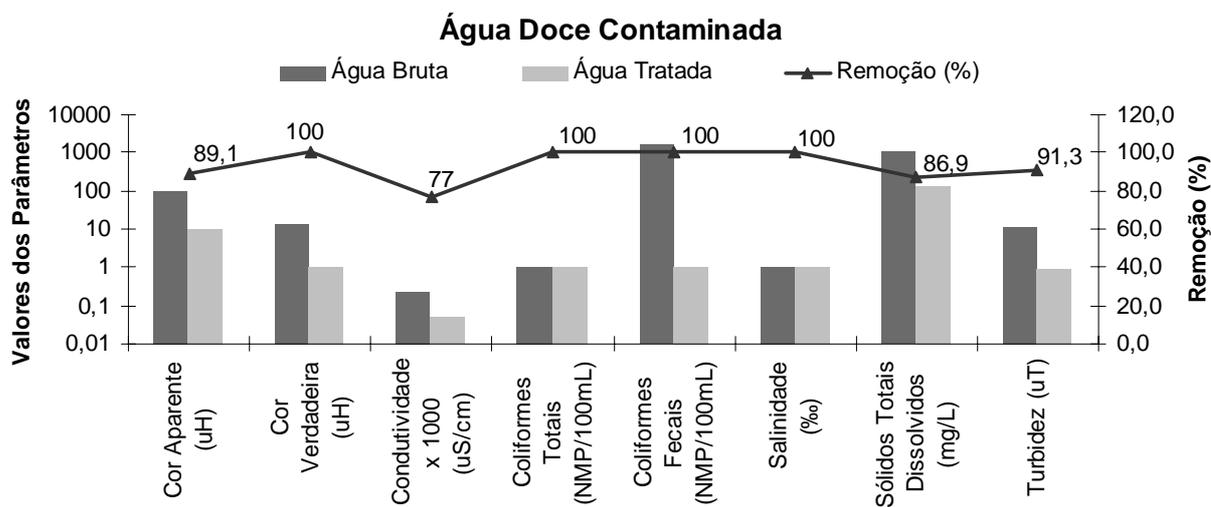


Figura 46 - Variação da qualidade da água doce contaminada antes e pós-tratamento

Observa-se na Figura 43, para água salgada – mar, que para este tipo de água utilizada como bruta, houve remoção de 50%, 60% e 75,2% para os parâmetros cor aparente, cor verdadeira e turbidez, respectivamente. Para os parâmetros condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos, observa-se que houve remoção de 99,8%, 100% e 99,6%, respectivamente.

Senem (2000), quando utilizou água salgada e analisou parâmetros semelhantes aos deste trabalho, como por exemplo, condutividade, sólidos totais dissolvidos e salinidade, constatou que estes apresentaram-se dentro dos padrões de potabilidade segundo a Portaria N° 1469/2000 do Ministério da Saúde.

Pode-se observar na Figura 44, para água salgada – filtrada, que para este tipo de água utilizada como bruta, houve remoção de 87,5%, 100% e 41,6% para os parâmetros cor aparente, cor verdadeira e turbidez, respectivamente. Para os parâmetros condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos, observa-se que houve uma remoção de praticamente 100%.

Já na Figura 45, para a água salobra – ponteira, que para este tipo de água utilizada como bruta, houve remoção de 82,4%, 81,5% e 19,7% para os parâmetros cor aparente, cor verdadeira e turbidez. Para os parâmetros condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos, removeram-se 93,4%, 100% e 97,7%, respectivamente.

E por fim, na Figura 46, para a água doce contaminada – lago, que para este tipo de água utilizada como bruta, houve remoção de 86,9%, 100% e 91,3% para os parâmetros cor aparente, cor verdadeira e turbidez, respectivamente. Para os parâmetros condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos, observa-se que houve uma remoção de 77%, 100% e 86,9%, respectivamente.

Os parâmetros bacteriológicos coliformes totais e fecais, também apresentaram remoção de 100% na água tratada com destilação solar natural para todas as águas estudadas.

Os parâmetros odor, sabor e pH, além dos anteriores, estão de acordo com os padrões estabelecidos pela Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde.

Estudos feitos por Soares (2001) para uma água doce contaminada – lago, coletada no Hospital Universitário desta Universidade, os parâmetros analisados como: coliformes totais e fecais, cor aparente, cor verdadeira, condutividade, sólidos totais dissolvidos e turbidez apresentaram-se dentro dos padrões de potabilidade segundo a Portaria N° 1469/2000.

Mota e Andrade (1986) em estudos para verificação da qualidade da água produzida mostraram que no estudo realizado para remover principalmente microorganismos na água contaminada, houve a remoção de 100% para coliformes totais e fecais e também para análises físico-químicas houve a remoção de todos os parâmetros analisados, como: pH, condutividade, turbidez, dureza total, alcalinidade total, cloretos, ferro e nitrito. Os valores estão dentro de padrões estabelecidos pela norma e a água pode ser utilizada principalmente para proporcionar o suprimento de água potável e reduzir os índices elevados de doenças de veiculação hídrica.

Brandão (2000, citado por Prosab, 2001) observou que para elevado grau de contaminação, a eliminação total de coliformes pode ser conseguida com um tempo de exposição de duas horas e temperatura da água a 50°C.

#### 4.3.3.2 – Teste no Nordeste do Brasil (Natal/RN)

##### ***Qualidade da água***

A Tabela 15 apresenta os valores médios dos parâmetros medidos durante o estudo utilizando como água bruta, a água salgada (mar), água salobra (salgada + poço) e água salobra contaminada (salobra + esgoto).

Tabela 15 - Características da água bruta e da água tratada.

Parâmetros de Controle	Água Salgada (Mar)		Água Salobra (Salgada + poço)		Água Salobra Contaminada (Salobra + Esgoto)		VMP (Portaria nº 518/2004)
	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Tratada
Cor Aparente (uH)	172	12	2	0	77	2	15
Cor Verdadeira (uH)	2	0	0	0	13	1	
Condutividade x 1000 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	36,80	0,02	11,47	0,51	12,62	0,12	
Coliformes Totais (NMP/100mL)	$> 2,4 \times 10^3$	0	$0,6 \times 10^3$	0	$> 2,4 \times 10^3$	$0,5 \times 10^3$	Ausência em 100 mL
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	$0,2 \times 10^3$	0	$0,5 \times 10^3$	0	$1,1 \times 10^3$	0	Ausência em 100 mL
pH	8,2	6,6	6,5	4,0	6,9	5,8	Entre 6,0 e 9,5
Odor	NO	NO	NO	FR	FE	FR	Não Objetável
Sabor	S	NO	LS	FR	NR	NR	Não Objetável
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	55320	305	7580	1580	70590	580	1000
Salinidade (‰)	31,4	0	6,3	0,3	6,4	0	
Turbidez (uT)	29,0	1,5	0,8	0,7	15,0	0,6	5

NO – Não Objetável, NR – Não realizado, FR – Fraco Resina, LS – Leve Salgado, FE – Fraco Esgoto S - Salgado

Com os dados da Tabela 15, construiu-se os gráficos para visualizar melhor os resultados obtidos neste estudo. As Figuras 47, 48 e 49 apresentam a variação dos parâmetros medidos e a sua remoção devido ao tratamento aplicado.

## Água Salgada - Mar

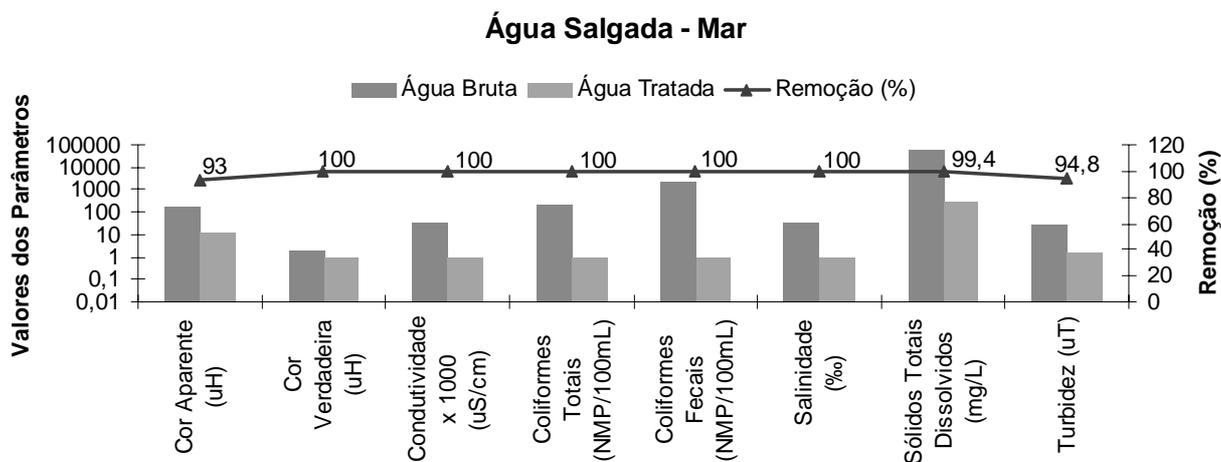


Figura 47 - Variação da qualidade da água salgada – mar antes e pós-tratamento

## Água Salobra – Mistura de água salgada + água de poço

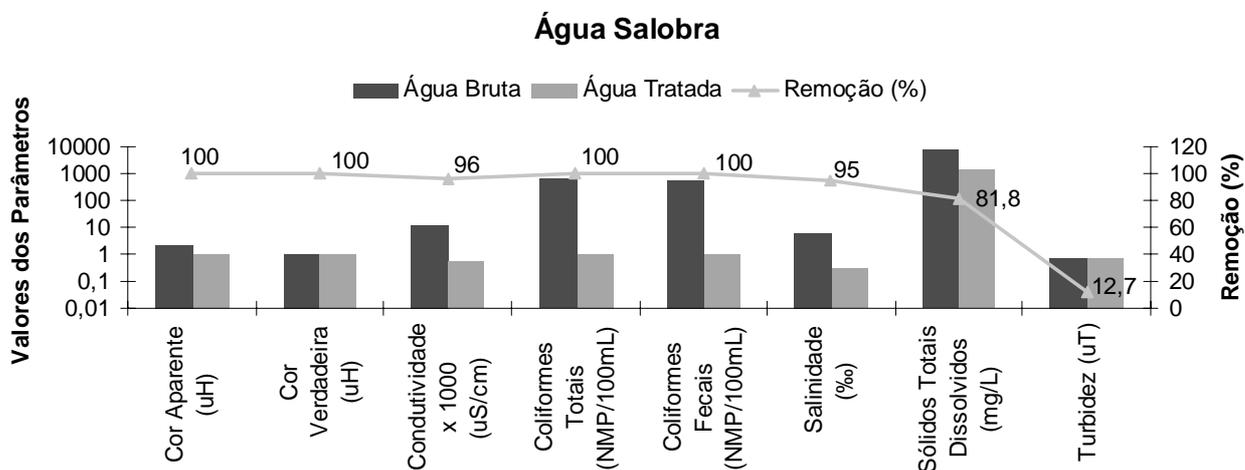


Figura 48 - Variação da qualidade da água salobra antes e pós-tratamento

## Água salobra Contaminada – Mistura de água salobra + esgoto

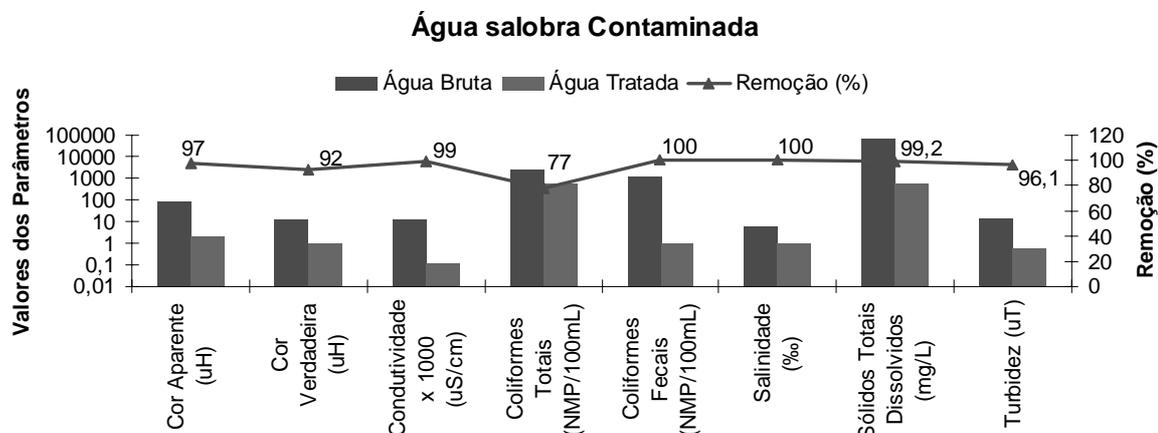


Figura 49 - Variação da qualidade da água salobra contaminada antes e pós-tratamento

Verifica-se na Figura 47, para a água salgada – mar, que para este tipo de água utilizada como bruta, houve remoção de 93%, 100% e 94,8% para os parâmetros cor aparente, cor verdadeira e turbidez, respectivamente. Para os parâmetros condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos, observa-se que houve uma remoção de praticamente 100% para condutividade e salinidade e de 99,4% para os sólidos totais dissolvidos, respectivamente.

Constata-se na Figura 48, para a água salobra – mistura feita em laboratório, que para este tipo de água utilizada como bruta, houve remoção de 100%, 100% e 19,7% para os parâmetros cor aparente, cor verdadeira e turbidez, respectivamente. Para os parâmetros condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos, observa-se que houve uma remoção de 96%, 95% e 81,8%, respectivamente.

Na Figura 49, para a água salobra contaminada – mistura feita em laboratório, que para este tipo de água utilizada como bruta, houve remoção de 97%, 92% e 96,1% para os parâmetros cor aparente, cor verdadeira e turbidez, respectivamente. Para os parâmetros condutividade, salinidade e sólidos totais dissolvidos, observa-se que houve uma remoção de 99%, 100% e 99,2%, respectivamente.

Os parâmetros bacteriológicos coliformes totais e fecais para a água salgada - mar e salobra apresentaram remoção de 100% na água tratada com destilação solar natural. Para água salobra contaminada, o parâmetro bacteriológico, coliformes fecais, apresentou remoção de 100% na água tratada e para os coliformes totais a remoção foi de 77% devido a uma suspeita contaminação com matéria orgânica no equipamento.

Para água salgada – mar, os parâmetros odor, sabor e pH estão dentro das normas de potabilidade. Já para as águas salobras, os parâmetros odor, sabor e pH, apresentaram alterações em suas características devido ao equipamento ser utilizado logo após a sua construção, ou seja, sem ter dado tempo de cura, uma vez que feito de resina e pelos seus componentes serem à base de polímero.

Pode-se observar que para a água salgada todos os parâmetros estão dentro dos padrões de potabilidade, pois as análises foram repetidas durante o mês de março do corrente ano, uma vez que em maio de 2003, os parâmetros odor, sabor e pH também apresentaram alterações.

Com base nos resultados obtidos para todos os tipos de água estudados em Florianópolis e em Natal/RN, observou-se que o tratamento utilizado através da destilação solar natural, ou seja, utilizando o sol como fonte de energia, a maioria dos parâmetros analisados ficou de acordo com os padrões de potabilidade segundo a Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde, exceto nos ensaios com água bruta muito contaminada (salobra contaminada – Natal/RN).

#### 4.3.4 - Teste com cistos de giárdia e ovos de helmintos

Através deste teste, onde a solução permaneceu no equipamento durante 24 horas, foi comprovada remoção de 100% para uma água contaminada com cistos de *Giárdia* e ovos de *Helmintos*. A Figura 50 apresenta a remoção dos cistos e ovos na água tratada.

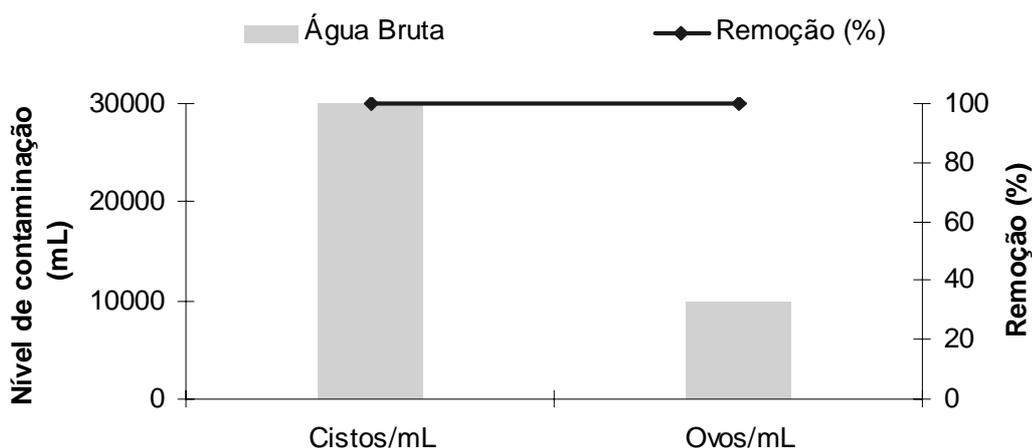


Figura 50 – Remoção de cistos de *Giárdia* e ovos de *Helmintos*

#### 4.3.5 – Produção de sal

Durante o mês de Novembro/2003 registrou-se a produção de sal (Figura 51) decorrente da evaporação da água salgada. Para produção de 2,1 Kg de sal, foram necessários 65 litros de água salgada.

Porém a observação de acúmulo de sal será vista sempre que se utilizar águas muitas salinas, e conseqüentemente, operações de limpeza serão mais frequentes. A limpeza foi feita retirando-se a pirâmide de vidro de cima da base e posteriormente retirou-se a película formada. Conforme Anexo 2, a limpeza do sal depositado na base é feita levantando-se, através da alça de metal, a cobertura de vidro do equipamento de tratamento de água.



Figura 51 – Produção de sal decorrente da evaporação da água salgada

#### 4.4 ESTUDO DA PRODUÇÃO NO EQUIPAMENTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO UMA PIRÂMIDE INVERTIDA

As Tabelas 16 e 17 apresentam os valores de produção de água, temperatura média do ar e condições climáticas durante os meses de Março e Abril de 2004.

Tabela 16 – Valores do mês de Março/2004

<b>Dia</b>	<b>Temp. Média Ambiente (°C)</b>	<b>Produção de Água (mL/dia)</b>	<b>Condições Climáticas</b>
16	23,7	230	sol, sem nuvens, vento moderado
17	23,4	220	sol, alta nebulosidade, vento moderado
18	23,0	225	sol, alta nebulosidade, vento moderado
19	21,8	210	sol, alta nebulosidade, vento moderado
25	21,9	198	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
26	22,9	205	sol, alta nebulosidade, sem vento
27	24,2	241	sol, baixa nebulosidade, sem vento
28	24,6	239	sol, baixa nebulosidade, sem vento
29	22,9	211	sol, baixa nebulosidade, sem vento
30	23,6	228	sol, sem nuvens, vento fraco
<b>Médias</b>	<b>23,2</b>	<b>220,7</b>	

Tabela 17 – Valores do mês de Abril/2004

<b>Dia</b>	<b>Temp. Média Ambiente (°C)</b>	<b>Produção de Água (mL/dia)</b>	<b>Condições Climáticas</b>
2	24,7	300	sol, sem nuvens, vento moderado
5	23,4	280	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
6	22,5	220	sol, baixa nebulosidade, vento moderado
7	21,8	190	sol, alta nebulosidade, vento moderado
10	24,9	330	sol, sem nuvens, vento moderado
11	23,9	260	sol, baixa nebulosidade, sem vento
12	24,2	310	sol, baixa nebulosidade, sem vento
<b>Médias</b>	<b>23,6</b>	<b>270</b>	

A produção de água de 220,7 mL corresponde a uma produção de aproximadamente de 1,4 L/m<sup>2</sup>.dia e 270 mL corresponde aproximadamente a 1,7 L/m<sup>2</sup>.dia.

Os estudos realizados não alcançaram os objetivos frente à produção, porém a princípio, o funcionamento está correto.

Além de apresentar perdas nas partes laterais do equipamento devido a reevaporação, foram observados também obstáculos relacionados ao escoamento da água evaporada até a calha de coleta, devido as imperfeições na vedação das faces da pirâmide de vidro.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo realizado colaborou para o processo da destilação quando utilizou o sol como fonte de energia, sendo adequado para resolver o problema de comunidades rurais ou isoladas, que residem em regiões áridas, onde a água possui uma alta concentração de sais, existe falta de energia elétrica e falta de água. A partir deste estudo concluiu-se que:

- Dentre das condições testadas, na maioria das vezes, a inclinação de  $25^\circ$  teve uma maior produção, sendo sugerida esta inclinação para obter uma boa captação de energia solar em qualquer parte do território nacional.
- Quanto menor a lâmina d'água bruta no interior da pirâmide, maior a produção de água. Sugere-se adotar a lâmina d'água de 1 cm tendo em vista as dificuldades de manter nivelado o equipamento de forma a manter toda sua base molhada.
- O material utilizado na construção da base do equipamento de tratamento de água, fibra de vidro, deverá ser o mesmo utilizado para caixas d'água, devido às suas propriedades, principalmente por ser um material inerte, não comprometendo a qualidade da água produzida.
- Para evitar a reevaporação, a água evaporada deverá ser conduzida o mais rápido possível para o reservatório de água produzida.

- Para Florianópolis, a maior produção de água foi registrada em apenas um dia do ano, num valor de  $6,2 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$  (março/2004) e a produção média foi entre 3,1 e  $3,7 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ , considerando dias chuvosos e ensolarados.
- Os estudos em Natal/RN foram realizados nas piores épocas do ano (considerado inverno), mesmo com condições climáticas favoráveis e obteve-se uma produção média de água entre 3,0 e  $3,7 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$  (Maio/2003 e Março/2004).
- Para o equipamento utilizando uma pirâmide invertida, os estudos realizados não alcançaram os objetivos frente a produção de água, porém o funcionamento está correto. A produção média foi aproximadamente entre  $1,4 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$  e  $1,7 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$  (Março e Abril/2004) para dias chuvosos e ensolarados.
- Para a produção de 8 Litros/dia, necessita-se de  $2 \text{ m}^2$  ( $1,42\text{m} \times 1,42\text{m}$ ), considerando-se uma produção média de aproximadamente  $4,0 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$  para dias de sol.
- A desinfecção do equipamento deverá ser feita periodicamente para que não ocorra nenhum tipo de contaminação, principalmente durante a remoção dos sólidos da base de água bruta.
- Nos ensaios em Florianópolis/SC e Natal/RN, todos os parâmetros de qualidade de água analisados estão de acordo com os padrões de potabilidade segundo a Portaria n. 518/2004 do Ministério da Saúde, exceto os ensaios com água bruta muito contaminada.

- Segundo os estudos, a “destilação solar natural” serve como um meio de tratamento de águas contaminadas por microorganismos, salobra e salgada, podendo fornecer água potável para comunidades carentes.

## **6 RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA NOVAS PESQUISAS**

Recomenda-se:

- Um estudo de destiladores solares utilizando-se outros materiais na cobertura do equipamento para aumentar o rendimento.
- Estudo de acompanhamento em campo em uma ou mais residências.
- Testar o equipamento de tratamento de água que se encontra em Florianópolis/SC (com reservatório de água produzida) em Natal/RN em épocas climáticas melhores (Dezembro, Janeiro e Fevereiro).
- Testar a inclinação para cobertura a partir dos dados de latitude da região a ser instalado o equipamento, acrescido de mais 10°.

## 7 BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA, WPCF. **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington, D. C., 1998.

AKASH, B.A.; MOHSEN, M.S.; OSTA, O. *et al.* Experimental evaluation of a single-basin solar still using different absorbing materials. **Renewable Energy**, v.14, n°1-4, p.307-310, Jodan, 1998.

AKASH, B.A.; MOHSEN, M.S.; NAYFEH, W. Experimental evaluation of the basin solar still under local climate conditions. **Energy Conversión & Management**, v.41, p.883-890, Jordan, 2000.

BEZERRA, A. **Energia Solar**. Aquecedores de Água. Livraria Itaipu Editora Ltda., Curitiba, PR.,1982.

BOUKAR, M.; HARMIM, A. Effect of climate conditions on the performance of a simple basin solar still: a comparative study. **Desalination**, v.137, p. 15-22, Adrar, Algérie, 2001.

BOUCHEKIMA, B. A solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria. **Desalination**, v. 153, p. 65-69, Ouargla, Algeria, 2002.

BLANCO, J. *et al.* Compound Parabolic Concentrator Technology Development to Commercial Solar Detoxification Applications. **Solar Energy**. v. 67, 1999.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária**. 3 ed. CETESB/ASCETESB, São Paulo, SP, 1986.

BRINKWORTH, B. J. **Energia Solar para el Hombre**. H. Blume Ediciones, Rosario, Madrid, 1981.

BUROS, O. K *et al.* **The USAID Desalination Manual**. Produced by CH2M HILL Intenacional for the U.S Agency Development, Washington, D.C, 1980.

BUROS, O. K. **The Desalting ABC's**. International Desalination Association, Topsfield, Massachusetts, U.S.A, 1990.

CAPPELLETTI, G.M. An experiment with a plastic solar still. **Desalination**, v.142, p.221-227, Foggia, Italy, 2002.

CERDA, E. R.; GÁNDARA, M. A. P.; ZAYAS, L. F. Thermal performance of the condensing covers in a triangular solar still. **Renewable Energy**, v. 27, p. 301-308, 2002.

CLARK, J. W; HAMMER, M. J.; VIESSMAN, W. **Water Supply and Pollution Control**. 4 ed. Harper e Rox Publishers, 1985.

COMETTA, E. **Energia Solar**. Editora Hemus, São Paulo, SP, 1977.

COUTINHO, R. **Noções de Fisiologia da Nutrição**. 2ed. Editora Metha, Rio de Janeiro, RJ, 1981.

CRAVO, J. G.; CARDOSO, H. E. **Projeto de Dessalinização de Solos e Água**. Nota Técnica nº1, SRH/MMA, Brasília, DF, 1996a.

CRAVO, J. G.; CARDOSO, H. E. **Dessalinização de Águas: Conceitos e Aplicações no Brasil**. A Água em Revista. Nº 11, p. 4-8, 1999.

CUSTÓDIO, E.; LPAMAS, M. R. **Hidrobiologia Subterrânea**. 2 ed. Ediciones Omega, Barcelona, 1983.

DANTAS, E. ABC's OF Desalting. Desalting in Florida. Journal of the American Water Works Association, vol. 75, 1975.

DELYANNIS, E.; BELESSIOTIS, V. Solar application in desalination: the Greek Islands experiment. **Desalination**, v.100, p. 27-34, 1996

DOW LATIN AMERICA. **A Tecnologia de Osmose Reversa** . Catálogo. São Paulo, SP, 1990.

DOW LATIN AMERICA. **FilmTec - Sistema de Desmineralização da Água por Osmose Reversa**. Catálogo. São Paulo, SP, 1993.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engeneering of Thermal Processes**. 2 ed., 1991.

DUNKLE R. V. **Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect**. International Heat Transfer Coefficient, p. 895-902, Colorado, 1961.

ELKADER, M. A. An Investigation of the parameters involved in simple solar still with inclined yute. **Renewable Energy**, v.14, nº1-4, p.333-338, Port Said, Egypt, 1998.

FARID, M.; HAMAD, F. Performance of a single-basin solar still, **Renewable Energy**, v. 3, p. 75-83, 1993.

FATH, H. E. S. Solar distillation: a promising alternative for water provision with free energy, simple technology and a clean environment. **Desalination**, v. 116, p. 45-56, Alexandria, Egypt, 1998.

FUNASA. **Manual de Saneamento**. 3 ed. ver., Brasília, 2004.

HAMED, O.A.; EISA, E.I; ABDALLA, W. E. Overview of solar desalination. **Desalination**, v. 93, p. 563-579, 1993.

GARCIAS, C.M. **Potabilização de Água Obtida por Destilação Solar da Água do Mar**.1985. Dissertação (Mestrado - Instituto de Pesquisas Hidráulicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GOMELLA, C. **La sed del mundo**. Nueva Colección Labor, Labor, Barcelona, 1973.

GOSLICH, R.; DILLERT, R.; BAHNEMANN, D. Solar Water Treatment: Principle Reactors. **Water Science Technology**, v. 35, n°. 4, p. 137-148, Hannover, Germany, 1997.

GOULART, E. G e LEITE, I. C. **Parasitologia e Micologia Humana**. 2 ed., Editora Cultura Média Ltda. Rio de Janeiro, RJ, 1978.

INPE. **Radiação Solar e Terrestre**. Disponível em: <http://www2.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pequisa/radsat/radiação.htm>. Acesso em: 20 agosto 2003.

KREITH, F., KREIDER, J. F. **Principles of Solar Engineering**. Series in Thermal and Fluids Engineering, Hemisphere Publishing Corporation, Estados Unidos da América, 1978.

METROSANTOS. <[www.metrosantos.com.br](http://www.metrosantos.com.br)> Acesso em: Dez. 2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria 518, de 25 de março de 2004.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. Classificação de Águas Doces, Salobras e Salinas no Território nacional, Resolução 20 do CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Brasília, Brasil, 1986.

MOTA, S.; ANDRADE, M. A. N. Uso da destilação solar no tratamento de águas contaminadas por microorganismos. Aplicações à pequenas comunidades. **Revista Tecnologia**, n°.7, p. 24-26, 1986.

NAIM, M. M.; KAWI, M. A. A. Non-convencional solar stills Part 1. Non-conventional solar stills with charcoal particles as absorber medium. **Desalination**, v. 153, p. 55-64, Alexandria, Egypt, 2002.

NEVES, D. P. **Parasitologia Humana**. 8 ed. Editora Atheneu, São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, 1995.

PELCZAR, M. J. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia Conceitos e Aplicações**. V. 2, 2 ed., Makron Books do Brasil Editora Ltda. São Paulo, SP, 1996.

PROSAB. **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável**. ABES, São Carlos, SP, 2001.

PUROSYSTEMS. **Água não tratada pode trazer graves consequências**. Disponível em: <http://www.purosystems.com.br/purificacao/purificacao.asp>. Acesso em: 25 jan. 2004.

RIBEIRO, J. W.; NUNES, R.J. **Destilador solar: produção de água potável a partir de água salobra**. Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial, Fortaleza, CE, 1983.

RIOS, J. **Dessalinização da Água**. Disponível em: <<http://www.profrios.hpg.ig.br>>. Acesso em 20 dez. 2003.

SECRETARIA DOS TRANSPORTES, ENERGIA E COMUNICAÇÕES. **Projeto Água Pura por Destilação Solar**. Coordenadoria de Energia. Pernambuco, 1984.

SEMEM, J. **Potabilização de Águas Salobras e Salgadas em Nível de Domicílios**. 2000. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,SC.

SOARES, C. **Tratamento de Água Doce Contaminada Através da Destilação Solar para Uso Domiciliar**. 2001. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,SC.

SOMMER, B.; MARINO, A.; SOLARTES, Y.; DIEROLF, C.; MORA, D.; RECHSTEINER, R.; SETTERS, P.; WIEOJANAGUDS, W.; AJARMEH, H.; AL-HASSAN, A. E WEGELIN, M. SODIS – an emerging water treatment process. **J. Water SRT – Aqua**, v. 46, p. 127-137, 1997.

SUNEJA, S.; TIWAR, G. N. Effect of water low on internal heat transfer solar distillation. **Energy Conversion & Management**, v. 40, p. 509-518, India, 1999.

TAY, Z. J. **Microbiología y Parasitología Médicas**. Méndez Editores, 1<sup>ra</sup> ed., México. 440 pp, 1995.

TIWARI, G. N. Feasibility study of solar distillation plants in south pacific countries. **Desalination**, v.82, p. 223-241, 1991.

TORRES, C. C. **Destilação Solar**, Informe Final, Contrato FINEP/UFPB, IF/727, Sub Programa II, 1984.

TLEIMAT, B. W. Destilação solar: La evolución de la técnica. **Tecnología para aprovechar la energía solar**. N. 5, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Nueva York, Estados Unidos da América, 1979.

UFGRS.< [www.ufgrs.br](http://www.ufgrs.br)>. Acesso em: Março de 2004.

UNIÁGUA. <[www.uniagua.org.br](http://www.uniagua.org.br)>. Acesso em: Dez. de 2003.

UNICAMP. [www.unicamp.Disponível:<http://unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/ju/outubro2002/unihoje\\_jul93pag02.html](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/outubro2002/unihoje_jul93pag02.html). Acesso: em 22 maio de 2002.

WIBULSWAS, P. Review of research & development on solar distillation in Thailand. **Renewable Energy Review Journal**, v. 6, p. 101-111, 1984.

YATES, R.; WOTO, T.; TLHAGE, J. T. Solar-powered Desalinators to Provide Drinking Water in Arid Áreas: a case study from Botswana. **Solar-Powered Desalination**. P. 1-18, 1990.

## **ANEXOS**

ANEXO 1 – Planta Baixa e Cortes do Equipamento de Tratamento de Água

ANEXO 2 – Esquema do Dispositivo de Abertura da Cobertura de Vidro do Equipamento de Tratamento de Água