



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

FELIPE ALVES ALBUQUERQUE ARAÚJO

**DESEMPENHO DE UMA TORRE MULTISTÁGIOS PARA UM
DESSALINIZADOR CONTROLADO A ENERGIA ELÉTRICA**

FORTALEZA

2016

FELIPE ALVES ALBUQUERQUE ARAÚJO

**DESEMPENHO DE UMA TORRE MULTISTÁGIOS PARA UM
DESSALINIZADOR CONTROLADO A ENERGIA ELÉTRICA**

**Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica, da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial de obtenção
do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica.**

**Área de Concentração: Processos,
Equipamentos e Sistemas para Energias
Renováveis.**

**Orientadora: Prof^ª. Maria Eugênia Vieira
da Silva. Ph.D.**

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

A689d

Araújo, Felipe Alves Albuquerque.

Desempenho de uma torre multiestágios para um dessalinizador controlado a energia elétrica /
Felipe Alves Albuquerque Araújo. – 2016.

117 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de
Engenharia Mecânica e de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,
Fortaleza, 2016.

Área de Concentração: Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis.

Orientação: Profa. Dra. Maria Eugênia Vieira da Silva.

Coorientação: Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha

1. Engenharia Mecânica. 2. Aquecimento – Equipamentos e acessórios. 3. Tratamento de água. I.
Título.

CDD 620.1

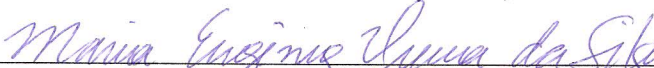
FELIPE ALVES ALBUQUERQUE ARAÚJO

DESEMPENHO DE UMA TORRE MULTISTÁGIOS PARA UM
DESSALINIZADOR CONTROLADO A ENERGIA ELÉTRICA

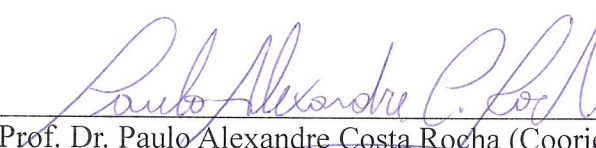
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de Concentração: Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis.

Aprovada em 16/02/2016

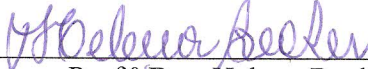
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dra. Maria Eugênia Vieira da Silva (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof.^a Dra. Helena Becker
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Marcelo e Aparecida, pela presença em minha vida e incentivo aos estudos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha vida e na de todos os meus familiares, iluminando nossos caminhos.

Aos meus pais, que investiram nos meus estudos e sempre acreditaram em mim, estando presentes nos momentos mais difíceis.

Ao companheiro de trabalho Valdi Matos, pela competência no atendimento aos mestrandos e pela humildade característica.

À Professora Maria Eugênia, por ter aceito ser minha orientadora e pelas contribuições à melhor qualidade deste trabalho.

Ao Professor Paulo Alexandre, pelos conselhos, orientação e por se fazer presente em todos os momentos em que foi preciso.

À professora Alexandra, por ter ajudado, com toda boa vontade, a conseguir os contatos para as análises físico-químicas.

Às professoras Helena Becker e Vânia Melo, pela boa vontade e disponibilidade em fazer testes físico-químicos e biológicos, respectivamente, para a análise das amostras de água em estudo.

“Quando inserimos a disciplina no nosso cotidiano, o tempo se apresenta como nosso servo, nos permitindo que as realizações de nossas vidas aconteçam naturalmente.”
(Alison Aparecido Ferreira)

“A disciplina não é uma prisão. Quem é disciplinado goza da maior liberdade possível, pois não é escravo de vícios.” (Helder Sena de Sousa)

RESUMO

Dessalinizadores solares são empregados para tratamento de água utilizando-se a radiação solar como fonte de energia, porém sua incidência varia, seja em função do horário, do clima, das estações do ano ou da presença de nuvens, o que dificulta o conhecimento da influência das variáveis de processo e dos parâmetros geométricos construtivos. Nesta dissertação, os resultados experimentais, obtidos através de operação com um dessalinizador térmico, com recuperação de calor, são apresentados. O processo ocorre por meio de aquecimento controlado, através de energia elétrica que passa por uma resistência presente na base da torre de dessalinização (tanque de armazenamento). Além do tanque, a torre também é composta por estágios, que consistem em perfis de poliuretano, para evitar a perda de calor com o meio externo, e bandejas de alumínio, em formato de W, por onde escoam a água gerada pela condensação do vapor proveniente do estágio imediatamente inferior. Nas laterais dos perfis de cada estágio, existem calhas de coleta do condensado, ligadas a mangueiras que conduzem o líquido produzido a vasilhas de coleta. Avaliou-se a produção de água dessalinizada com o uso de uma película hidrofóbica, na parte inferior das bandejas de alumínio, por onde o condensado escoava. Também foram realizados testes biológicos, físico-químicos, cromatográficos e espectrométricos, a fim de verificar a qualidade da água produzida. A melhor condição de operação do dessalinizador em estudo, com máxima Razão de Ganho de Saída (GOR) para o sistema, de 7,92, foi obtida com uma diferença de potencial de 120V, potência de 600W e cinco estágios na torre de dessalinização. A película não aumentou a produção de água, mas também não foi constatada contaminação das amostras de água pelo produto hidrofóbico.

Palavras-chave: dessalinizador térmico, aquecimento controlado, película hidrofóbica

ABSTRACT

Solar desalination plants are used for water treatment using solar radiation as an energy source, but its incidence varies, either in terms of time, the weather, the seasons or the presence of clouds. These factors complicate the understanding of the process variables influence and constructive geometric parameters. In this work, the experimental results, obtained by operation with a thermal desalination unit with heat recovery, are presented. The process occurs by controlled heating, by electricity flowing through a resistance present at the base of desalination tower (storage tank). In addition to the tank, the tower also comprises stages, consisting of polyurethane profiles, to prevent heat loss to the external environment, and aluminum trays in W format, through which flows the water generated by the steam condensation from the next lower stage. On the sides of each stage profiles, there are condensate collection gutters connected to hoses that lead the produced fluid to collection canisters. The production of desalinated water, with the use of a hydrophobic film on the bottom of the aluminum trays, where the condensate drains, was evaluated. Also biological, physical and chemical, chromatographic and spectrometric tests were conducted in order to verify the quality of the water produced. The best desalinator operating condition of the study, with the maximum output gain ratio (GOR) for the system of 7.92, was obtained with a potential difference of 120V, 600W power and five stages in the desalination tower. The film did not increase the water production, but it was also not observed contamination of water samples by the hydrophobic product.

Keywords: thermal desalination unit, controlled heating, hydrophobic film

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Distribuição de água no planeta	19
Figura 3.1 – Princípio de funcionamento da destilação de múltiplo efeito	30
Figura 3.2 – Princípio operacional da destilação por compressão de vapor	31
Figura 3.3 – Princípio operacional da destilação flash de múltiplo estágio	32
Figura 3.4 – Congelamento direto.....	33
Figura 3.5 –Congelamento indireto	34
Figura 3.6 – Dessalinizador solar tipo tanque	35
Figura 3.7 – Dessalinizador solar com recuperação de calor	35
Figura 3.8 – Processos de osmose, equilíbrio osmótico e osmose reversa	36
Figura 3.9 – Princípio operacional da eletrodialise	37
Figura 3.10 – Representação esquemática dos principais tipos de cromatografia	43
Figura 4.1 – Dessalinizador térmico com recuperação de calor	46
Figura 4.2 – Coletor solar de placa plana	47
Figura 5.1 – (a) Resistência circular; (b) Resistência em formato de “W”	49
Figura 5.2 – Tanque de armazenamento com resistência elétrica	50
Figura 5.3 – (a) Corte transversal dos perfis; (b) Bandeja de alumínio	51
Figura 5.4 – Estágio com mangueira de coleta	51
Figura 5.5 – Trocador de calor	52
Figura 5.6 – Dessalinizador elétrico	53
Figura 5.7 – Camadas inferior e superior da nanopelícula	54
Figura 6.1 – GOR para operação com um estágio, com e sem película hidrofóbica	64
Figura 6.2 – Gráfico para operação a 165 V, sem película e sem trocador de calor	65
Figura 6.3 – Gráfico para operação a 165 V, com película e sem trocador de calor	65
Figura 6.4 – Gráfico comparativo da primeira camada com a água do poço	67
Figura 6.5 – Gráfico comparativo: primeira camada e água dessalinizada sem película	68
Figura 6.6 – Gráfico comparativo: primeira camada e água dessalinizada com película	69
Figura 6.7 – Gráfico gerado pela espectrofotometria	70
Figura 6.8 – Gráfico da temperatura X tempo para dois estágios	72
Figura 6.9 – Gráfico da temperatura X tempo para três estágios	73
Figura 6.10 – Gráfico da temperatura X tempo para quatro estágios	75
Figura 6.11 – Gráfico da temperatura X tempo para cinco estágios	76

Figura 6.12 – COP e GOR para torre de 1 a 5 estágios 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classificação das águas de acordo com a salinidade	37
Tabela 3.2 – Classes e usos relativos à água doce	38
Tabela 3.3 – Parâmetros biológicos da água potável	40
Tabela 3.4 – Parâmetros físico-químicos da água potável	41
Tabela 6.1 – Energia fornecida ao dessalinizador	62
Tabela 6.2 – Produção de água sem o uso da película hidrofóbica	63
Tabela 6.3 – Produção de água com o uso da película hidrofóbica	63
Tabela 6.4 – Temperaturas, no regime permanente, para operação com 1 estágio	66
Tabela 6.5 – Produção para dois estágios na torre de dessalinização	71
Tabela 6.6 – Médias de temperaturas, no regime permanente, para dois estágios	72
Tabela 6.7 - Produção para três estágios na torre de dessalinização	73
Tabela 6.8 – Médias de temperaturas, no regime permanente, para três estágios	74
Tabela 6.9 - Produção para quatro estágios na torre de dessalinização	74
Tabela 6.10 – Médias de temperaturas, no regime permanente, para quatro estágios	75
Tabela 6.11 - Produção para cinco estágios na torre de dessalinização	76
Tabela 6.12 – Médias de temperaturas, no regime permanente, para cinco estágios	77
Tabela 6.13 – Coeficientes globais de transferência de calor para o regime permanente	78

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área [m ²]; Absorbância
Abs	Absorbância
A-PM	Método de Penman-Monteith Adaptado
C	Condutividade elétrica da água [μS/cm]
CAS	Serviço de resumos químicos
CCD	Cromatografia em camada delgada
CF	Coliformes fecais
CG	Cromatografia gasosa
CGAR	Cromatografia gasosa de alta resolução
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
CLC	Cromatografia líquida clássica
COP	Coefficiente de Desempenho
C _p	Calor específico [J/kg.K]
CP	Cromatografia em papel
CSC	Cromatografia supercrítica
CT	Coliformes totais
CWR	Requisitos de água para culturas [l/m ² /dia]
D	Diâmetro do tubo [m]
ddp	Diferença de potencial
e	Número de Euler [2,7183]
E	Energia [J]
EC	Comissão de enzimas
ED	Eletrodíálise
F	Método de Fernandes
F _R	Fluxo de radiação eletromagnética refletido
F _T	Fluxo de radiação eletromagnética incidente
fem	Força eletromotriz [V]
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
G	Vazão mássica [kg/s]
GOR	Razão de ganho de saída
Gr	Número de Grashof [adimensional]

h	Coeficiente de transferência de calor [W/m ² K]
h _{fg}	Calor latente de vaporização [J/kg]
I	Corrente [A]; Intensidade de luz transmitida
I ₀	Intensidade de luz incidente
K	Coeficiente de transferência de calor por condução [W/m ² K]; Coeficiente global de transferência de calor [W/m ² K]
m	Massa [kg]
ṁ	Vazão mássica [kg/s]
MD	Capacidade de produção de água [l/m ² /dia]
MED	Destilação de múltiplo efeito
MSF	Destilação flash de múltiplo estágio
P	Potência [W]
pH	Potencial hidrogeniônico
ppt	Partes por mil
PPS	Escala prática de salinidade
\dot{Q}	Taxa de transferência de calor [W]
R	Razão da condutividade elétrica; Resistência [Ω]; Refletância
R ²	Coeficiente de determinação [adimensional]
RO	Osmose reversa
S	Salinidade [ppt]
Sc	Número de Schmidt [adimensional]
Sh	Número de Sherwood [adimensional]
T	Temperatura [°C]
V	Tensão [V]
VC	Compressão a vapor
VMP	Valor máximo permitido

GREGOS

Δ	Diferença
Δπ	Pressão osmótica [Pa]
ε	Emissividade [adimensional]
μ	Viscosidade dinâmica [N.s/m ²]

ρ	Densidade [kg/m ³]
λ	Comprimento de onda [m]
σ	Constante de Stefan Boltzmann [5,67x10 ⁸ W/m ² K ⁴]

SUBSCRITOS

c	Condensação
cond	Condução
conv	Convecção
e	Entrada
E	Empuxo
E1	Estágio 1
evap	Evaporação
F	Fricção
m	Média
pa	Padrão
rad	Radiação
s	Saída
T	Total
u	Útil

ACRÔNIMOS

ANA	Agência Nacional das Águas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ISA	Instituto Socioambiental
LAQA	Laboratório de Química Ambiental
LESGN	Laboratório de Energia Solar e Gás Natural
LPOA	Laboratório de Processos Oxidativos Avançados
LQA	Laboratório de Química Ambiental
MS	Ministério da Saúde
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará

ONU	Organização das Nações Unidas
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNEP	Programa do Meio Ambiente das Nações Unidas
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	O sol como fonte de energia renovável	18
1.2	A escassez de água no contexto mundial	19
1.3	Recursos hídricos no Brasil e a dessalinização de água	20
1.4	Objetivos	21
1.4.1	Objetivos gerais	21
1.4.2	Objetivos específicos	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
3.1	Tecnologias de dessalinização	29
3.1.1	Destilação de múltiplo efeito (MED)	29
3.1.2	Destilação por compressão a vapor (VC)	30
3.1.3	Destilação flash de múltiplo estágio (MSF)	31
3.1.4	Congelamento (<i>freezing</i>)	32
3.1.5	Destilação solar	34
3.1.6	Osmose reversa	36
3.1.7	Eletrodialise (ED)	36
3.2	Caracterização da qualidade da água	37
3.2.1	Parâmetros físico-químicos e biológicos da água potável	39
3.2.2	Potabilidade da água para consumo humano	40
3.2.3	Cromatografia	41
3.2.4	Espectrofotometria	43
4	DESSALINIZADOR TÉRMICO COM RECUPERAÇÃO DE CALOR	45
4.1	Aquecimento solar e por resistência elétrica	46
4.2	Parâmetros de desempenho dos dessalinizadores	47
5	MATERIAIS E MÉTODOS	49
5.1	Componentes do dessalinizador elétrico	49
5.2	Nanopelícula	53
5.3	Procedimentos experimentais	56
5.3.1	Aplicação da nanopelícula	56
5.3.2	Verificação da produção de água dessalinizada com o uso da nanopelícula	56

5.3.3	Análise da atuação da película hidrofóbica como isolante térmico	58
5.3.4	Número de estágios na torre de dessalinização	58
5.3.5	Determinação da qualidade da água produzida	59
6	RESULTADOS	61
6.1	Influência da película hidrofóbica na produção de água	61
6.2	Verificação da condição de isolamento da película	64
6.3	Qualidade da água coletada	66
6.4	Operações multiestágios do dessalinizador	71
7	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	80
	ANEXO A – Método da condutividade elétrica para cálculo da salinidade da água ...	85
	ANEXO B – Conceitos de transferência de calor e de massa	87
	ANEXO C – Aquecimento elétrico	92
	ANEXO D – Vazão mássica em circuitos de termossifão	95
	ANEXO E – Aplicação da nanopelícula	97
	ANEXO F – FISPQ da nanopelícula	100
	ANEXO G – Parâmetros físico químicos e biológicos	111

1 INTRODUÇÃO

1.1 O Sol como fonte de energia renovável

O Sol é a grande fonte de energia renovável do planeta. Ele pode servir tanto como fonte de luz como fonte de calor, o que o torna uma das alternativas energéticas mais promissoras para se superar as dificuldades do novo milênio.

A energia solar é, por excelência, a mais ecologicamente correta. Ela é abundante, renovável e limpa. Trabalhando como um imenso reator à fusão, o Sol irradia, diariamente, um elevado potencial energético, incomparável a qualquer outro sistema de energia (RAMOS,2011).

Tendo em vista que a incidência solar sobre as massas continentais, em um ano, corresponde a $1,74 \times 10^{11}$ GWh, e que o consumo energético anual corresponde a $1,5 \times 10^8$ GWh, verifica-se que a energia solar disponível nas massas continentais representa mais de **1.000** vezes o consumo de energia da humanidade. Portanto, menos de **1%** da energia total incidente nas massas continentais supriria a demanda energética mundial. Se fosse levada em conta a área total da Terra, essa disponibilidade subiria para $1,02 \times 10^{13}$ GWh (LION, 2007).

Atualmente, o ser humano tem procurado fontes energéticas limpas, pois, com as mudanças das condições climáticas causadas pela poluição atmosférica, além do esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, há uma maior conscientização e preocupação da população em relação à utilização de energias renováveis.

O aproveitamento da radiação solar pode ser dividido, dependendo da aplicação, em quatro maneiras distintas: aplicações térmicas em geral, obtenção de força motriz diversa, obtenção de eletricidade e obtenção de energia química (QUEIROZ, 2005).

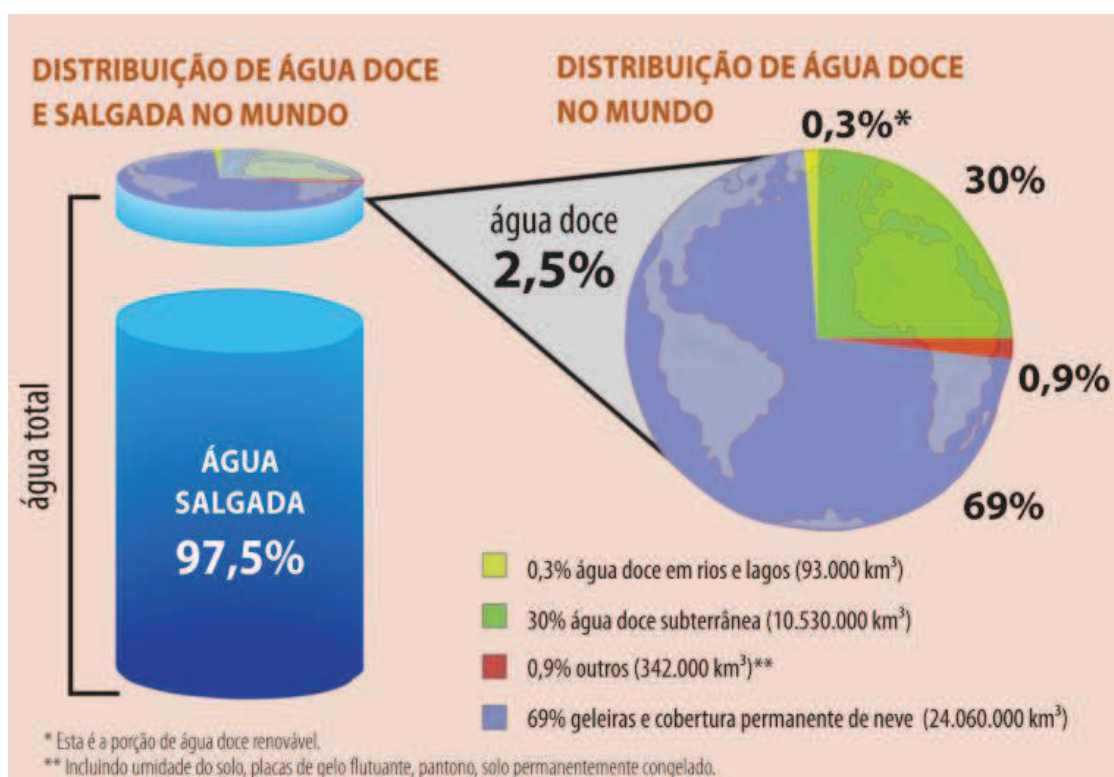
Um problema que assola o mundo, há algum tempo, é a escassez de água potável. A utilização de fontes alternativas de energia, tal como a energia solar, é viável para processos de dessalinização térmica. De modo geral, regiões interioranas tem dificuldade de acesso e distribuição de energia elétrica e, principalmente, de água potável, o que se torna pior à medida que vão se distanciando dos grandes centros comerciais.

O processo de dessalinização remota desde a época dos gregos e romanos, que já dispunham de técnicas primitivas de dessalinizar a água. Durante a Segunda Guerra Mundial, no final dos anos 1940 e início de 1950, a dessalinização desempenhou um papel de extrema importância no abastecimento de estabelecimentos militares (DELYANNIS, 2003).

1.2 A escassez de água no contexto mundial

A quantidade de água doce no mundo, em rios e lagos, em condições de consumo, é o bastante para suprir de seis a sete vezes o mínimo anual de que cada habitante do Planeta necessita. Embora pareça um recurso abundante, ela representa apenas 0,3% do total de água potável no Globo Terrestre. Os outros 2,5% de água doce está nos aquíferos e lençóis freáticos, geleiras, calotas polares e outros reservatórios, como, por exemplo, os pântanos. Na Figura 1.1 (ISA, 2008), um desenho esquemático dessa distribuição é mostrado.

Figura 1.1 – Distribuição de água no planeta.



Fonte: ISA (2008).

No decorrer da história da humanidade, as necessidades do uso de água foram-se tornando bastante diversificadas, exigindo-se maior quantidade e qualidade. Com o desenvolvimento de diversas culturas, as sociedades tornaram-se mais sofisticadas, o que passou a exigir, ao mesmo tempo, maior segurança no suprimento de água e aportes tecnológicos mais robustos que também demandavam maior quantidade de água (Heller; Pádua, 2010).

Aproximadamente 2,3 bilhões de pessoas obtiveram o acesso a fontes de água potável, de melhor qualidade, desde 1990. Atualmente, só existem três países – Moçambique,

Papua Nova Guiné e República Democrática do Congo - onde mais da metade da população não tem acesso a água própria para consumo. Todavia, apesar desses avanços, ainda persistem disparidades significativas. Das 748 milhões de pessoas, em todo o planeta, que ainda não tem acesso a água potável, 90% vivem em zonas rurais e estão sendo deixadas à margem dos progressos alcançados por suas nações (ONU, 2015).

Segundo Carvalho *et al.* (2004), a disponibilidade de água potável no planeta vem reduzindo, de forma a merecer atenção especial da comunidade científica e de entidades internacionais. De acordo com estudo publicado (UNESCO, 2004), até a metade deste século, a escassez de água atingirá de 2 a 7 bilhões de habitantes em mais de quarenta países.

1.3 Recursos hídricos no Brasil e a dessalinização de água

Embora tenha a maior disponibilidade hídrica do mundo, o Brasil possui a distribuição de água bastante heterogênea em todo seu território. Enquanto nas bacias junto ao Oceano Atlântico, onde se concentra 45,5% da população nacional, estão disponíveis apenas 2,7% dos recursos hídricos do país, na região Norte, onde vivem apenas 5% dos brasileiros, estes recursos são abundantes, com aproximadamente 81% (ANA, 2015).

A maior demanda por água, no Brasil, tal como ocorre em grande parte dos países, é a agricultura, sobretudo a irrigação, com aproximadamente 56% do total. O uso doméstico representa 27%, seguido pela indústria (12%) e, por fim, a pecuária (dessedentação animal), 5% (ISA, 2008).

Os baixos índices de precipitação, aliados ao contexto hidrogeológico da região Nordeste, contribuem para os baixos valores de disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro (ANA, 2015). Grande parte do Nordeste brasileiro apresenta um subsolo predominantemente rico em rochas cristalinas, que possuem baixa permeabilidade, e sal, inibindo, dessa forma, a formação de aquíferos. Nessa região, segundo relatos históricos, a seca aparece em intervalos próximos a dez anos, podendo-se prolongar por períodos de três, quatro e de, em certos casos, até cinco anos. A seca é conhecida no Brasil desde o século XVI (CAVALCANTI, 1988).

Nesse cenário, a dessalinização solar poder-se-ia tornar um meio promissor para suprir a carência, de água potável, de pequenas comunidades, sejam elas próximas à costa marítima ou que apresentem aquíferos subterrâneos com alto grau de salinidade. O elevado nível de radiação, em grande parte do território brasileiro, é um incentivo para que haja maior

investimento em pesquisas em dessalinização a partir do aproveitamento da energia solar térmica, tendo como objetivo a melhoria da qualidade de vida da população, principalmente daqueles com menos poder aquisitivo e que vivem na zona rural.

De acordo com Amorim *et al.* (2004), por iniciativa dos poderes públicos, vem sendo implantados, desde 1996, equipamentos de dessalinização em municípios do Nordeste brasileiro, inicialmente por doações da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, do projeto Água Boa e da Fundação Banco do Brasil. Todavia, dos cerca de 3.000 dessalinizadores implantados, muitos deles encontram-se parados em função da falta de operação e manutenção adequadas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos gerais

Restaurar o dessalinizador térmico, com recuperação de calor, de torre vertical, com bandejas metálicas sobrepostas, acionado por fonte de tensão controlável, que foi apresentado por Pinheiro (2013). Um novo parâmetro construtivo foi empregado, utilizando-se mais de um estágio de dessalinização, visando obter-se a maior eficiência possível de operação do equipamento.

1.4.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho visam à dessalinização de água salobra ou salgada, sendo eles:

- a) Encontrar a potência elétrica, para operação ideal, com um estágio, que propicie a máxima Razão de Ganho de Saída (GOR);
- b) Operar o dessalinizador com uma torre multiestágios, a fim de determinar o COP (Coeficiente de Desempenho) e o GOR (Razão de Ganho de Saída), parâmetros que caracterizam o desempenho da torre de dessalinização, e apresentar gráficos que ilustram a variação de temperatura durante a operação do equipamento;
- c) Verificar a produção de água dessalinizada utilizando-se uma película hidrofóbica (nanopelícula), disponível no mercado, e analisar se ela atua como

isolante térmico, o que seria inviável para o processo de dessalinização. Ela foi aplicada na região inferior de cada bandeja de alumínio, presente nos estágios da torre, onde ocorria o processo de condensação da água evaporada no estágio imediatamente inferior;

- d) Realizar testes de qualidade para a água tratada, verificando se houve redução de sais, eliminação de bactérias e se não houve contaminação causada pela aplicação da nanopelícula.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo, tem-se uma revisão bibliográfica, de 2000 até os dias de hoje, sobre dessalinização térmica com recuperação de calor. Sua leitura é importante para o entendimento dos resultados, do presente trabalho, e para comparação com o que está sendo feito por outros autores. Anos anteriores estão apresentados nos artigos de MATHIOULAKIS *et al.* (2007) e ZHAO E TIAN (2013), em que descrevem o estado da arte da dessalinização térmica e o desenvolvimento das tecnologias em aplicações solares, respectivamente.

LIMA (2000) apresentou a análise térmica e os resultados experimentais de um sistema de dessalinização solar térmico com recuperação de calor. O sistema era composto por dois coletores solares de placa plana, de área total de 4m², e uma torre de dessalinização com seis estágios. Cada um destes era composto por uma bandeja metálica, com área de 2,5m². Foram testados três tipos de água: do mar, da CAGECE e de um dos poços da UFC. Os resultados da análise mostraram que o processo de dessalinização reduziu dureza, alcalinidade, pH, cor, turbidez, teor de cloretos e condutividade elétrica, além de eliminar todas as bactérias do grupo Coliformes Totais e do grupo Coliformes de origem fecal, necessitando apenas da adição de sais para ser consumida. O dessalinizador apresentou bom desempenho térmico. A água, no primeiro estágio, alcançou valores próximos a 80°C, e a eficiência experimental, definida como a energia de evaporação de toda a água condensada dividida pela energia incidente nos coletores, foi de 25%.

SCHWARZER *et al.* (2001) mostraram as equações de balanço de energia e massa, os resultados de uma simulação numérica para a taxa de produção de água destilada e testes experimentais de um dessalinizador solar térmico com recuperação de calor. Os componentes do sistema eram um coletor solar e uma torre de dessalinização de seis estágios. Na simulação numérica, foram utilizados dados de radiação solar e temperatura ambiente. Concluiu-se que a taxa teórica de produção de água poderia chegar a 25L/m²/dia, o que representava uma produtividade cerca de cinco vezes maior do que a obtida com dessalinizadores solares térmicos de tanque.

COUTINHO (2003) fabricou e operou um protótipo experimental de um dessalinizador solar com recuperação de calor para a produção de água, apresentando resultados analíticos, numéricos e experimentais de seu uso. O sistema era composto por apenas um coletor solar de placa plana, com área de 2m², e uma torre de dessalinização com seis estágios, cada um deles compostos por uma bandeja metálica de 1,5m². Dois tipos de

água foram testados: poço e do mar. Tal como na análise feita por LIMA (2000), o processo de dessalinização reduziu a cor, o pH, a turbidez, a condutividade elétrica, a dureza total e o teor de cloreto, não sendo encontradas bactérias do grupo Coliformes Totais e do grupo Coliformes de origem Fecal. A temperatura da água, no primeiro estágio, alcançou valores próximos a 90°C, e a eficiência experimental global encontrada foi de 22%, menor que a calculada por LIMA (2000).

BADRAM (2007) desenvolveu um dessalinizador solar para operar em desertos áridos da Jordânia, fazendo estudos dos seus parâmetros operacionais. O dessalinizador possuía um tanque com 5 cm de altura, 1 m² de área e elevada absorção à radiação solar, inclinação de 32° com a horizontal e cobertura de vidro de 1,46 m² de área e 4 mm de espessura. Verificou-se a influência de diferentes variáveis na produtividade do dessalinizador: temperatura ambiente; isolamento térmico; velocidade do vento sobre a cobertura de vidro; altura da coluna d'água no tanque de armazenamento. Os resultados mostraram que o aumento da velocidade do vento, de 2,7 para 5 m/s, resultou em um acréscimo de 26% na produção de água, e também obteve-se um aumento na produção, de 53%, quando a temperatura ambiente variou de 28°C para 32°C. A redução da altura da coluna d'água, de 3,5 para 2 cm, aumentou em 26% a produtividade, e o revestimento de asfalto acresceu a produção de água em 29%.

ALVES (2009) apresentou os resultados experimentais de um sistema de dessalinização formado por dois coletores solares planos, cada um com 2,3m² de área, e uma torre de dessalinização com sete estágios. Foi realizada uma modificação, na distribuição de água quente, no tanque de armazenamento de calor da torre, utilizando-se um tubo de aço inoxidável com furos, espaçados de 10 cm, ao longo de todo seu comprimento. Segundo o autor do trabalho, o dessalinizador apresentou desempenho térmico satisfatório. A temperatura no tanque de armazenamento alcançou valores próximos a 85°C, e as temperaturas da água, na saída dos coletores, ficaram próximas a 100°C. A produção diária foi de 31 litros, e o valor do GOR foi de 1,54.

RODRIGUES (2010) estudou o desempenho de uma torre de recuperação de calor de cinco estágios, cada um deles compostos por bandejas de aço inoxidável AISI 304, em formato de W, para a condensação da água evaporada no estágio inferior. Para isso, foram calculados os valores do COP e do GOR, e foi medido o volume de água produzido. A fim de que o desempenho do dessalinizador solar térmico, em campo, pudesse ser comparado com um desempenho máximo experimental, foi construído um dessalinizador de um único estágio,

com temperaturas de evaporação e condensação controladas. O objetivo foi o desenvolvimento de uma correlação para o número de Sherwood, Sh , em função dos números de Grashof, Gr , e Schmidt, Sc . Os parâmetros de desempenho foram calculados, encontrando-se 1,26 para o GOR e 4,78 para o COP. Na correlação desenvolvida para o número de Sherwood, aproximadamente 83% dos pontos utilizados apresentaram erro abaixo de 15%, e 97% dos pontos obtiveram erro abaixo de 50%.

FORMOSO (2010) procurou apontar uma alternativa de produção de água com operação e manutenção simples, particularmente sem o uso de elementos filtrantes, visando encontrar uma alternativa para os dessalinizadores que operam via osmose reversa. Foram feitas considerações sobre a seleção do processo tecnológico, seleção de materiais, configuração do sistema e análise térmica do processo. O sistema proposto, visando o abastecimento em escala familiar, consistia, basicamente, de um concentrador da radiação solar, em calha parabólica, e um condensador. Através de uma avaliação econômica preliminar, chegou-se a um custo da água de R\$ 30,00/m³.

RODRIGUES (2011) fez um estudo experimental de um protótipo dessalinizador térmico, com recuperação de calor e fonte de energia controlada, projetado para operar nos regimes transiente e permanente. O dessalinizador estudado era composto por um queimador, um tanque de armazenamento e uma torre de dessalinização com seis estágios. O objetivo era verificar os parâmetros operacionais que influenciavam na produção de água: altura da coluna d'água no tanque de armazenamento, o tipo de queimador, a vazão de gás natural, o número de estágios e o uso de uma nanopelícula sob a superfície de condensação. Os resultados mostraram que o uso do queimador linear, além da quantidade de 6 litros de água no tanque de armazenamento, apresentou a melhor produção da torre. Foi mostrado também que a vazão de 0,533 g/min, para o gás natural, e o uso de 6 a 7 estágios de dessalinização eram mais adequados para o sistema. Os valores do COP e do GOR foram 4,09 e 5,91, respectivamente. Um aumento de 65,59%, na produção de água dessalinizada, foi observado com o uso da nanopelícula *Nano Chrom & Edelstahl-Versiegelung*, de fabricação alemã, embora não tenham sido realizados testes químicos.

MARINHO *et al.* (2012) estudaram a viabilidade técnica de um destilador solar, constituído de um coletor solar, para aquecimento direto de água salina. O destilador solar consistia em uma caixa de PVC, de 0,5 m³, pintada em preto fosco, e era ligado ao coletor solar, formado por uma tubulação de 20 canos de polietileno, revestida com garrafas PET e caixas *Tetra Pak*. O coletor solar era interligado a um evaporador/condensador, que consistia

em uma caixa construída em alvenaria, cuja parte superior era revestida por uma cobertura transparente, por onde a luz solar passava e a água evaporada condensava. Foram avaliados dois métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação. No Método 1 (M1), o fluxo de água foi constante (1L/h), mantendo-se uma lâmina de 10 mm no interior da caixa de alvenaria. No Método 2 (M2), o fluxo de água ocorria apenas às 15 horas, quando o destilador era abastecido com água quente advinda do coletor solar, e, após o abastecimento, o fluxo de água era interrompido. Em termos médios, a produção de água destilada, pelo Método 2, foi 46,87% maior que no Método 1.

PINHEIRO (2013) desenvolveu um protótipo de dessalinizador térmico, com parâmetros operacionais controláveis, para funcionamento em regimes transiente e permanente. O aquecimento da água a ser dessalinizada era feito por resistência elétrica, com fonte de tensão ajustável, permitindo a variação da potência de aquecimento. O principal objetivo do trabalho era utilizar materiais diferentes para as bandejas, onde a água condensava-se, e determinar qual deles fornecia melhores resultados. Testaram-se o alumínio, o aço polido, o aço inoxidável e o aço cromado. Foram instalados sensores do tipo PT-100, em diferentes posições no tanque, para medições de temperatura da água. A massa de água produzida era medida por balança de precisão. A bandeja de alumínio apresentou a maior produção de água dessalinizada, em função de um melhor escoamento do condensado produzido em sua superfície.

COSTA (2013) apresentou dois novos protótipos de dessalinizador circular para operação em um fogão solar de aquecimento indireto. O primeiro protótipo (Tipo A) produzia água dessalinizada a partir da água salobra depositada na panela do fogão solar. No segundo protótipo (Tipo B), a água salobra da panela foi usada apenas como meio de transferência de calor para a primeira bandeja da torre de dessalinização. Os experimentos foram realizados entre 7h e 17h, e o número máximo de estágios utilizado foi três. Os resultados experimentais mostraram que a máxima produção diária foi, para o Tipo A, de 4,72 L, com três estágios, enquanto que, para o Tipo B, foi de 3,50 L, também com três estágios. Verificou-se que a eficiência do dessalinizador Tipo A era superior ao do Tipo B, já que o Tipo B possuía uma resistência à transferência de calor a mais. Por outro lado, o protótipo Tipo B permitia uma operação continuada da torre de dessalinização, não sendo necessário a sua desmontagem após cada esvaziamento da água da panela.

PINHEIRO (2014) analisou o desempenho de um dessalinizador solar composto por uma torre de dessalinização e por três coletores solares, comparando o acionamento por

termossifão a água, a óleo, e por acionamento por bomba a óleo. Também foi estudado o ganho na produção de água a partir do uso de refletores. O óleo térmico utilizado foi o Lubrax Utile OT-100. Os resultados mostraram que o uso da bomba melhorou bastante a produção de água do dessalinizador, passando de uma produção de 3,17 L de água para uma de 36,2 L, ambas com o uso de refletores planos. O comparativo entre os dois sistemas (óleo e água) mostrou que as temperaturas atingidas pelos dois sistemas foram equivalentes, ainda que a produção do dessalinizador acionado por água tenha sido superior. O melhor resultado, utilizando-se o óleo, foi obtido quando o sistema de bombeamento foi combinado com o uso do refletor solar plano, obtendo-se o valor do GOR de 2,85.

LIU *et al.* (2014) projetaram e testaram um novo sistema de dessalinização solar com multiestágios de evaporação e recuperação de calor. O sistema consistia em quatro unidades de coleta interconectadas. Em cada uma delas, ocorria um processo de dessalinização independente, incluindo coleta da energia solar, recuperação de calor e evaporação da água do mar. Uma série de experimentos foi conduzida sob diferentes condições de operação, a fim de se investigar o efeito de vários parâmetros, entre eles: métodos para ajuste de pressão de operação; condições climáticas; temperatura de coleta da água. Como resultados, a produção diária de água dessalinizada chegou a até 8,24 kg/m², e a máxima produção instantânea, durante o verão, foi de 2,138 kg/(h.m²). O GOR máximo obtido foi de 2,5, e a eficiência térmica do sistema foi de 0,4. A produção de água variou de acordo com a radiação solar. Para intensidades similares de radiação solar, a produção de água para o método de ajuste estável da pressão foi um pouco superior ao método de ajuste livre de pressão, e também houve acréscimo na produção devido ao aumento da temperatura da água coletada, devido à melhora da eficiência do processo de recuperação de calor.

MARINHO *et al.* (2015) aprimoraram um modelo de dessalinizador solar, com o objetivo de melhorar as condições de segurança hídrica de camponeses da região semiárida brasileira. Foram feitas adaptações técnicas para redução dos custos de construção, maior durabilidade dos equipamentos e aproveitamento do sistema de coleta de água das chuvas. No intuito de reduzir custos, o sistema de dessalinização solar, associado ao coletor de águas pluviais, com 36 m² de área, foi construído em alvenaria. Foram monitorados os índices de precipitação, os volumes de água dessalinizada produzida, os volumes captados de água de chuva, a temperatura da água no interior do dessalinizador e o número de coliformes fecais e totais encontrados na água produzida. O modelo produziu cerca de 150 l/dia de água doce para os agricultores, com índices de coliformes sendo reduzidos a quase zero. Chegou-se a um

baixo custo de implantação e manutenção, sendo necessária uma limpeza do tanque com frequência, retirando-se os sais acumulados, a fim de manter a qualidade da água produzida.

MASHALY *et al.* (2015) estudaram meios alternativos para produzir água potável a partir de fontes hídricas de baixa qualidade, a fim de alcançar os requisitos da água para culturas (CWR) em estufas. Um dessalinizador solar foi empregado para tratar três tipos de água: do mar, do solo e de drenagem na agricultura. Três modelos de regressão linear foram desenvolvidos, com coeficiente médio de determinação (R^2) de 0,90, para prever a capacidade de produção de água (MD). Dois métodos foram usados para prever os CWR nas estufas: o Método de Penman-Monteith Adaptado (A-PM) e o Método de Fernandes (F). O coeficiente de determinação, adotado para esses dois métodos, foi de 0,95. As três medições de produção de água foram comparadas com as necessidades de utilização em estufas para se determinar a área do sistema de dessalinização solar. Os resultados indicaram que o Método A-PM pode ser empregado para estimar os CWR de culturas em estufas. O MD médio para os três tipos de água utilizados foi de 4,79 l/m²/dia. Os valores médios dos CWR, obtidos com os Métodos A-PM e F, foram idênticos (1,88 l/m²/dia). A água produzida por 1 m² de dessalinizador solar é suficiente para suprir 2 m² de estufa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Tecnologias de dessalinização

A dessalinização compreende vários campos de estudo, possibilitando a proposição de diferentes tipos de sistemas. Mesmo para métodos de dessalinização bastante específicos, é possível haver várias opções disponíveis em termos de configuração do sistema. Todavia, a consideração primordial, no desenvolvimento de um sistema de dessalinização de água, deve-se pautar na escolha do método mais conveniente para cada situação, de acordo com os objetivos pretendidos, para se atingir um especificado nível de produção e qualidade da água a um mínimo investimento e custo operacional.

Atualmente, os principais processos de dessalinização são:

a) Processos Térmicos

- Destilação de múltiplo efeito (*multi-effect distillation* - MED);
- Destilação por compressão a vapor (*vapor compression* - VC);
- Destilação flash de múltiplo estágio (*multi-stage flash* - MSF);
- Congelamento (*freezing*);
- Destilação solar.

b) Processos Através de Membranas

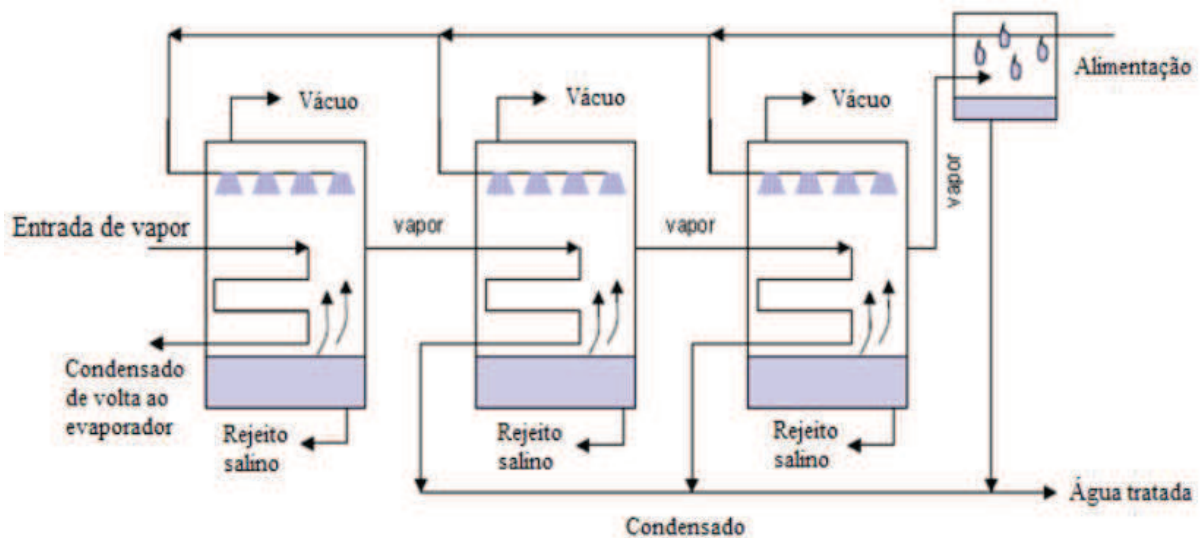
- Osmose reversa (*reverse osmosis* - RO);
- Eletrodialise (*electrodialysis* - ED).

3.1.1 Destilação de múltiplo efeito (MED)

O processo de destilação mais antigo é a MDE (SEMIAT, 2000), bastante eficiente do ponto de vista termodinâmico (OPHIR e LOKIEE, 2005). As primeiras plantas foram instaladas nos anos 50 (MILLER, 2003). A destilação de múltiplo efeito consiste na evaporação da água, salina ou salobra, pela transferência de calor produzido na condensação do vapor, tal como ilustrado na Figura 3.1. O vapor produzido é utilizado em um passo (ou “efeito”) subsequente, que opera a uma pressão e a uma temperatura ligeiramente menores, de tal forma que a energia do vapor condensado é usada para evaporação adicional de água no efeito posterior (KALOGIROU, 1997).

Esse processo ocorre em uma série de recipientes e utiliza o princípio de redução de pressão interna nos vários estágios. Isso permite à água submeter-se à ebulição múltipla, com ausência de suprimento de calor adicional após o primeiro efeito. Somente no primeiro efeito um vapor primário, gerado independentemente do processo de destilação, é utilizado, podendo ser obtido, por exemplo, com a utilização de coletores planos ou parabólicos. (SOUZA, 2006).

Figura 3.1 – Princípio de funcionamento da destilação de múltiplo efeito



Fonte: MILLER (2003)

3.1.2 Destilação por compressão a vapor (VC)

A destilação por compressão de vapor é, normalmente, utilizada em unidades de dessalinização de pequena e média escala, para produção de água de até, aproximadamente, 3000 m³/dia (MILLER, 2003). O processo baseia-se na redução da pressão como força motriz para a evaporação.

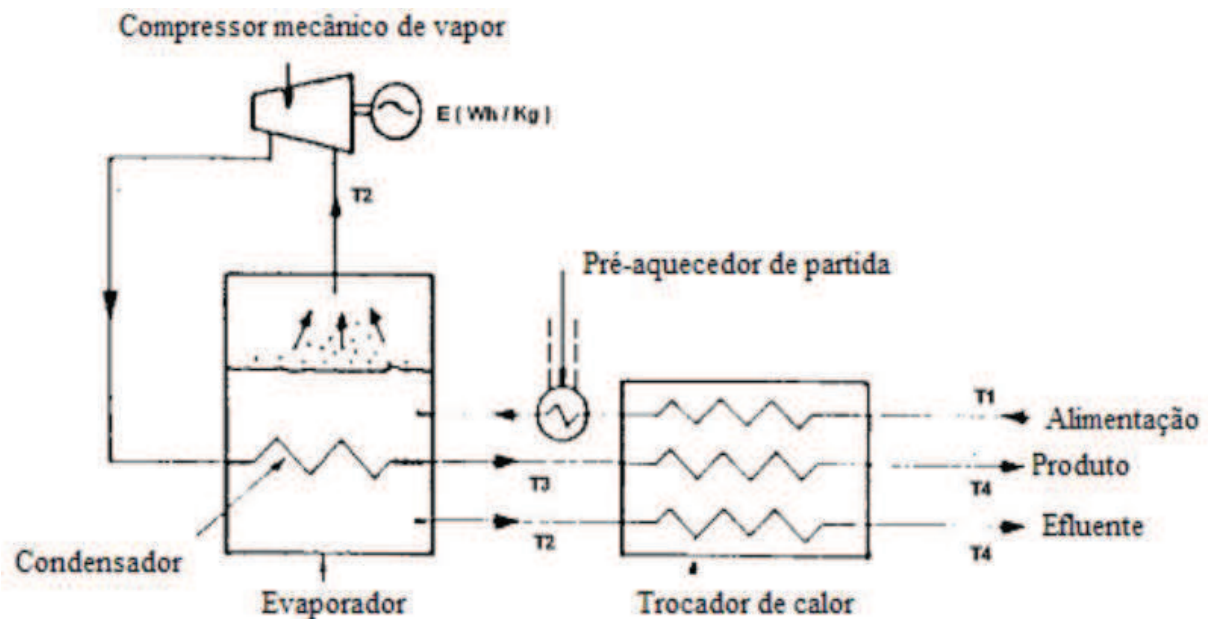
Esse tipo de destilação é uma variação da destilação de múltiplo efeito, ocorrendo a compressão do vapor gerado pela água evaporada, ao invés da condensação, de modo que o calor latente do vapor possa ser reutilizado no processo de evaporação. Tecnicamente, é um processo mais complexo (BRUGGEN, 2003).

Dois métodos são utilizados tanto para condensar vapor quanto para produzir calor para evaporar a água, salina ou salobra, que chega ao evaporador (SOUZA, 2006):

mecanicamente (através de um compressor mecânico) ou por termo compressão (por meio de um jato de vapor).

As unidades com compressor mecânico produzem água em uma faixa de até 3.000 m³/dia, enquanto aquelas com termo compressores podem chegar a uma produção de até 20.000 m³/dia (MANDANI *et al*, 2000). O compressor mecânico é, na maioria das vezes, operado eletricamente. Na unidade de compressão, através de jato de vapor, um orifício propulsiona a criação de vapor de água no recipiente principal, gerando uma pressão ambiente mais baixa neste. O jato de vapor comprime o vapor de água que é extraído através do orifício. Essa mistura é condensada nas paredes do tubo, fornecendo energia para evaporar a água salina presente no recipiente. O destilado e o efluente são descarregados por meio de um trocador de calor (SOUZA, 2006). A Figura 3.2 ilustra um esquema do processo.

Figura 3.2 – Princípio operacional da destilação por compressão de vapor



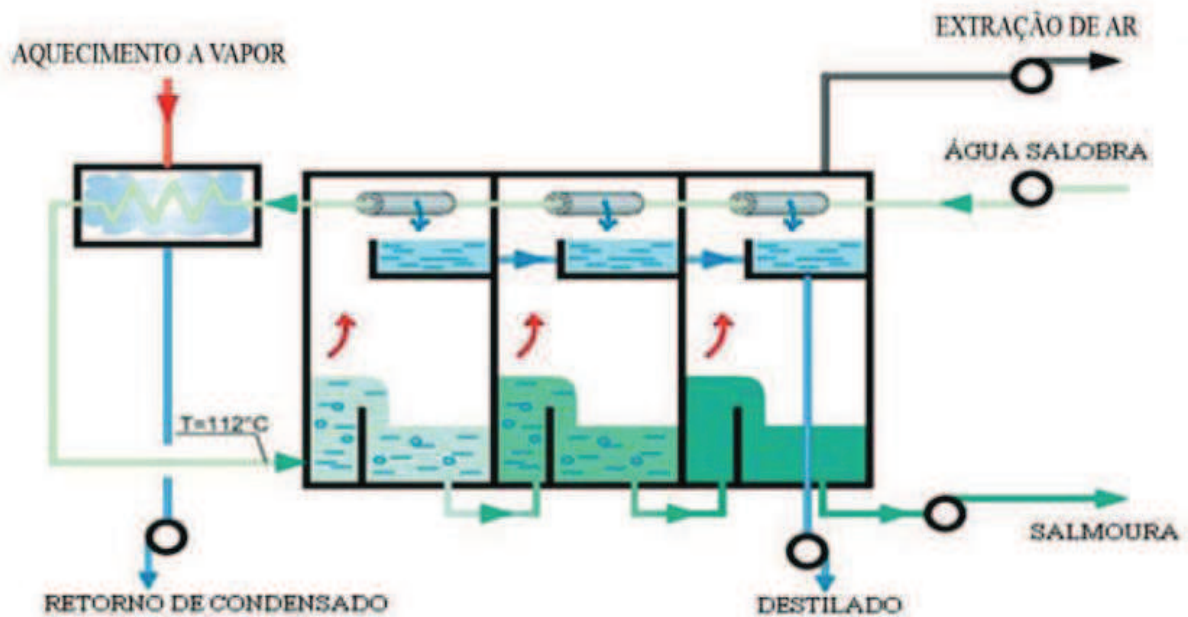
Fonte: SOUZA (2006)

3.1.3 Destilação flash de múltiplo estágio (MSF)

O processo de MSF, como mostra a Figura 3.3, consiste na geração de vapor a partir da água, salobra ou salgada, que entra em uma câmara evacuada cuja pressão é diminuída abruptamente. Esse fenômeno se repete sucessivamente, com seguidas quedas de pressão em cada estágio. A água a ser tratada é aquecida, em uma tubulação, à medida que flui pelos estágios de dessalinização. Um aquecedor superaquece a água, sob baixa pressão.

Quando escoar para uma câmara, de pressão mais baixa, a água salgada muda, instantaneamente, da fase líquida para a de vapor, condensando em tubos de calor que correm através da parte superior da câmara. O estágio seguinte tem pressão menor que o anterior, fazendo com que a água restante entre, novamente, em ebulição, continuando o processo até o último estágio. Toda a água potável produzida entra pelos coletores presentes em cada coluna.

Figura 3.3 – Princípio operacional da destilação flash de múltiplo estágio



Fonte: adaptada de SIDEM (2015)

Atualmente, as unidades de destilação flash de múltiplo estágio são largamente utilizadas no Oriente Médio, correspondendo a mais de 40% da capacidade de dessalinização mundial (MILLER, 2003). A planta “*Saline Water Corporation’s Al-Jubail*”, na Arábia Saudita, é a maior do mundo, com capacidade de produção de água de 815.120 m³/dia (KHAWAJIA *et al*, 2008).

3.1.4 Congelamento (*freezing*)

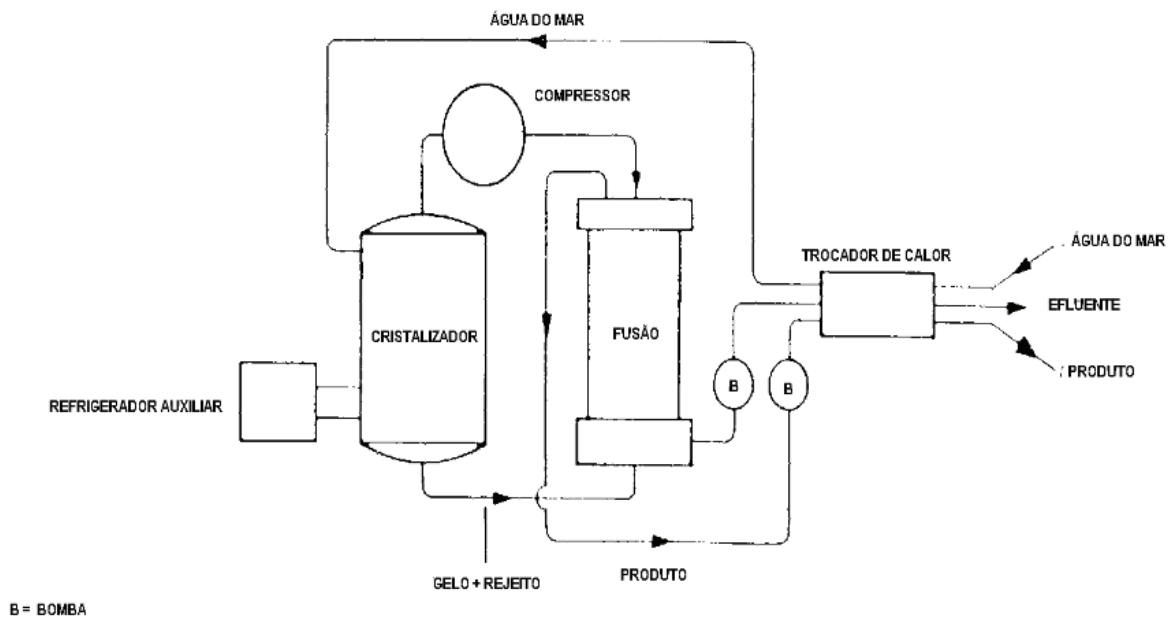
No processo de congelamento, os sais dissolvidos são removidos naturalmente durante a formação dos cristais de gelo, em condições controladas. Antes de toda a massa de água, salobra ou salina, ter sido congelada, a mistura é, normalmente, lavada e enxaguada

para remoção dos sais remanescentes ou aderidos aos cristais de gelo. Em seguida, o gelo é finalmente derretido para produzir água doce (SOUZA, 2002).

A dessalinização por congelamento é baseada nos princípios e equipamentos da tecnologia de refrigeração, podendo ser classificada como direta ou indireta.

No congelamento direto, como é mostrado na Figura 3.4, a água a ser tratada é pré-resfriada por troca de calor em uma torre de congelamento (cristalizador), formando-se cristais de gelo. Estes, por sua vez, são lavados para se remover o resíduo salino concentrado. Depois, o gelo é fundido para a produção da água dessalinizada, que passa, mais uma vez, pelo trocador de calor, a fim de resfriar a água de alimentação que entra no processo, antes de ser coletada.

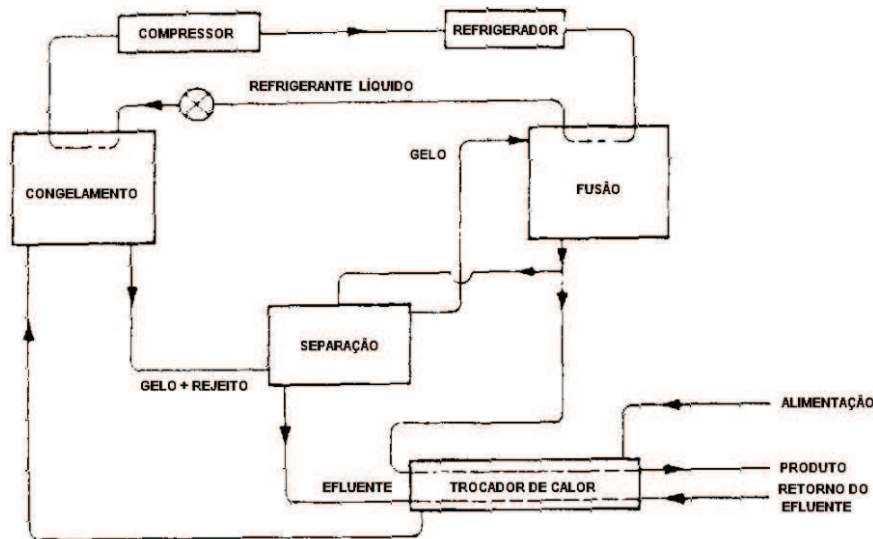
Figura 3.4 – Congelamento direto



Fonte: SPLIEGER (1965)

No congelamento indireto, ilustrado na Figura 3.5, o n-butano, em sua fase líquida e atuando como refrigerante, é misturado com a água salina pré-resfriada, ocorrendo congelamento da água e aquecimento do hidrocarboneto. Devido à baixa pressão, o n-butano evapora. Em seguida, o gelo é lavado e derretido para produção de água, tal como no final do processo direto.

Figura 3.5 – Congelamento indireto



Fonte: SPLIEGER; LAIRD (1980)

As grandes vantagens desse processo são a baixa quantidade de energia utilizada para a formação de grande quantidade de gelo, potencial mínimo para corrosão e pouca incrustação. A desvantagem consiste no manuseio mecanicamente complexo da mistura de água e gelo, tanto no transporte quanto no processamento (SOUZA, 2002).

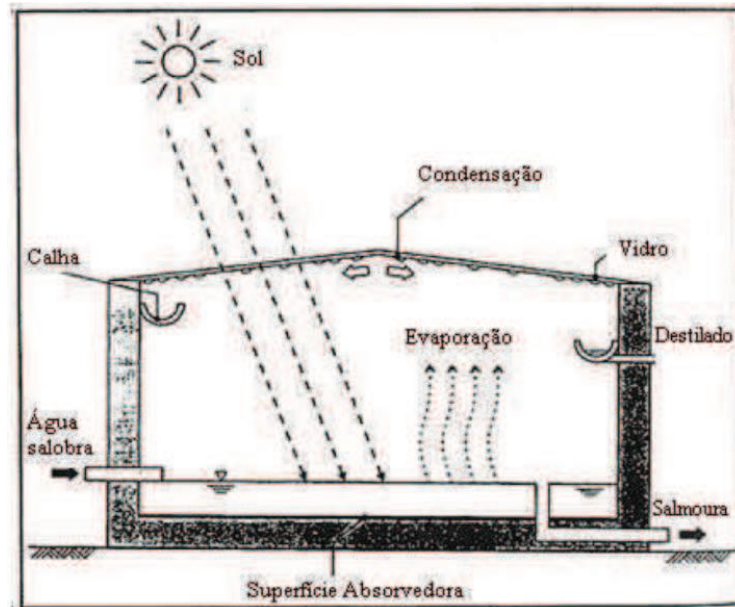
3.1.5 Destilação solar

Sabendo-se que a maior parcela do custo operacional de uma planta de dessalinização é o da energia (KHAWAJIA *et al*, 2008), o uso eficiente de fontes de energia renováveis pode permitir que países, em desenvolvimento, tenham acesso à quantidade suficiente de água tratada.

Os destiladores solares se assemelham ao ciclo hidrológico natural, em uma escala bem reduzida. Nesse processo, a água a ser tratada é aquecida pela radiação solar, transformando-se em vapor, que, em função do campo gravitacional, se separa da fase líquida e condensa em alguma superfície fria. Dessa forma, o condensado pode ser coletado.

Os destiladores solares podem ter acionamento direto ou indireto. Naquele, a radiação solar é usada diretamente para aquecer a água salobra ou salgada. O dessalinizador tipo tanque, ilustrado na Figura 3.6, é um exemplo. Geralmente, uma cobertura de vidro ou de plástico cobre o reservatório feito de alvenaria (PINHEIRO, 2013). O vapor de água produzido condensa na cobertura e escoar em direção às calhas, onde é coletada.

Figura 3.6 – Dessalinizador solar tipo tanque



Fonte: UNEP (2009)

Nos dessalinizadores com aquecimento indireto, que normalmente são compostos por um coletor solar e uma unidade de dessalinização. Nesse caso, o fluido que circula pelos coletores, através de termossifão ou bomba, é que fornece calor para a água presente no dessalinizador. Um exemplo típico são os dessalinizadores solares térmicos com recuperação de calor, Figura 3.7, que se encontram, em desenvolvimento, no LESGN - UFC.

Figura 3.7 – Dessalinizador solar com recuperação de calor



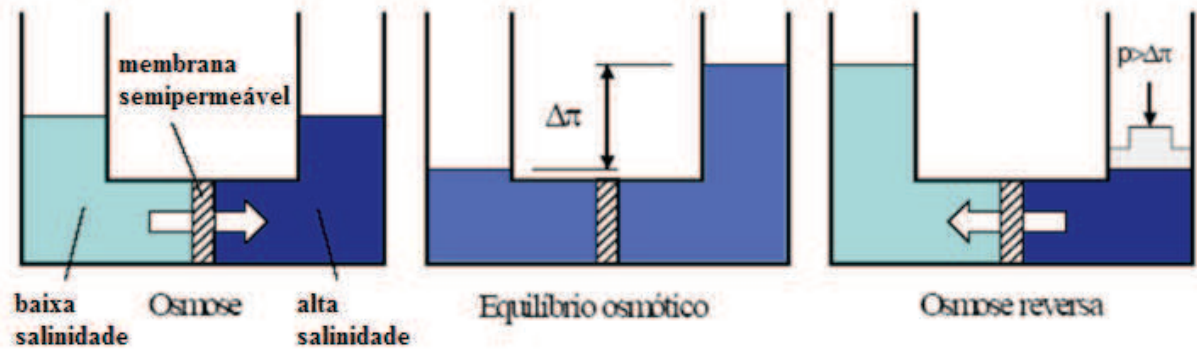
Fonte: PINHEIRO (2014)

3.1.6 Osmose reversa (RO)

Quando se dá por meio natural, a osmose consiste no fluxo espontâneo de água, através de uma membrana semipermeável, de uma região de baixa salinidade para outra de maior concentração de sais. Quando a pressão osmótica ($\Delta\pi$) é atingida, o sistema alcança o equilíbrio.

A osmose reversa ocorre quando se aplica uma pressão no compartimento com solução concentrada de sais, maior que a pressão osmótica, forçando a água a fluir no sentido oposto. Esse processo, assim como o da osmose natural, é mostrado na Figura 3.8.

Figura 3.8 – Processos de osmose, equilíbrio osmótico e osmose reversa



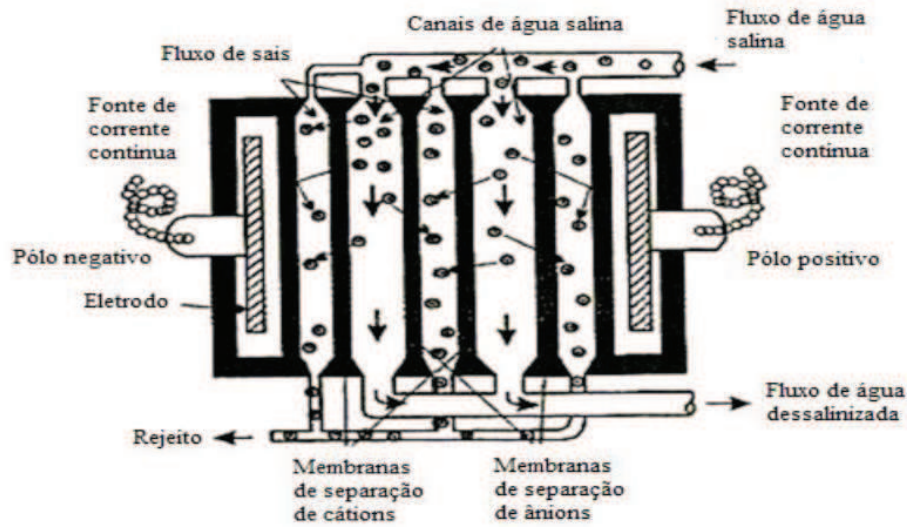
Fonte: Adaptado de LIMA (2006)

As membranas, dessa forma, atuam como barreira física à passagem de sais. A separação ocorre em função das diferenças de tamanho e difusão das partículas em solução (KALOGIROU, 1997). Poucas partículas, de tamanho reduzido, passam pela membrana, enquanto a grande maioria é retida pela membrana, aumentando a concentração de sal da água remanescente.

3.1.7 Eletrodialise (ED)

Na eletrodialise, uma solução iônica é bombeada através de um recipiente contendo eletrodos, enquanto membranas seletivas alternadas retêm cátions e ânions. Quando uma fonte externa de corrente contínua, tal como uma bateria, é ligada aos eletrodos, a corrente elétrica é transportada através da solução, com os íons migrando para os eletrodos de carga oposta. Esse princípio é ilustrado pela Figura 3.9.

Figura 3.9 – Princípio operacional da eletrodialise



Fonte: JUCÁ, 2005

Os espaços entre membranas são chamados de células, e, em cada par de células, há sempre uma de onde os íons migram, tornando o fluido diluído, e outra em que os íons concentram-se. Uma unidade básica de eletrodialise possui centenas de células. A água salina passa, simultaneamente, por todas as células, em caminhos paralelos, sendo geradas duas vazões distintas: uma da água dessalinizada e outra do rejeito salino.

3.2 Caracterização da qualidade da água

A qualidade da água é fundamental para o desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da prevenção, da precaução, do reconhecimento do valor intrínseco à natureza, entre outros. A deterioração da qualidade das águas pode afetar a saúde e o bem-estar humano, assim como o equilíbrio ecológico aquático (CONAMA, 2005).

Um dos parâmetros de classificação dos tipos de água existentes, mostrado na Tabela 3.1, é o da salinidade, que se refere à quantidade total de sais minerais dissolvidos na água. A salinidade é, normalmente, medida em ppt (“*parts per thousand*” ou partes por mil). Uma parte por mil é equivalente a 1 g/L.

Tabela 3.1 – Classificação das águas de acordo com a salinidade

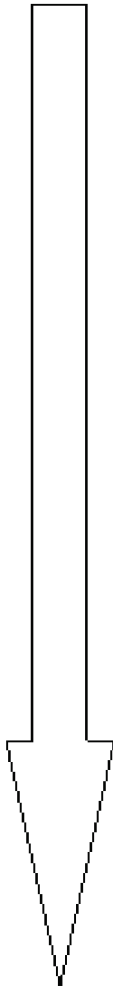
Tipos de Água	Faixa de Salinidade [ppt]
Água doce	$\leq 0,5$

Água salobra	$0,5 < S < 30$
Água salina	≥ 30

Fonte: CONAMA 357, 2005

As águas doces, salobras ou salinas, do Território Nacional, são classificadas em diferentes classes de qualidade. Águas de qualidade inferior podem ser aproveitadas em uso menos exigente, contanto que não sejam comprometidas para a finalidade a que se destinam (CONAMA, 2005). Na Tabela 3.2, são fornecidas as principais finalidades para a água doce, de acordo com a classe em que se enquadram.

Tabela 3.2 – Classes e usos relativos à água doce

CLASSES	USOS	QUALIDADE
ESPECIAL	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; • Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; • Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. 	MAIOR EXIGÊNCIA 
CLASSE 1	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; • Proteção das comunidades aquáticas; • Recreação de contato primário; (natação, mergulho e esqui aquático) • Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam consumidas cruas sem remoção de película (casca); • Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. 	
CLASSE 2	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; • Proteção das comunidades aquáticas; • Recreação de contato primário; (natação, mergulho e esqui aquático) • Irrigação de plantas frutíferas e hortaliças; • Aquicultura e atividade de pesca. 	
CLASSE 3	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento avançado; • Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; • Pesca amadora; • Recreação de contato secundário; • Dessedentação de animais. 	

CLASSE 4	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação; • Harmonia paisagística; 	MENOR EXIGENCIA
-----------------	--	----------------------------

Fonte: CONAMA (2005)

A salinidade da água pode ser determinada por meio de diversos métodos, tais como o da densidade, da concentração de cloretos, da refração de luz e da condutividade elétrica. De acordo com Lewis (1978 apud EATON *et al.*, 1975), desses métodos, o mais utilizado é o da condutividade elétrica. Desde 1978, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) estabeleceu uma relação entre a salinidade da água do mar e sua condutividade, conhecida como “Escala Prática de Salinidade” (PPS – *Practical Salinity Scale*). Assim, de acordo a descrição do método, apresentada no Anexo A, a salinidade é função da temperatura e da pressão e pode ser determinada através da condutividade da amostra de água, conhecida por R_T .

3.2.1 Parâmetros físico-químicos e biológicos da água potável

Como reproduzido por Coutinho (2003), os componentes presentes na água bruta, que alteram seu grau de pureza, são classificados de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas, a saber:

- Físicas: Dependem do tamanho e podem estar presentes na forma de sólidos coloidais, dissolvidos ou em suspensão;
- Químicas: Estão presentes na forma de matéria orgânica ou inorgânica;
- Biológicas: Presença de seres microscópicos vivos ou mortos.

Alguns os principais parâmetros que caracterizam a qualidade da água, a ser analisada, são:

- a) Parâmetros físicos e químicos

Cloretos: São os ânions advindos da dissolução de sais como o cloreto de sódio. Estão presentes na forma de sólidos dissolvidos e possuem origem na dissolução de minerais e intrusão de águas salinas;

Cor: Caracterizada pela presença de sólidos dissolvidos originados da decomposição da matéria orgânica;

Dureza Total: Representa a concentração de cátions multimetálicos (geralmente Ca^{2+} e Mg^{2+});

pH: Potencial hidrogeniônico, que consiste na concentração de íons de hidrogênio H^+ , em escala antilogarítmica de 0 a 14. Fornece uma indicação sobre condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água;

Sólidos Totais Dissolvidos: Correspondem ao peso total dos constituintes minerais, presentes na água, por unidade de volume;

Turbidez: Representa o grau de interferência à passagem de luz através da água.

b) Parâmetros biológicos

Coliformes totais (CT): Reúne grande quantidade de bactérias, entre elas a *Escherichia Coli* (E. Coli), de origem fecal. Existem outras bactérias dos gêneros *Citrobacter*, *Eritrobacter* e *klebsiella*, também identificadas pelas técnicas laboratoriais de coliformes totais;

Coliformes fecais (CF): Pertencem a esse subgrupo os microrganismos que aparecem exclusivamente no trato intestinal. A diferença de identificação entre coliformes totais e fecais é feita por meio da temperatura (os coliformes fecais continuam vivos mesmo a 44°C, enquanto os coliformes totais tem crescimento até 35°C).

3.2.2 Potabilidade da água para consumo humano

Segundo a Portaria nº 2914, do Ministério da Saúde (MS), de 12/12/2011, define-se padrão de potabilidade como o conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano. Água potável é aquela que não oferece riscos à saúde e que atende ao padrão de potabilidade previsto na Portaria nº 2914. Nas Tabelas 3.3 e

3.4, são fornecidos alguns dos parâmetros, mais usuais, biológicos, físicos e químicos, da água potável.

Tabela 3.3 – Parâmetros biológicos da água potável

Determinações	Valores de Referência
Bactérias do grupo Coliformes Totais (VMP/ml)	Zero
Bactérias do Grupo de Origem Fecal (VMP/ml)	Zero

Fonte: Portaria N° 2914, de 12/12/2011 – MS

Tabela 3.4 – Parâmetros físico-químicos da água potável

Determinações	Valores de Referência
Turbidez (uT)	5,0 máx
Cor Aparente (uH)	15 máx
pH	6,5 – 8,5
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	1000,0 máx
Dureza Total (mg CaCO ₃)	500,0 máx
Cloreto (mg Cl ⁻ /L)	250,0 máx

Fonte: Portaria N° 2914, de 12/12/2011 – MS

A água para consumo humano é a água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente de sua origem.

3.2.3 Cromatografia

A cromatografia, técnica que pode ser empregada tanto na separação de compostos quanto em análises químicas, consiste na migração diferencial dos componentes de uma mistura por meio de diferentes interações entre duas fases imiscíveis, que são as fases móveis e estacionárias. A vasta possibilidade de combinações entre essas duas fases faz da cromatografia uma técnica altamente versátil e de grande aplicação (DEGANI; CASS; VIEIRA, 1998). Neste trabalho, ela foi realizada para verificar a presença de substâncias voláteis, que compõem a película hidrofóbica, na água produzida.

O primeiro cientista a reconhecer a cromatografia como um método eficiente de separação foi o botânico russo Tswett. Ele utilizou uma forma simples de cromatografia

sólido-líquido para separar pigmentos de plantas. O experimento consistia na passagem de éter de petróleo (fase móvel) através de uma coluna preenchida com carbonato de cálcio (fase estacionária), separando, dessa forma, os componentes de extratos de plantas em faixas coloridas. Por esse motivo, surgiu o termo *cromatografia* (*chrom* = cor e *graphie* = escrita), e, embora os processos modernos de separação não dependam da cor, essa denominação persiste até os dias atuais (Scott, 2003).

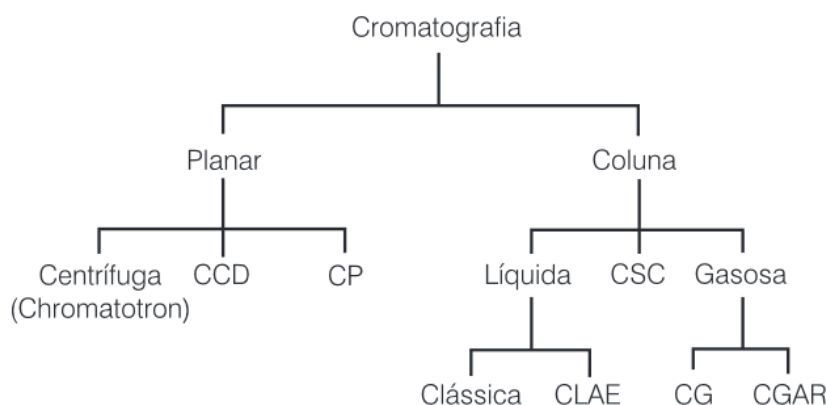
De acordo com DEGANI, CASS e VIEIRA (1998), existem classificações para os diferentes tipos de cromatografia, considerando-se os seguintes critérios:

- a) Classificação pela forma física do sistema cromatográfico: Cromatografia planar ou em camada. Enquanto a cromatografia planar restringe-se à cromatografia em papel (CP), à cromatografia por centrifugação (Chromatotron) e à cromatografia em camada delgada (CCD), são vários os tipos de cromatografia em coluna;
- b) Classificação da fase móvel empregada: Cromatografia gasosa, líquida ou supercrítica (CSC). Na CSC, utiliza-se vapor pressurizado, acima de sua temperatura crítica. A cromatografia líquida é subdividida em cromatografia líquida clássica (CLC), em que a fase móvel é arrastada através da coluna apenas pela força da gravidade, e a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), na qual são utilizadas fases estacionárias de partículas menores, tornando-se necessário o uso de uma bomba de alta pressão para a eluição da fase móvel. No caso de fases móveis gasosas, existem a cromatografia gasosa (CG) e a cromatografia gasosa de alta resolução (CGAR). A diferença é que, enquanto na CGAR utilizam-se colunas capilares, nas quais um filme, depositado na mesma, constitui a fase estacionária, a CG faz uso de colunas de maior diâmetro, empacotadas com a fase estacionária;
- c) Classificação pela fase estacionária utilizada: Fases estacionárias sólidas, líquidas ou quimicamente ligadas. Quando a fase estacionária é um líquido, este pode estar adsorvido sobre um suporte sólido ou imobilizado sobre ele. Suportes modificados são considerados separadamente, como fases quimicamente ligadas, pois divergem dos outros dois em seus mecanismos de separação;

- d) Classificação pelo modo de separação: Separações cromatográficas devem-se à adsorção, partição, troca iônica, exclusão ou mistura desses mecanismos.

Para resumir os diferentes tipos de cromatografia, na Figura 3.10 é mostrada uma representação didática dos principais métodos de separação.

Figura 3.10 – Representação esquemática dos principais tipos de cromatografia



Fonte: DEGANI; CASS; VIEIRA, 1998

3.2.4 Espectrofotometria

A espectrofotometria é uma técnica empregada para medições quantitativas a partir da análise de espectros de luz específicos. Pode-se optar por ela tanto para garantia de qualidade de determinada solução quanto para uma análise química avançada. Neste estudo, foi de grande utilidade para a identificação de substâncias, não voláteis, presentes na nanopelícula.

Como a luz se apresenta em um espectro de diferentes comprimentos de onda, como a visível e ultravioleta, há vários tipos de espectrofotometria, sendo cada uma delas apropriada para um intervalo específico do espectro de luz. Os principais métodos são os de espectrofotometria por absorção, que envolve a absorção da radiação de comprimentos de onda específicos, e o de espectrofotometria com faixa ultravioleta visível, que corresponde à refletância do espectro específico de um determinado material (MINOLTA, 2014).

A absorvância, a um determinado comprimento de onda, é a capacidade da amostra em absorver radiações com frequências específicas, e pode ser obtida por:

$$A_{\lambda} = -\log_{10} (I/I_0) \quad (1)$$

na qual I é a intensidade de luz, com comprimento de onda específico λ , que é transmitida pela amostra, e I_0 é a intensidade de luz incidente na amostra.

A refletância é a relação entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido, podendo ser descrita como:

$$R = F_R/F_T \quad (2)$$

em que F_R é o fluxo de radiação eletromagnética refletido, e F_T é o fluxo de radiação eletromagnética incidente.

O espectrofotômetro é um equipamento utilizado para a obtenção da concentração de substâncias, em um determinado solvente, capazes de absorver energia radiante, permitindo a medição e comparação da quantidade de luz absorvida por uma solução que se pretende estudar. Dependendo do modelo, cada aparelho pode detectar substâncias a diferentes faixas de comprimentos de onda (SPLABOR, 2013).

4 DESSALINIZADOR TÉRMICO COM RECUPERAÇÃO DE CALOR

O conhecimento dos processos de transferência de calor e massa é fundamental para a compreensão do funcionamento e análise do desempenho de dessalinizadores térmicos com recuperação de calor. Os fundamentos teóricos desse assunto, amplamente difundidos na literatura, encontram-se no Anexo B.

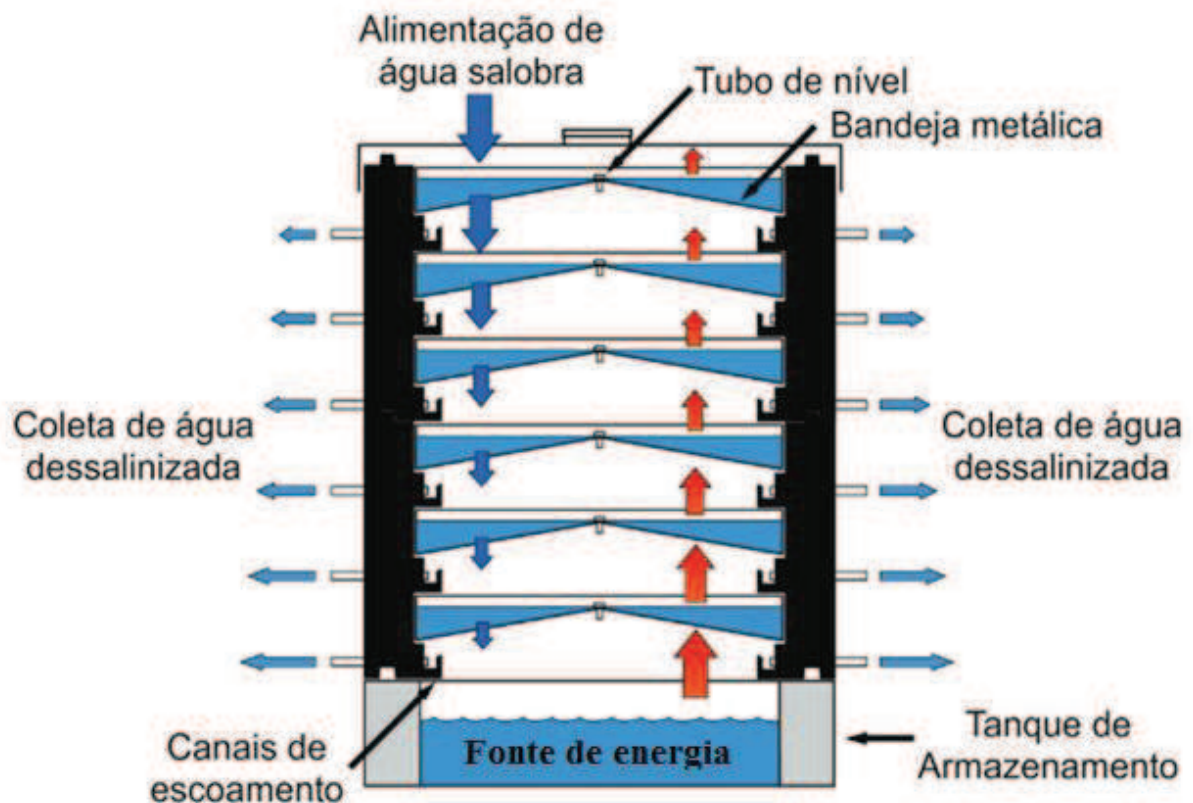
O dessalinizador térmico, com recuperação de calor, é composto por duas unidades: uma de aquecimento e uma de dessalinização. A unidade de aquecimento é responsável pelo fornecimento de energia ao fluido de trabalho (água salgada ou salobra). Já a unidade de dessalinização, que tem por finalidade a produção de água potável, consiste em uma torre, composta por estágios, termicamente isolados, e bandejas metálicas, e por um tanque de armazenamento, também metálico e revestido com isolante térmico, onde se encontra contida a água que recebe energia da unidade de aquecimento.

A água salgada ou salobra é aquecida, no tanque de armazenamento, até atingir seu ponto de ebulição, ocorrendo o processo de evaporação. No estado de vapor, a água entra em contato com a superfície inferior da bandeja do estágio imediatamente superior, que está a uma temperatura inferior, onde condensa e transfere calor. O calor recebido é utilizado para aquecer a água contida na bandeja, e o processo de recuperação se repete nos estágios superiores.

A reposição de água no sistema ocorre de cima para baixo. Quando o estágio superior atinge seu limite máximo, a água excedente escoar para a bandeja situada abaixo, por meio de um tubo de nível. Esse processo acontece em todas as bandejas, repetindo-se até o líquido chegar ao tanque de armazenamento. É importante observar que os furos de bandejas adjacentes sejam alternados, pois isso garante o total enchimento de uma bandeja antes de a água escoar.

Devido à inclinação das bandejas metálicas, o vapor d'água condensado escoar até as calhas laterais, presentes em todos os perfis de poliuretano, e é coletado em reservatórios externos à torre de dessalinização. A Figura 4.1 é um desenho esquemático dos componentes da torre de dessalinização térmica, com recuperação de calor.

Figura 4.1 – Dessalinizador térmico com recuperação de calor



Fonte: Adaptada de Rodrigues (2011)

4.1 Aquecimento solar e por resistência elétrica

Existem diversas formas de fornecer energia à água do tanque de armazenamento do dessalinizador. Neste trabalho, ela foi fornecida por meio da passagem de corrente elétrica através de uma resistência, visto que, dessa forma, praticamente não há perda de energia para o ambiente, além de se poder controlar a potência empregada.

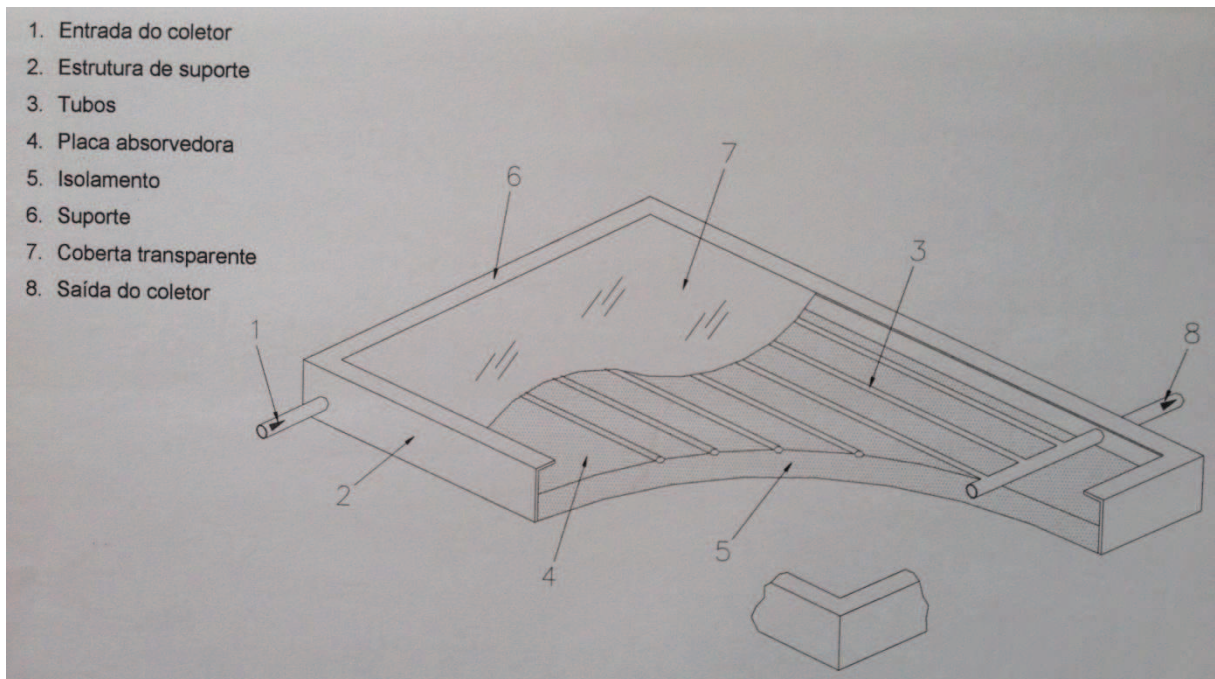
Foram realizados testes em um dessalinizador, com recuperação de calor, que opera por meio de uma resistência elétrica, submersa no tanque de armazenamento, ligada a um potenciômetro. À medida que a tensão aplicada aos terminais da resistência varia, altera-se a corrente elétrica que percorre o circuito. De acordo com as Equações C.1, C.2 e C.3, do Anexo C, esses parâmetros estão diretamente relacionados à potência necessária para a evaporação da água.

A torre de dessalinização, mostrada na Figura 4.1, pode receber energia de um conjunto de coletores solares, e, nesse caso, o sistema formado por ambos é chamado de dessalinizador solar térmico. O coletor de placa plana, apresentado na Figura 4.2, é um tipo de

trocador de calor que converte a radiação solar em energia térmica, sendo composto, basicamente, por cinco componentes:

- Uma superfície metálica escura que, ao absorver a radiação solar incidente, se aquece. O fluxo de calor se dá até os tubos de cobre que são soldados a essa placa absorvedora, onde ocorre o aquecimento do fluido de trabalho;
- Uma cobertura de vidro que permite a transmissão da radiação solar (de pequeno comprimento de onda) e a reflexão da radiação térmica (de maior comprimento de onda), reduzindo as perdas de energia;
- Isolamento lateral e inferior que reduzem as perdas de calor por condução através das paredes;
- Os canais de escoamento (tubos de cobre), em cujas paredes o fluido de trabalho é aquecido por convecção;
- Uma estrutura de suporte dos componentes.

Figura 4.2 – Coletor solar de placa plana



Fonte: LIMA (2000)

4.2 Parâmetros de desempenho dos dessalinizadores

Dois parâmetros são bastante utilizados para se determinar o desempenho da torre de dessalinização: a Razão de Ganho de Saída (*Gain Output Ratio* - GOR) e o Coeficiente de Desempenho (*Coefficient of Performance* - COP).

A Razão de Ganho de Saída é razão entre a energia necessária para evaporar a água e a energia fornecida ao tanque de armazenamento:

$$\text{GOR} = \frac{m_T \cdot h_{fg}}{E} \quad (4)$$

na qual h_{fg} é o calor latente de evaporação da água, m_T a massa total de água dessalinizada produzida nos estágios da torre de dessalinização, e E a energia fornecida ao tanque de armazenamento.

Quando o fornecimento de energia ao tanque de armazenamento é feito através de coletores solares, é necessário levar em consideração sua eficiência. Assim, parte da energia, incidente nos coletores, é perdida para o ambiente, não sendo utilizada para aquecimento da água presente no dessalinizador. A energia útil, fornecida pelos coletores solares, como ressaltam Beckman, Duffie e Klein (1977, p.16), pode ser calculada utilizando-se a Eq. 5:

$$Q_u = A \cdot G \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) \quad (5)$$

na qual A a área total dos coletores, G a vazão mássica do fluido por unidade de área dos coletores, C_p o calor específico do fluido, T_i a temperatura de entrada do fluido no tanque de armazenamento (saída do coletor solar), e T_o a temperatura de saída do fluido do tanque de armazenamento (entrada do coletor solar). O Anexo D apresenta um modelo e a equação para o cálculo da vazão mássica do fluido, em um circuito de termossifão solar para coletores planos, é apresentada.

O coeficiente de desempenho é definido como a razão entre toda a massa de condensado produzida pela torre e a massa de condensado produzida pelo primeiro estágio:

$$\text{COP} = \frac{m_T}{m_{E1}} \quad (6)$$

na qual m_{E1} é a massa de água produzida no primeiro estágio, e m_T é a massa total produzida pela torre.

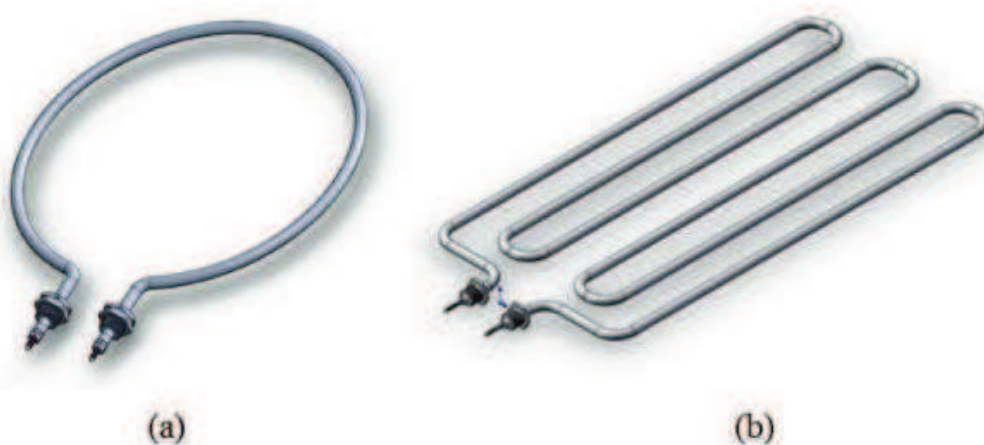
5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, os materiais e métodos para a realização de testes, no dessalinizador térmico, com recuperação de calor, são apresentados. Primeiramente, são enumerados todos os materiais empregados nas torres de dessalinização e nas unidades de aquecimento. Em seguida, a nanopelícula empregada, na tentativa de aumentar a produção de condensado, é caracterizada. Por fim, os métodos usados para se alcançar os objetivos desta dissertação são explanados.

5.1 Componentes do dessalinizador elétrico

O dessalinizador térmico empregado neste trabalho foi o mesmo utilizado por Pinheiro (2013). O principal objetivo de seu experimento, entretanto, era determinar qual dos tipos de bandejas (alumínio, aço polido e aço inoxidável) proporcionava a maior produção de condensado. Sua conclusão foi a de que as bandejas de alumínio apresentaram os melhores resultados, e, por isso, essas foram as utilizadas no presente trabalho. Pinheiro fez testes com dois tipos de resistência para o tanque de armazenamento, ilustradas na Figura 5.1: uma circular e outra em formato de “W”. Essa última mostrou uma distribuição de temperatura mais uniforme no tanque. Desse modo, o presente estudo foi realizado com a resistência em “W”.

Figura 5.1 – (a) Resistência circular; (b) Resistência em formato de “W”



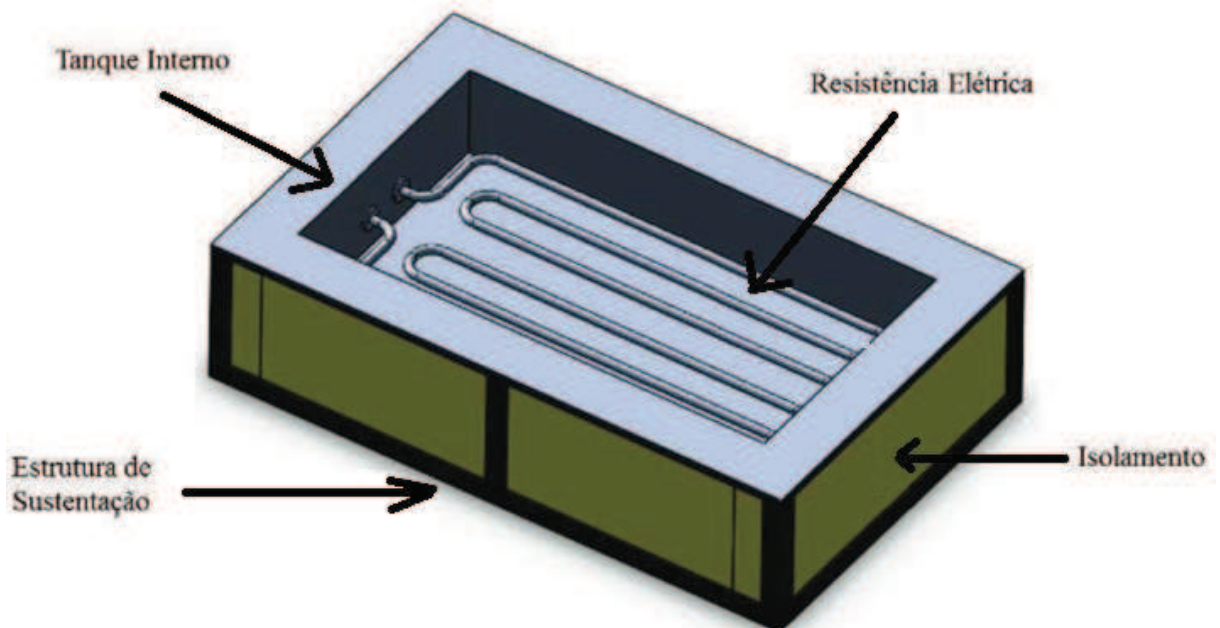
Fonte: Pinheiro (2013)

O sistema de aquecimento consiste em uma resistência e uma fonte elétrica controlada por um potenciômetro. A potência dissipada pode variar entre 0 e 2000 W. Pinheiro (2013) desenvolveu seu estudo com duas voltagens diferentes: 165 V e 200 V. Neste trabalho, outras diferenças de potenciais foram empregadas, nos testes, para se determinar o melhor GOR.

O tanque de armazenamento, como mostrado na Figura 5.2, é formado por:

- Um tanque interno, de chapa de aço inoxidável AISI 304, com 1,2 mm de espessura e dimensões de: 27 cm de largura, 52 cm de comprimento e 10 cm de profundidade. Ele comporta até 14,5 L de água, e deve operar com, no mínimo, 4,5 L, pois é o volume necessário para cobrir toda a resistência. Testes foram realizados com 10 L de água no tanque interno, independentemente do número de bandejas em uso;
- Isolamento de placas de poliuretano, revestido por alumínio, de 5 cm, com baixo coeficiente de condutividade térmica ($2,0 \times 10^{-5}$ KW/mK) e baixo peso específico ($1,25 \text{ g/cm}^3$). Depois de ser isolado nas laterais e na face inferior, o tanque ficou com 37 cm de largura, 62 cm de comprimento e 15 cm de altura;
- Estrutura de sustentação feita com canaletas de ferro;

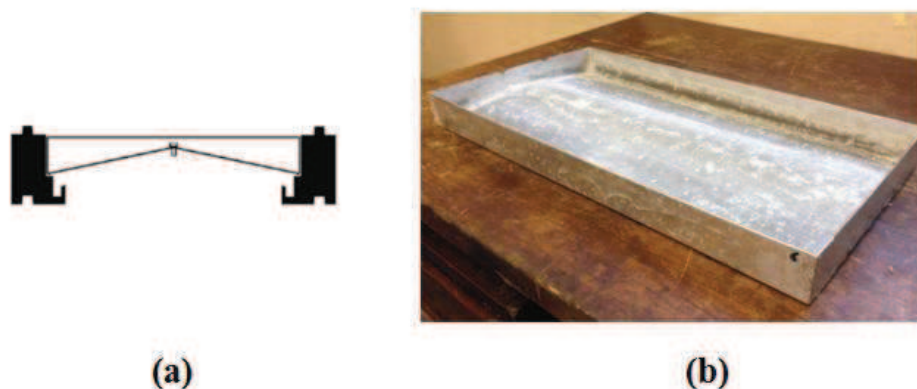
Figura 5.2 – Tanque de armazenamento com resistência elétrica



Fonte: Adaptado de Pinheiro (2013)

Foram testados arranjos de um a seis estágios na torre. As estruturas de suporte, das bandejas de alumínio, eram de poliuretano. Cada estágio é formado por uma bandeja de alumínio (Figura 5.3), com inclinação de 10° (ângulo da superfície de condensação), 52 cm de comprimento, 27,6 cm de largura e 4,5 cm de altura, permitindo o escoamento do condensado para os canais laterais do perfil de poliuretano, onde é coletado. As dimensões de cada estágio são de 62 cm de comprimento, 37 cm de largura e 8 cm de altura.

Figura 5.3 – (a) Corte transversal dos perfis; (b) Bandeja de alumínio



Fonte: (a) Rodrigues (2011); (b) próprio autor

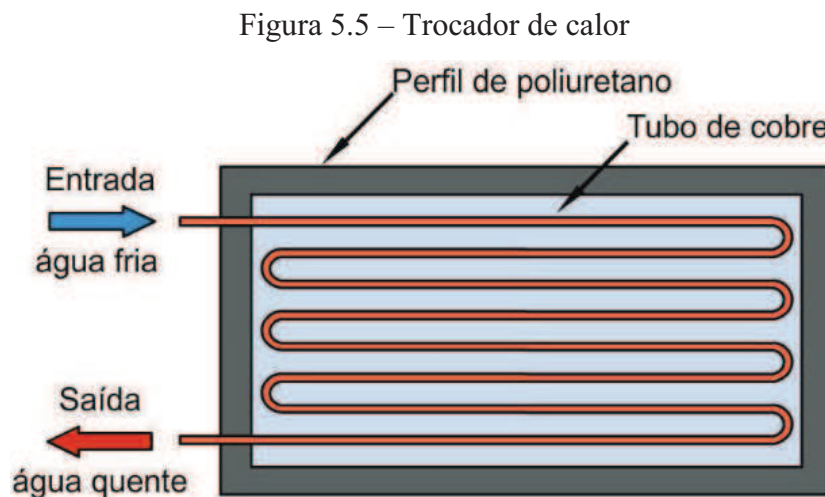
Ao passar pelos canais, a água condensada escoava para fora do estágio através de tubos de cobre, de 11 mm de diâmetro, situados nas paredes laterais. A coleta é feita através do acoplamento de mangueiras nos tubos de cobre, permitindo o escoamento do líquido para recipientes que armazenam a produção do dessalinizador. A Figura 5.4 ilustra o sistema de coleta do condensado.

Figura 5.4 – Estágio com mangueira de coleta



Fonte: Próprio autor

Um trocador de calor, constituído por oito tubos de cobre de 152 cm de comprimento, 10 mm de diâmetro, 0,6 mm de espessura e sete curvas de 10 cm de raio (Figura 5.5), foi utilizado no primeiro estágio do dessalinizador, ou seja, logo acima do tanque de armazenamento. O objetivo é a manutenção de uma temperatura uniforme da água, na bandeja desse estágio, de modo a gerar uma diferença de temperatura entre o tanque e o estágio que pudesse aumentar a produção de condensado.



Fonte: Rodrigues (2011)

O fluido que circula através do trocador de calor é a água fornecida pela rede de distribuição local. Devido à variação de pressão na saída da torneira, na qual está conectada a mangueira, a vazão do líquido é variável. Uma proveta e de um cronômetro foram empregados para medir vazões entre 40 e 45 mL/s.

Durante os primeiros testes, percebeu-se uma vazão excessiva de água que evaporava do dessalinizador para o ambiente externo. Para evitar a perda de vapor entre o tanque de armazenamento e o primeiro estágio, assim como entre um perfil e outro, isolou-se o contato entre eles com borracha elastomérica adesiva.

O dessalinizador aquecido por resistência elétrica, juntamente com seu sistema de coleta de água, operando com trocador de calor, encontra-se ilustrado na Figura 5.6.

Figura 5.6 – Dessalinizador elétrico



Fonte: Próprio autor

5.2 Nanopelícula

Um dos objetivos deste trabalho foi estudar se o uso de uma nanopelícula, conhecida por *Ultra Ever Dry*, que contribuísse para o aumento na produção de água dessalinizada. Ela foi aplicada na região inferior das bandejas metálicas, onde a água condensa. A proposta foi facilitar o escoamento do condensado, melhorando o desempenho do dessalinizador. Rodrigues (2011) realizou testes com a nanopelícula *Nano Chrom & Edelstahl-Versiegelung*, de fabricação alemã, obtendo um aumento de 66% na produção de água.

O *Ultra Ever Dry* é fabricado nos Estados Unidos, mas pode ser adquirido, no Brasil, através de sua distribuidora autorizada, a *Faytec International*. Todas as informações, descritas nesse tópico, foram fornecidas pelo fabricante.

A aplicação da nanopelícula é feita em duas camadas, uma inferior (*Bottom Coat*) e outra superior (*Top Coat*), como visto na Figura 5.7. Para 950 ml de *Bottom Coat* e 950 ml de *Top Coat*, o custo total do produto é de R\$ 890,00. Cada 160 ml, das duas camadas, é capaz de revestir uma área de 1 m².

Figura 5.7 – Camadas inferior e superior da nanopelícula



Fonte: *Ultra Ever Dry* (2013)

O *Ultra Ever Dry* é um revestimento aplicado por pulverização, com secagem a ar em duas etapas. É apropriado para uso em ambientes internos e externos e possui as características apresentadas pelo fabricante:

- a) **Superhidrofóbico** - soluções aquosas escorrem da superfície rapidamente e formam gotas esféricas;
- b) **Oleofóbico** - óleos refinados rolam por cima das partículas e escorrem da superfície rapidamente quando a superfície estiver inclinada em 5 graus ou mais;
- c) **Resistência Química** - Excelente: ácidos, alcalinos, poluentes. Boa: Refinados de petróleo com baixo teor de solvente. Baixa: Solventes;
- d) **Resistência à Abrasão** - A abrasão diminuirá ou eliminará a eficiência. Ainda assim, a resistência é maior que a da maioria dos superhidrofóbicos.

Sua aplicação é recomendada sobre superfícies de madeiras, metais, vidros, plásticos, borracha, concreto, pedra, tintas de acabamento e outros revestimentos. Os melhores usos da nanopelícula incluem:

- a) Aplicações anticongelantes nas quais a água se aproxima em velocidades ou pressões relativamente baixas (impedindo gelo pendurado ou pontes de gelo condutivas);
- b) Aplicações antiuementantes para manter os itens, por ela revestidos, secos e funcionais;

- c) Aplicações anticorrosão;
- d) Autolimpeza de superfícies em caso de chuva ou lavagem com água de baixa pressão;
- e) Antibacteriano - reduz o teor de bactérias em uma superfície.

A superfície, formada pelas duas camadas da nanopelícula, cria padrões de formas geométricas e bilhões de espaços intersticiais que prendem e seguram ar, podendo ser descrita como uma espécie de “guarda-chuva”. Existem pontos altos na textura que permitem que as gotículas de água toquem somente em aproximadamente 2-3% da cobertura. É a combinação destes elementos que permite que a película seja superhidrofóbica e oleofóbica para óleos refinados.

O Ultra-Ever Dry cria um ângulo de contato sólido/líquido de 160-175 graus. Os conhecidos repelentes de água, de para-brisas de veículos, criam um ângulo de contato de aproximadamente 110 graus e são somente hidrofóbicos. O ângulo de contato super hidrofóbico é o que dá as propriedades auto-limpantes associadas ao Ultra Ever Dry. O termo oleofóbico refere-se à habilidade de repelir óleo e outros hidrocarbonetos.

As principais limitações para o uso do produto são:

- a) A abrasão excessiva reduzirá ou eliminará o desempenho superhidrofóbico.
- b) Sabões e álcoois aplicados à superfície farão com que esta fique "encharcada" até que aqueles sejam removidos. Depois disso, as propriedades superhidrofóbicas retornam.
- c) O revestimento pode ser removido ou sua eficácia pode diminuir quando a maioria dos solventes for aplicada nele.

A temperatura de operação da nanopelícula varia entre -34°C a 150°C. Esse foi o principal motivo para a escolha do Ultra Ever Dry, visto que outros produtos impermeabilizantes, de fabricação nacional, tais como as ceras de carnaúba e de abelha, possuem ponto de fusão de 82°C a 86°C e 62°C a 66°C, respectivamente. Como temperaturas de 100°C são atingidas no dessalinizador elétrico, optou-se por não utilizar as ceras.

O produto pode ser aplicado a temperaturas de 10°C a 32°C, e o armazenamento dos galões deve ser realizado entre 4°C e 46°C. A validade da nanopelícula, quando mantida a temperaturas próximas a 25°C, é de 2 (dois) anos.

Informações sobre a metodologia de aplicação da película são fornecidas no Anexo E. A Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), das duas camadas do produto, está disponível no Anexo F.

5.3 Procedimentos experimentais

A metodologia adotada para alcançar os objetivos deste estudo envolveu a realização de trabalhos experimentais e a determinação do desempenho do dessalinizador.

A partir dos resultados encontrados por Pinheiro (2013), com bandejas de diferentes materiais e um estágio, em que se concluiu ser a de alumínio a de maior eficiência, definiram-se as metas dos trabalhos experimentais:

- 1) Estudo da potência dissipada pela resistência para aquecimento da água do tanque de armazenamento;
- 2) Estudo do desempenho do uso da nanopelícula hidrofóbica;
- 3) Determinação do número de estágios, variando de um a seis.

Já na determinação do desempenho, tem-se:

- 1) Elaboração de gráficos de temperatura, identificando os regimes de aquecimento, permanente e resfriamento;
- 2) Determinação do COP e do GOR para as diferentes quantidades de estágios na torre de dessalinização.

5.3.1 Aplicação da nanopelícula

O primeiro passo, para a realização dos experimentos, consiste na aplicação da película hidrofóbica, conforme descrito no Anexo E, na parte inferior das bandejas de alumínio, por onde deve escoar a água condensada produzida, resultante do contato do vapor, gerado pelo aquecimento do líquido, no estágio imediatamente inferior, com a superfície da bandeja acima, que se encontra a uma temperatura menor.

5.3.2 Verificação da produção de água dessalinizada com o uso da nanopelícula

Após a aplicação da película, em uma das bandejas de alumínio, foram realizados testes para verificar a produção de água dessalinizada. Para efeito comparativo, comparou-se a produção com outra bandeja, sem o produto hidrofóbico. Apenas um estágio foi acoplado ao tanque de armazenamento, e o condensado foi coletado, através de mangueiras, em um recipiente, de acordo com o que foi apresentado na Figura 5.6.

Como o experimento foi desenvolvido com o uso de um potenciômetro, foi possível controlar a ddp de operação do dessalinizador. Diferentes voltagens foram empregadas para verificar a influência de cada uma na Razão de Ganho de Saída (GOR): 80V, 90V, 100V, 110V, 120V, 130, 165V e 200V. Os testes ocorreram sem a utilização do trocador de calor. Apenas para a ddp que gerou o maior GOR é que tal dispositivo foi utilizado, a fim de aumentar a diferença de temperatura entre as águas, do tanque de armazenamento e do primeiro estágio, e verificar sua influência na produção final de condensado.

A operação consistiu em três etapas: aquecimento, regime permanente e resfriamento. Dependendo da voltagem empregada, o tempo da fase de aquecimento mudava, pois ela consiste no processo de aumento de temperatura do sistema, até que o regime permanente fosse atingido, ou seja, as temperaturas do tanque e do estágio permanecessem praticamente constantes. Adotou-se um período de duas horas para a operação em regime permanente. Ao seu término, dava-se início à fase de resfriamento, que consistia em desligar o potenciômetro da fonte de energia e fazer o dessalinizador operar, até o dia seguinte, apenas com a energia acumulada nas fases anteriores. Na passagem de uma etapa à outra, sempre era realizada uma coleta.

Adotou-se um volume de água de 10 L, para o tanque de armazenamento, e um de 4 L para cada estágio. O processo iniciava-se sempre no período da manhã, entre 8:00h e 9:00h. No dia seguinte, após a última coleta, como parte da água era coletada, e outra perdida com a evaporação, o líquido precisava ser repostado ao dessalinizador, pois as mesmas condições de operação precisavam ser mantidas para todas as situações. Após a reposição, dava-se início a um novo teste.

Com o objetivo de medir o total de água perdida com a evaporação, durante o processo, para determinar a eficiência do isolamento entre o tanque e o estágio, o dessalinizador foi colocado para operar em cima de uma balança de precisão (modelo GP 100K, da *A&D Company Ltd*), que era zerada antes de o potenciômetro ser ligado à fonte de

energia elétrica. No decorrer do teste, a balança registrava valores cada vez mais negativos, pois a água estava sendo coletada ou perdida, durante a evaporação. Ao final do experimento, bastava verificar o mostrador da balança e subtrair, desse valor, o total de água condensada, obtendo-se o quanto de líquido foi perdido.

5.3.3 Análise da atuação da película hidrofóbica como isolante térmico

Para aferir a temperatura no tanque e no estágio, utilizaram-se dois sensores PT 100, da *ADD Therm*, ligados a um coletor de dados (*datalogger*) OPUS 208. O programa *SmartControl 1.4*, desenvolvido pela *K-soft Haustechnik-Management*, foi instalado em um computador para receber os dados do *datalogger* e gerar um gráfico de temperaturas. Os dados também poderiam ser salvos em uma planilha de *Excel*, caso se desejasse observar os valores precisos da temperatura em um determinado intervalo de tempo. O *software* coletava dados de média a cada trinta segundos.

Com o monitoramento do dessalinizador, foi possível comparar a diferença entre as temperaturas do tanque e do estágio, com ou sem o uso da película, para uma determinada ddp. Caso a diferença de temperatura aumentasse, devido ao uso da película, o produto poderia estar atuando como isolante térmico, o que seria inviável para o processo. Quando a água do tanque evapora, é preciso haver troca de calor com a superfície da bandeja, do primeiro estágio, para ocorrer a condensação. Se a película atuasse como isolante térmico, a produção de água poderia ficar comprometida.

5.3.4 Número de estágios na torre de dessalinização

Após os testes com 1 estágio, para a determinação da viabilidade ou não do uso da película, obteve-se a condição ideal de operação, ou seja, a ddp que propiciou o maior GOR. Entretanto, foi possível aumentar Razão de Ganho de Saída utilizando mais estágios na torre de dessalinização, e é isso que foi feito com a voltagem que forneceu o melhor resultado para operação com um único estágio.

A razão entre a quantidade total de água coletada e a água produzida apenas no primeiro estágio, conhecida como COP, foi calculada para cada situação, à medida que o número de estágios for aumentando. Dessa forma, foi possível obter a condição ideal de

operação para o dessalinizador em questão, a partir da comparação dos parâmetros de desempenho.

5.3.5 Determinação da qualidade da água produzida

A qualidade do líquido condensado foi verificada através de quatro testes: cromatografia, espectrofotometria, análise físico-química e análise bacteriológica.

A cromatografia foi realizada para detectar se houve contaminação, da água coletada, pela primeira camada da película. O objetivo era detectar, na amostra estudada, teores de acetona, t-butil acetato e xilenos, principais componentes dessa camada. Por se tratarem de substâncias voláteis, foi utilizado um cromatógrafo gasoso, modelo GCMS-QP2010 Plus, da *Shimadzu*, disponibilizado pelo Laboratório de Cromatografia, do Curso de Química, da UFC. Como a segunda camada do produto hidrofóbico possuía apenas acetona como componente volátil, já presente na primeira camada, apenas esta foi analisada.

A metodologia para essa análise cromatográfica consistiu em armazenar um pequeno volume da primeira camada da película, aproximadamente 10 ml, em um frasco, fechando-o em seguida. Existe, no cromatógrafo, uma fibra que precisa ser zerada, ou seja, necessita ser limpa e estar livre de qualquer contaminante. Após o tratamento da fibra, ela foi introduzida no frasco, perfurando a fina superfície de plástico utilizada para tampar o recipiente com a amostra, mas sem entrar em contato com o líquido. Apenas os gases, contidos no frasco, eram captados. Em seguida, a fibra voltava para o cromatógrafo, que gerava picos de acordo com a presença de determinada substância. Por fim, o mesmo procedimento foi realizado substituindo o recipiente com a amostra da película por frascos com a água bruta (pré-tratada), a coletada sem o uso do elemento hidrofóbico e a coletada com a utilização da película.

A espectrofotometria foi empregada para verificar se houve a contaminação da água por alguma substância presente na segunda camada da película, descrita como “Aditivo Exclusivo” na FISPQ do produto (Anexo F). Um tubo de vidro, com água destilada, foi introduzido no espectrofotômetro (modelo UV-1800, da *Shimadzu*) para servir como padrão. Outro frasco de vidro, com a amostra a ser analisada, era submetido aos espectros de luz e comparado com o padrão. O recipiente, da mesma forma como ocorreu na cromatografia, foi preenchido com a segunda camada da película, água bruta, coletada sem o uso do produto e coletada com a utilização das camadas hidrofóbicas. Esse procedimento foi realizado no

Laboratório de Processos Oxidativos Avançados (LPOA), do Departamento de Química Analítica e Físico-Química, da UFC.

Os testes biológicos foram desenvolvidos pelo Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia, do Curso de Biologia, da UFC, com supervisão da Professora Vânia Melo. Procurou-se verificar a existência de Coliformes Totais e Coliformes de Origem Fecal em três amostras: água do poço (bruta), condensado sem o uso da película e condensado com o uso da película.

Por fim, foram realizados testes físicos e químicos nas mesmas amostras que passaram pela análise biológica. Espera-se comparar os valores encontrados com aqueles de referência de potabilidade, apresentados na Tabela 3.4. A Professora Helena Becker, do Departamento de Química Analítica e Físico-Química, da UFC, propôs-se em ajudar nesse estudo, analisando as amostras de água no Laboratório de Química Ambiental (LAQA). Também foram realizados testes na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTECH), também em seu Laboratório de Química Ambiental (LQA).

6 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados dos testes e das medições experimentais realizados. Primeiramente, um comparativo entre a produção de água do dessalinizador, para diferentes voltagens aplicadas, é apontado para mostrar que houve aumento, na coleta de condensado, com o uso da película. Em seguida, gráficos ilustrativos, do processo de operação do sistema, são expostos para justificar que o produto hidrofóbico não atuou como isolante térmico. Na penúltima seção, a qualidade do líquido produzido é discutida, por meio dos resultados dos testes biológicos, físico, químicos, cromatográficos e espectrométricos. Por fim, a condição ideal de operação do dessalinizador, ou seja, a que fornece o GOR máximo, é apresentada.

6.1 Influência da película hidrofóbica na produção de água

A fim de comparar a produção de água dessalinizada, com e sem o uso da película hidrofóbica, para constatar se houve ganho de eficiência, no processo, em função da utilização do produto, empregaram-se diferentes tensões ao equipamento: 80V, 90V, 100V, 110V, 120V, 130V, 165V e 200V. O objetivo foi estudar a dessalinização para diferentes níveis de energia utilizados para a evaporação da água, podendo-se, assim, chegar a um resultado mais conclusivo.

Dependendo da voltagem escolhida, uma corrente, obtida através da leitura do multímetro, era gerada. Assim, para cada situação, foi possível obter a potência empregada ao processo, sendo este dividido em três fases: aquecimento, regime permanente e resfriamento. Nesta fase do estudo, três temperaturas foram medidas: a do tanque de armazenamento, a do primeiro e único estágio e a temperatura ambiente.

A fase de aquecimento caracteriza-se pelo aumento da temperatura. Dependendo da ddp escolhida, observou-se um tempo diferente para se atingir o regime permanente, em que todas as temperaturas permanecem constantes. Nessa fase, o período de operação foi de 2 (duas) horas, tempo suficiente para uma coleta de dados adequada à caracterização do processo. Por fim, o fornecimento de energia elétrica é cessado, dando-se início à fase de resfriamento, em que o sistema perde calor, diminui sua temperatura e tende a voltar à condição inicial. Somando-se o tempo das duas primeiras fases e multiplicando-o pela potência calculada, encontra-se a energia total fornecida para a dessalinização.

Tendo em vista a necessidade de medir a quantidade de água no tanque de armazenamento e no estágio imediatamente superior, fez-se uso de uma balança, localizada sob o dessalinizador. Para padronizar os testes, adotou-se o volume de 10L de água para o tanque, suficiente para que a resistência ficasse coberta durante todo o processo, e 4L para o estágio, pois era a quantidade máxima comportada por ele. A balança de precisão média, instantaneamente, a massa de água total no dessalinizador, permitindo a determinação indireta da água que evaporava para o ambiente. Essa massa perdida correspondia à diferença entre as medições da balança e o volume de água coletado.

Durante toda a fase de testes, obteve-se uma média de resultados para cada voltagem aplicada. Foi visto que, independentemente do total de energia fornecida, a produção de água dessalinizada sempre foi maior quando não se utilizou a película hidrofóbica. Portanto, o produto aplicado prejudicou o processo de dessalinização da água. Na Tabela 6.1, pode-se observar as medições elétricas, a duração da fase de aquecimento e a energia total cedida.

Tabela 6.1 – Energia fornecida ao dessalinizador

Voltagem (V)	Corrente (A)	Tempo Fase de Aquecimento (s)	Potência (W)	Energia (KJ)
80	3,30	19.800	264,0	7.128,00
90	3,70	17.400	333,0	8.191,80
100	4,00	16.200	400,0	9.360,00
110	4,60	15.000	506,0	11.233,20
120	5,00	13.200	600,0	12.240,00
130	5,35	10.500	695,5	12.310,35
165	6,80	5.100	1.122,0	13.800,60
200	8,30	2.600	1.660,0	16.268,00

Fonte: Próprio autor

É preciso lembrar que, para o cálculo da energia fornecida, devem-se somar as duas horas, do tempo total de regime permanente, ou seja, 7.200s, à duração da fase de aquecimento. O tempo de resfriamento não foi levado em consideração porque não há passagem de corrente elétrica nesse período. Na Tabela 6.2, tem-se o total de água dessalinizada produzida, em cada fase, sem o uso da película, as perdas para o ambiente e a Razão de Ganho de Saída (GOR). Os mesmos parâmetros estão apresentados na Tabela 6.3, para os experimentos com o uso da película.

Tabela 6.2 – Produção de água sem o uso da película hidrofóbica

Voltagem (V)	Aquecimento (ml)	Regime Permanente (ml)	Resfriamento (ml)	Perda (ml)	GOR
80	621,15	528,40	471,20	128,25	0,83
90	841,25	670,00	370,85	243,40	0,98
100	1.188,00	1.122,80	352,30	203,90	1,71
110	1.534,50	1.362,30	234,10	191,10	1,97
120	1.846,30	1.460,70	327,50	263,45	2,51
130	1.504,40	1.684,10	128,90	152,60	2,02
165	775,90	2.552,20	178,20	340,90	2,01
200	374,20	3.168,60	142,80	372,40	1,88

Fonte: Próprio autor

Tabela 6.3 – Produção de água com o uso da película hidrofóbica

Voltagem (V)	Aquecimento (ml)	Regime Permanente (ml)	Resfriamento (ml)	Perda (ml)	GOR
80	563,83	519,55	305,78	157,84	0,61
90	701,25	742,06	257,93	226,84	0,80
100	988,86	997,84	376,51	183,71	1,35
110	1.152,14	1.269,85	407,62	199,24	1,61
120	1.589,04	1.329,01	453,13	129,40	2,10
130	1.187,50	1.523,30	386,60	297,40	1,67
165	572,32	2.297,76	277,61	337,31	1,62
200	332,22	2.942,90	174,66	349,78	1,65

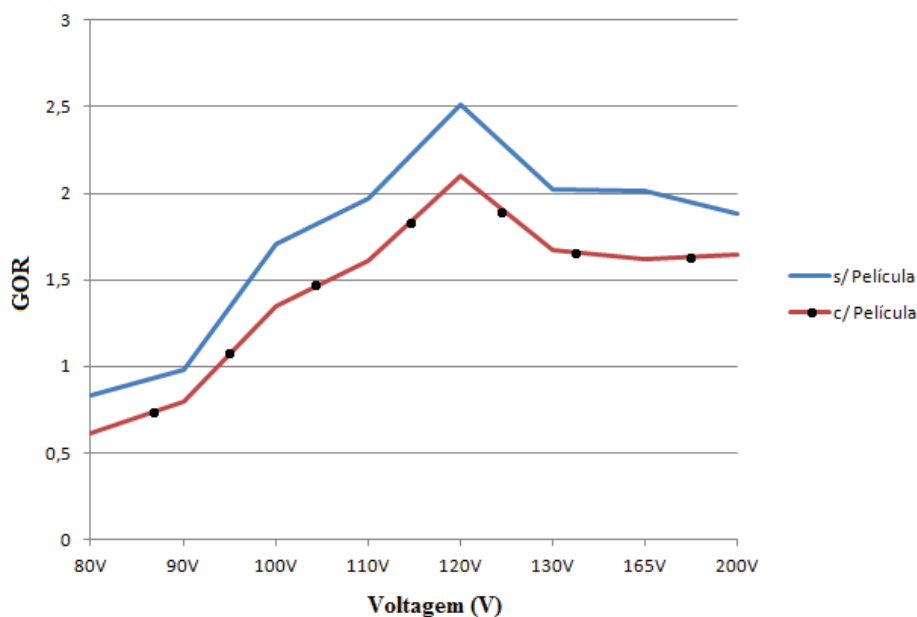
Fonte: Próprio autor

Como, para as ddps de 165 V e 200 V, a temperatura atingida, no primeiro estágio, era praticamente a mesma da que foi medida no tanque de armazenamento, ou seja, a temperatura de ebulição da água, utilizou-se um trocador de calor na badeira para promover um aumento na diferença de temperatura e, conseqüentemente, melhorar a produção de dessalinizado. O trocador favoreceu a produção, o que não foi suficiente para superar a Razão de Ganho de Saída obtida com outras ddps.

Conclui-se, portanto, que, para o dessalinizador de torre vertical em estudo, operando com uma bandeja de alumínio (ângulo de inclinação da superfície de condensação

de 10° e área de contato de $0,1435\text{m}^2$), a produção de água diminuiu com a utilização da película. O melhor resultado foi obtido com a aplicação de uma tensão constante de 120 V, o que gerou um GOR de 2,51. Na Figura 6.1, são mostrados os valores do GOR para todas as ddp's testadas.

Figura 6.1 – GOR para operação com um estágio, com e sem película hidrofóbica



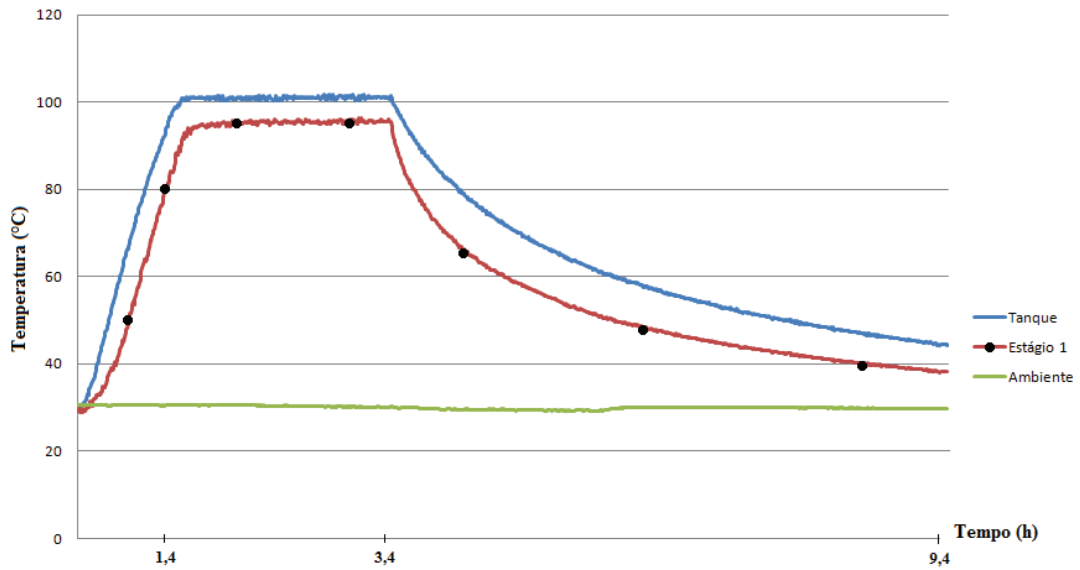
Fonte: Próprio autor

6.2 Verificação da condição de isolamento da película

Durante os testes, com e sem o uso da película, independentemente da tensão escolhida, foi possível verificar três fases do processo: aquecimento, regime permanente e resfriamento. No regime permanente, todas as temperaturas medidas no dessalinizador mantinham-se constantes, e o tempo adotado era sempre de duas horas. Nas demais fases, a duração variava, de acordo com a ddp escolhida.

A Figura 6.2 ilustra o processo de dessalinização com um único estágio, sem o uso da película e sem o trocador de calor, operando com a tensão de 165 V. O tempo da fase de aquecimento foi de 1,4h, enquanto o de resfriamento foi de 6h. As temperaturas médias no tanque e no primeiro estágio, durante a fase de regime permanente, foram de $100,96^\circ\text{C}$ e $95,13^\circ\text{C}$, respectivamente. A temperatura ambiente mantinha-se aproximadamente constante, por volta de 28°C .

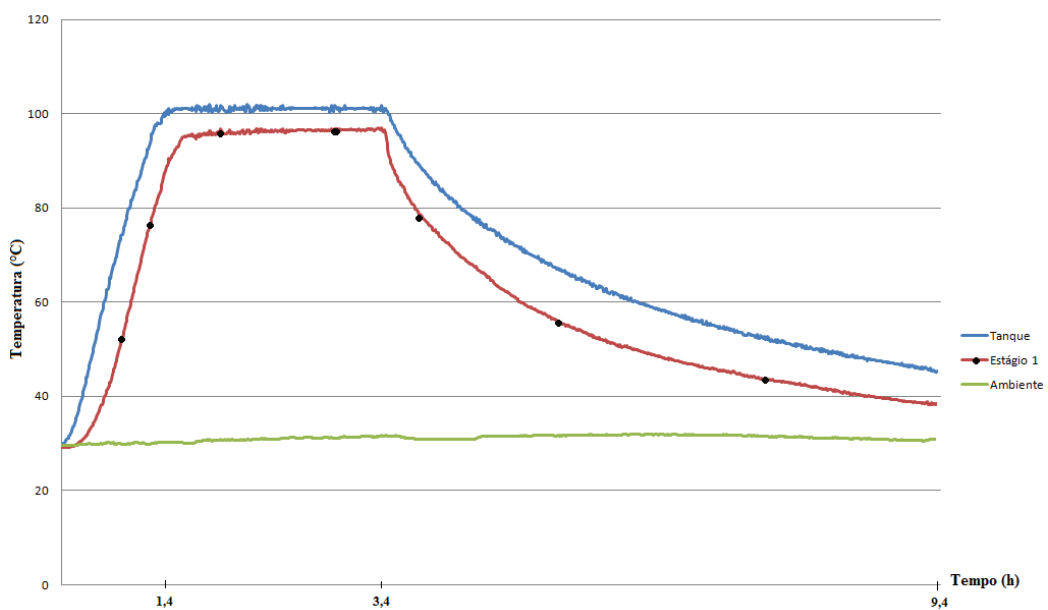
Figura 6.2 – Gráfico para operação a 165 V, sem película e sem trocador de calor



Fonte: Próprio autor

Sob as mesmas condições de operação que originaram o gráfico da Figura 6.2, exceto pelo fato da aplicação da película hidrofóbica, traçou-se o gráfico mostrado na Figura 6.3 praticamente idêntico àquele em que não foi utilizado o produto hidrofóbico. As temperaturas médias no tanque e no primeiro estágio, durante o regime permanente, foram $100,66^{\circ}\text{C}$ e $96,25^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Figura 6.3 – Gráfico para operação a 165 V, com película e sem trocador de calor



Fonte: Próprio autor

Para as demais voltagens empregadas, foi verificado que as temperaturas pouco mudaram com a aplicação da película hidrofóbica. Na Tabela 6.4, estão dispostas todas as temperaturas médias medidas, durante o regime permanente, no tanque de armazenamento e no primeiro estágio.

Tabela 6.4 – Temperaturas, no regime permanente, para operação com 1 estágio

Tensão (V) / Temperatura (°C)	Sem Película		Com Película	
	Tanque	1º Estágio	Tanque	1º Estágio
80	83,83	66,09	84,29	67,65
90	86,29	69,74	86,36	69,89
100	94,27	78,30	94,03	76,43
110	97,13	83,02	97,25	83,27
120	100,65	87,25	100,62	87,97
130	100,68	88,98	100,72	90,53
165 (s/ trocador)	100,96	95,15	100,66	96,25
165 (c/ trocador)	99,41	54,62	98,87	55,10
200 (s/ trocador)	101,06	96,52	101,20	96,29
200 (c/ trocador)	100,42	55,73	100,58	55,62

Fonte: Próprio autor

Portanto, embora não tenha havido aumento na produção de água, com o uso da película, observa-se que as temperaturas permaneceram praticamente idênticas aos valores dos processos sem película, podendo-se concluir que o produto hidrofóbico não reduziu a transferência de calor. Outros fatores, tais como a inclinação da bandeja, ou até mesmo a queda das gotículas de água antes de chegarem às calhas de coleta do estágio, podem ter influenciado na produção de condensado menor que a do processo sem uso da película.

6.3 Qualidade da água coletada

Em paralelo às medições de produção de água dessalinizada, procedeu-se à análise desta, a fim de se determinar as condições de potabilidade. Para isso, primeiramente, procedeu-se à realização de cromatografia e espectrofotometria, para se conhecer a contaminação da água pela película. Em seguida, análises físico-químicas e biológicas foram

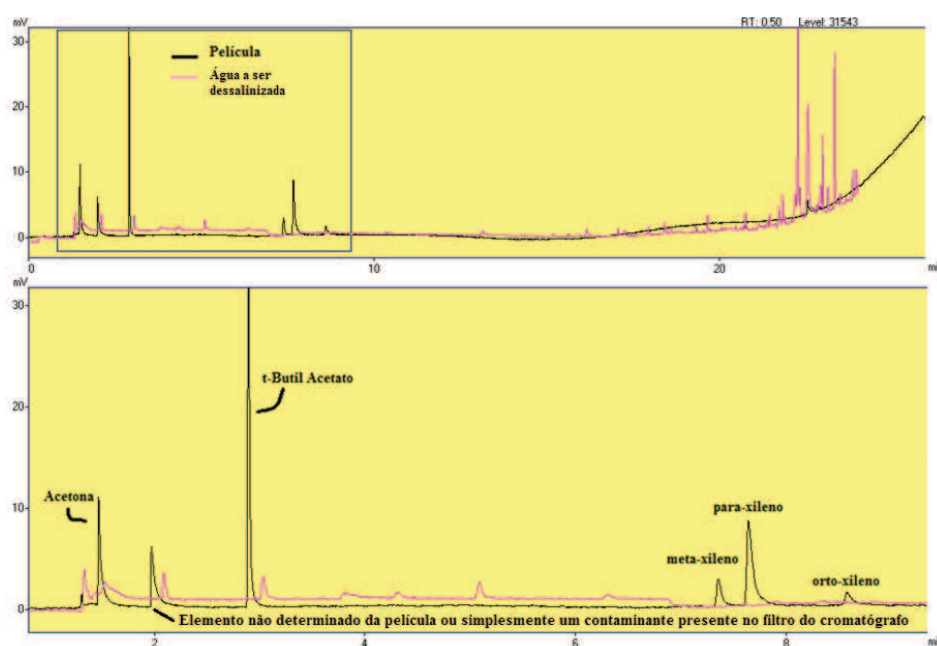
feitas visando comparar os resultados encontrados com os parâmetros da Portaria 2.914/11, do Ministério da Saúde.

Para verificar a presença de elementos voláteis, na água produzida, optou-se pela realização da cromatografia gasosa, utilizando-se o equipamento da *Shimadzu*, modelo GCMS-QP2010 Plus, disponibilizado pelo Laboratório de Cromatografia, do Curso de Química, da UFC. Como a única substância volátil, da segunda camada da película hidrofóbica, era a acetona, os testes foram feitos apenas com a primeira camada, que possuía em sua composição: acetona, t-butil acetato e xilenos.

A fim de analisar a contaminação por misturas gasosas, quatro amostras foram separadas: a película em si, a água do poço, o produto da dessalinização sem película e a água dessalinizada com película. Três gráficos foram gerados, comparando-se os picos, da primeira camada da película, com cada uma das demais. Quando dois picos se sobrepõem, significa que a mesma substância está presente nas duas unidades. O cromatógrafo fornece, ainda, para cada pico, uma série de elementos que podem estar presentes na porção estudada. Através da FISPQ do produto, já sabendo a composição dele, é possível saber qual pico está associado a cada elemento.

No gráfico da Figura 6.4, é mostrado o comparativo entre a primeira camada e a água do poço, como pode ser visualizado na Figura 6.4. A linha onde as substâncias foram identificadas representa aquela, enquanto esta é identificada pelo traçado de picos menores.

Figura 6.4 – Gráfico comparativo da primeira camada com a água do poço

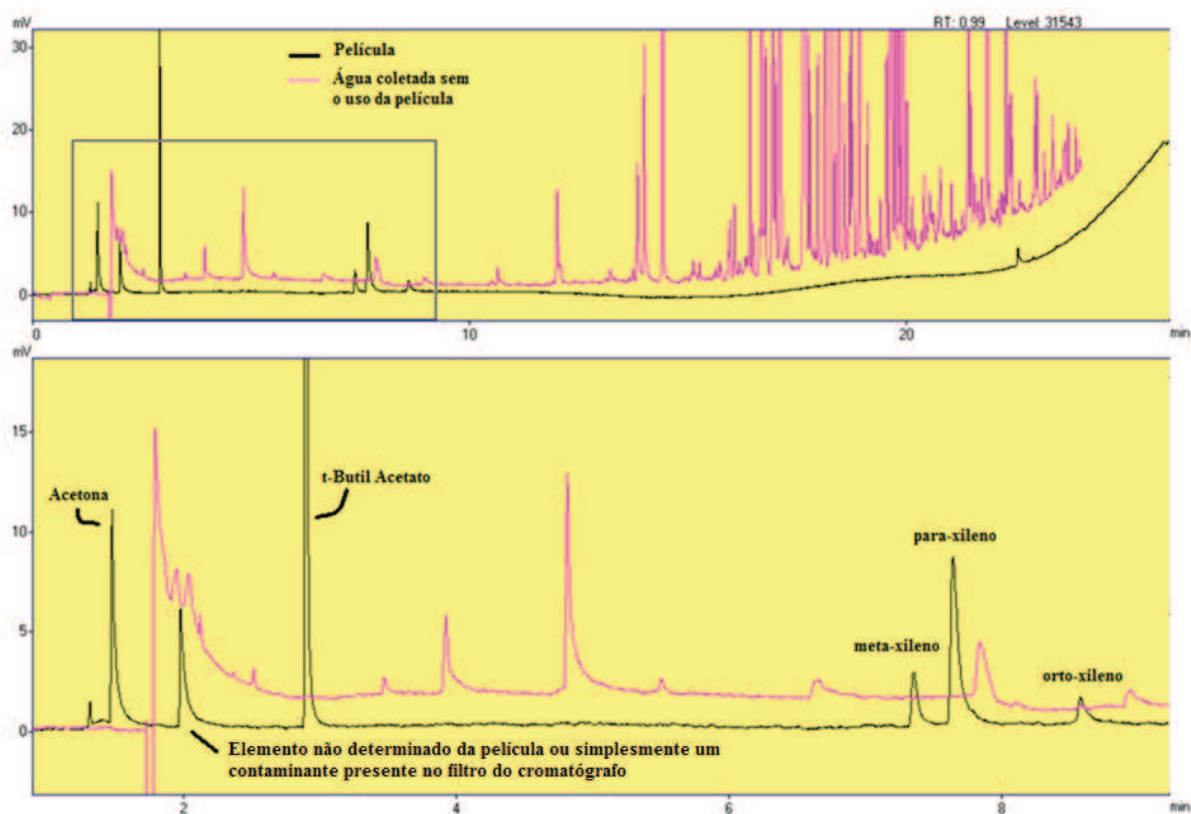


Fonte: Próprio autor

O eixo horizontal, do gráfico, representa o tempo decorrido do processo, enquanto o eixo vertical diz respeito à intensidade do pico, medida em mV. O primeiro pico encontrado, para a película, foi da acetona. Em seguida, uma substância não pôde ser identificada, podendo ser algum componente não identificado pela FISPQ ou simplesmente um contaminante presente na fibra, oriundo de análises anteriores ou elementos do ar. O terceiro e maior pico foi o do t-butil acetato, seguido por outros três: meta, para e orto xileno. Como nenhum pico da película coincidiu com o da água do poço, conclui-se que não há a presença de nenhum componente gasoso daquela nesta.

No segundo gráfico, mostrado na Figura 6.5, também não foi constatada a presença de nenhum dos componentes gasosos, da primeira camada da película, na água, dessalinizada, sem o uso do produto hidrofóbico.

Figura 6.5 – Gráfico comparativo: primeira camada e água dessalinizada sem película

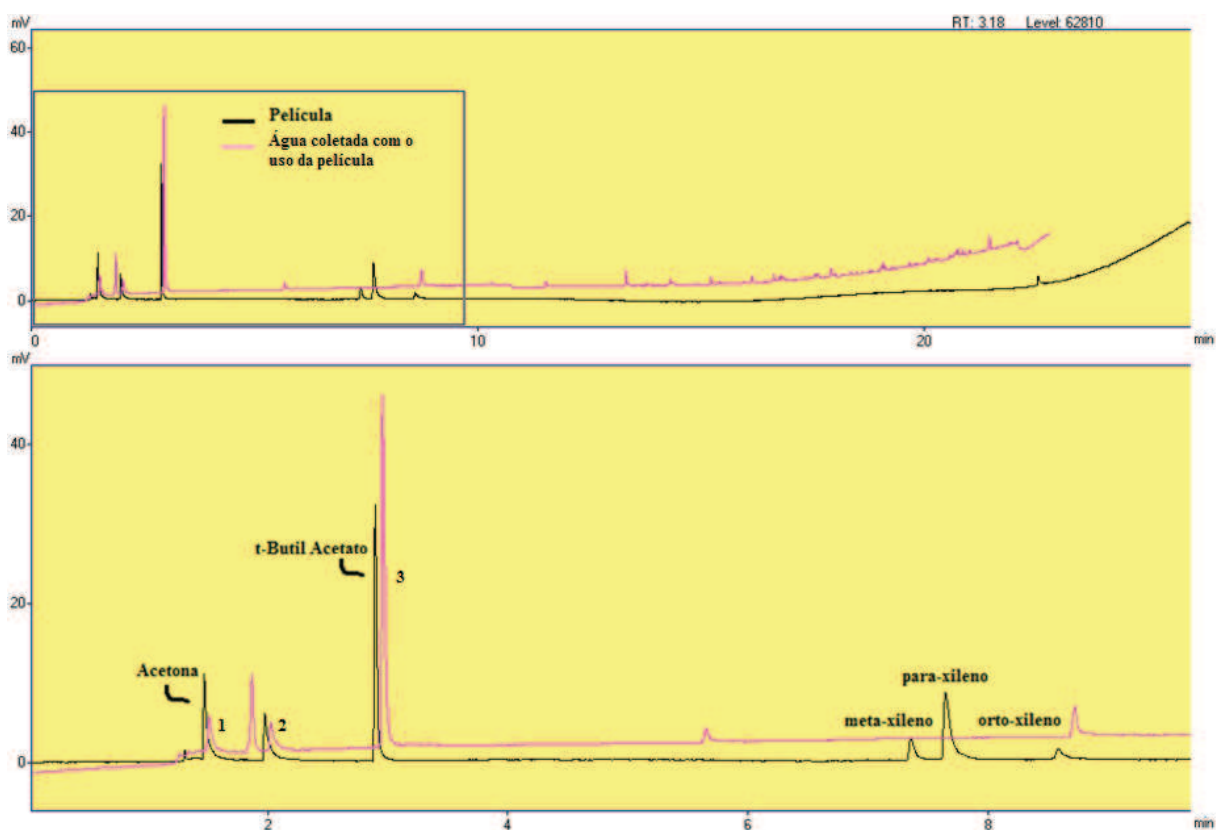


Fonte: Próprio autor

Por fim, tem-se o gráfico ilustrado na Figura 6.6, em que os picos presentes na linha da água coletada, com o uso da película, estão bem próximos aos gerados pelas substâncias gasosas que compunham primeira camada do produto. A princípio, observando o

resultado de maneira precipitada, pode-se pensar que houve a contaminação da água. Entretanto, visualizando os pontos 1, 2 e 3, do gráfico, de maneira precisa, nota-se que os picos não se sobrepõem, estando apenas próximos, lado a lado. Ademais, no ponto 3, o pico da água coletada foi superior ao da própria película, para a substância t-butil acetato, ou seja, não haveria como ambos serem referentes a um mesmo elemento, pois é impossível que a água dessalinizada tenha mais t-butil acetato do que o próprio produto hidrofóbico. Portanto, de acordo com os resultados da cromatografia gasosa, não houve contaminação do condensado pelo produto hidrofóbico.

Figura 6.6 – Gráfico comparativo: primeira camada e água dessalinizada com película



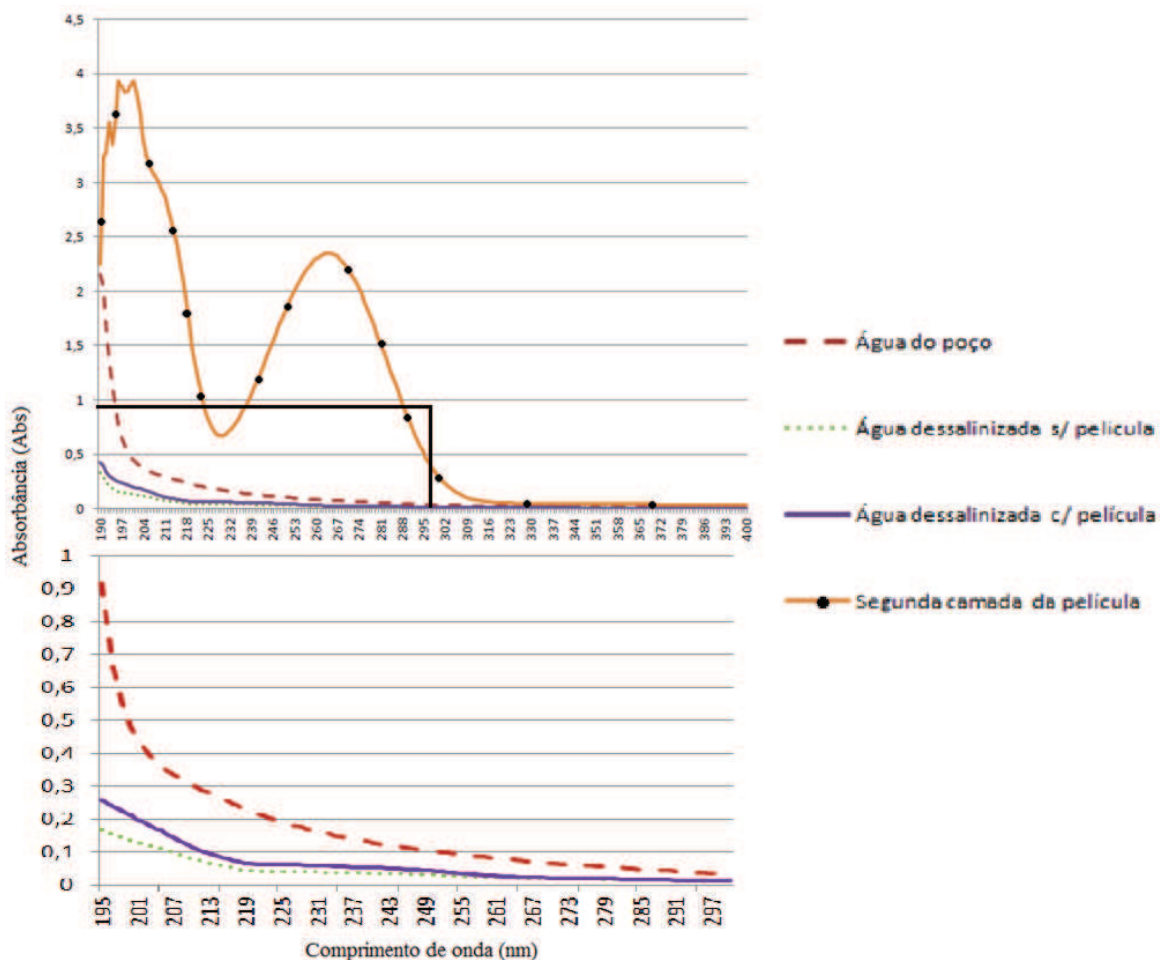
Fonte: Próprio autor

Na análise com o espectrofotômetro, as mesmas amostras utilizadas na cromatografia foram estudadas, com exceção da primeira camada da película, sendo substituída pela segunda camada. O motivo é que aquela era mais espessa do que esta, de modo que, quando foi despejada no tubo de ensaio, houve uma aderência ao vidro, tornando-o opaco à passagem de luz do equipamento, comprometendo os resultados. Assim, o objetivo, com a espectrofotometria, era saber se houve contaminação da água produzida por alguma

substância da segunda camada do produto hidrofóbico, que estivesse dentro da faixa de comprimentos de onda do espectrofotômetro utilizado (modelo UV-1800, da *Shimadzu*), que varia de 190 a 1.100 nm.

Na Figura 6.7, tem-se o gráfico gerado pela espectrofotometria. Como não ocorreu nenhum pico no intervalo de comprimentos de onda de 400 a 1.100 nm, é mostrado apenas o resultado para a faixa de 190 a 400 nm. O que se conclui, pela ilustração, é que não houve contaminação, pois as duas linhas, tanto da água dessalinizada sem película quanto da produzida com o produto hidrofóbico encontram-se abaixo daquela referente à água bruta, ou seja, do poço. Acima desta, tem-se a curva obtida com a amostra da segunda camada da película, que, inclusive, teve de ser diluída, em uma concentração de 1:100, pois a faixa fotométrica de absorvância do equipamento é de -4 a 4 Abs, e os picos para análise do produto, sem dessalinização, para comprimentos de onda aproximados de 200 e 267 nm, atingiram o valor máximo de absorvância.

Figura 6.7 – Gráfico gerado pela espectrofotometria



Fonte: Próprio autor

Com as análises físico-químicas (Anexo G), constatou-se uma redução considerável na condutividade, concentração de cloreto (Cl⁻) e total de sólidos dissolvidos, quando há uma comparação entre a água do poço e a água dessalinizada. Aquela, por sua vez, apresentou pH abaixo do limite de potabilidade, e uma quantidade de nitrato (N-NO₃⁻) acima do recomendado para água destinada a consumo humano, o que foi sanado com a dessalinização. Não houve diferença considerável para os resultados, tanto com o uso da película hidrofóbica como na ausência dela, estando ambos dentro dos padrões ideais para consumo humano, de acordo com a Portaria MS 2914/2012.

As análises biológicas das amostras estudadas mostraram resultados idênticos (Anexo G), não havendo presença de coliformes. Para volumes de 100 ml, a quantidade de Coliformes Totais e *Escherichia Coli* foi zero, garantindo a potabilidade da água nesse aspecto.

6.4 Operações multiestágios do dessalinizador

Sabendo-se que o melhor resultado obtido, para testes com 1 estágio, foi com a ddp de 120 V, correspondendo a uma energia fornecida de 12.240 KJ, procedeu-se à realização de novos testes, a fim de aumentar o valor do GOR. Para tanto, variou-se a composição da torre de dessalinização, de dois a seis estágios.

Para a operação com dois estágios, o tempo que o sistema levou para entrar em regime permanente, ou seja, o tempo da fase de aquecimento, foi de quatro horas. A energia total fornecida foi de 12.960 KJ. O COP aumentou de 1 para 2,04, enquanto o GOR passou a ser de 4,81. Todos esses valores, além da produção média, por estágio e por fase, encontram-se resumidos na Tabela 6.5. A perda de água, para o ambiente, foi de 583,3 ml.

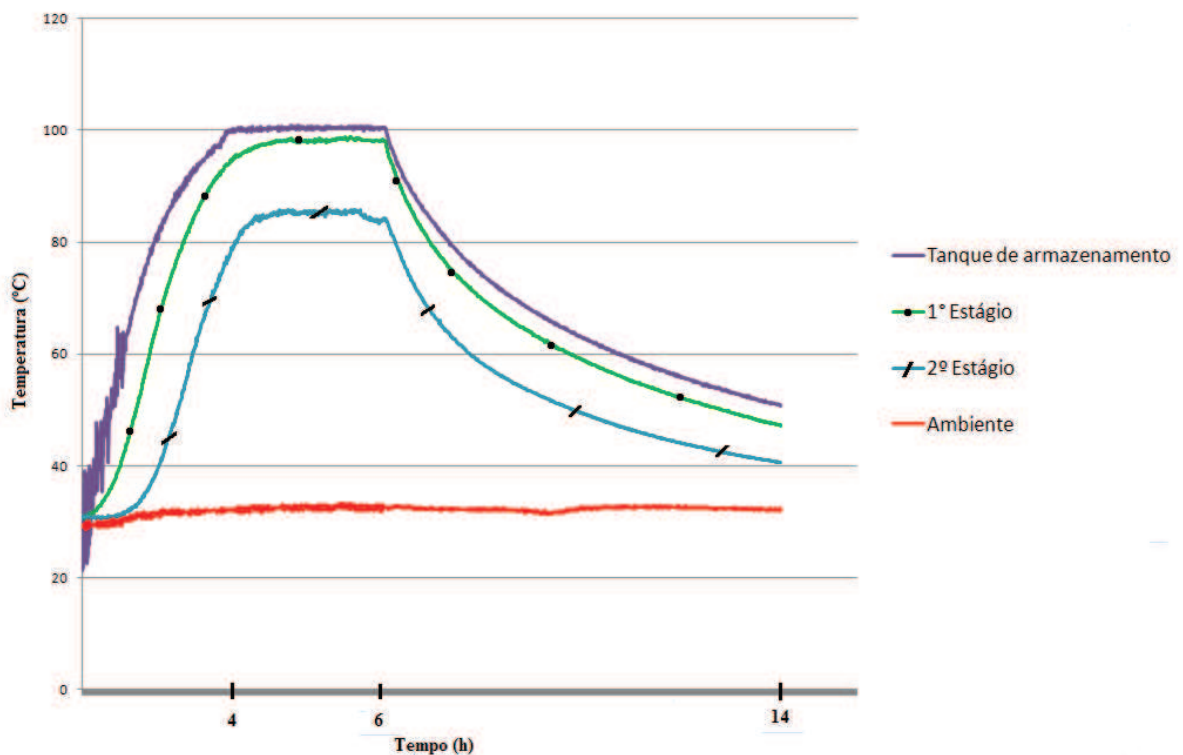
Tabela 6.5 – Produção para dois estágios na torre de dessalinização

Estágio	Aquecimento (ml)	Regime Permanente (ml)	Resfriamento (ml)
1º	1.579,30	962,70	35,10
2º	1.137,20	1.173,40	365,00
Tempo Fase de Aquecimento (s)	Energia (KJ)	COP	GOR
14.400	12.960,00	2,04	4,81

Fonte: Próprio autor

Através da medição de temperatura, traçou-se o gráfico da Figura 6.8, no qual é possível identificar as três fases do processo de dessalinização. O intervalo de tempo entre cada uma delas está disposto em seu eixo horizontal. As médias de temperatura, tanto no tanque de armazenamento quanto em cada estágio, durante o regime permanente, são mostradas na Tabela 6.6.

Figura 6.8 – Gráfico da temperatura X tempo para dois estágios



Fonte: Próprio autor

Tabela 6.6 – Médias de temperaturas, no regime permanente, para dois estágios

Ponto de medição	Temperatura média no Regime Permanente (°C)
Tanque de armazenamento	100,24
1º Estágio	98,05
2º Estágio	85,30

Fonte: Próprio autor

Com o uso de três estágios na torre, a fase de aquecimento durou 4h:45min. A energia total fornecida foi de 14.580 KJ. O COP aumentou para 2,68, e o GOR para 6,76, conforme a Tabela Tabela 6.7. O volume de água perdido foi de 791,3 ml.

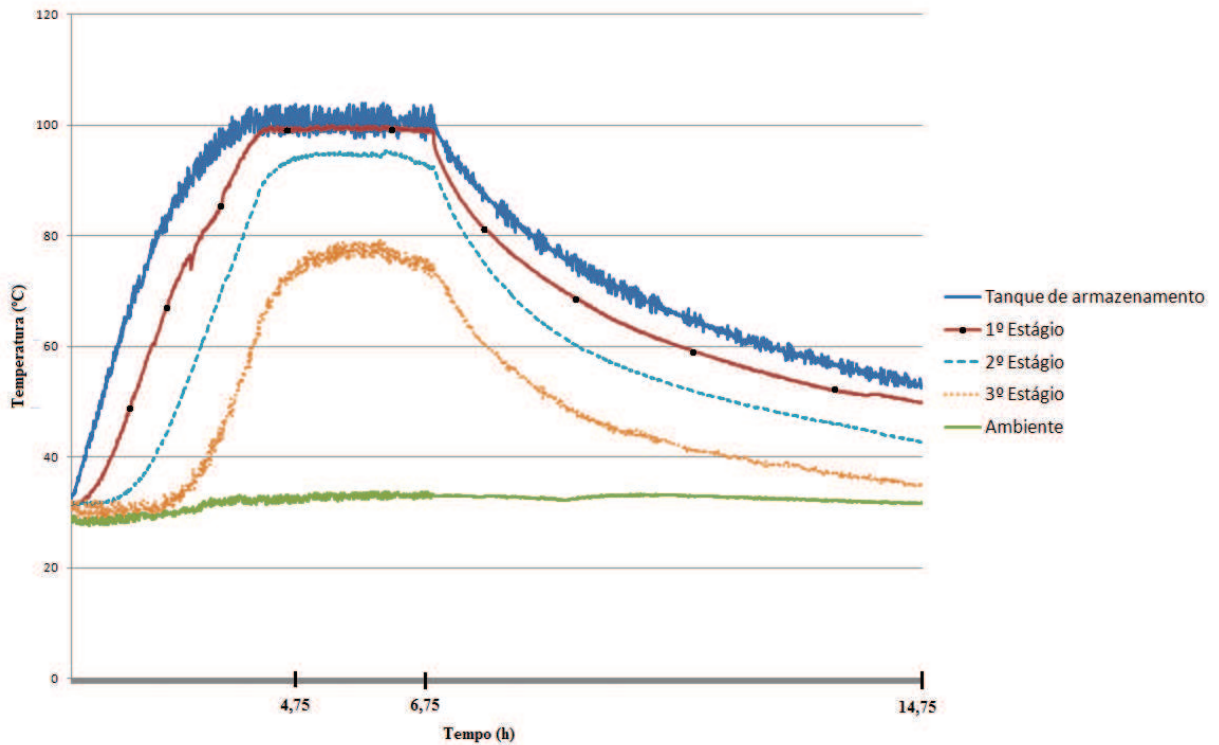
Tabela 6.7 - Produção para três estágios na torre de dessalinização

Estágio	Aquecimento (ml)	Regime Permanente (ml)	Resfriamento (ml)
1º	1.568,15	883,50	15,8
2º	956,20	940,70	216,40
3º	931,57	863,90	230,50
Tempo Fase de Aquecimento (s)	Energia (KJ)	COP	GOR
17.100	14.580,00	2,68	6,76

Fonte: Próprio autor

O gráfico gerado é um resumo das médias de temperatura, para três estágios, durante o regime permanente, encontram-se na Figura 6.9 e Tabela 6.8, respectivamente.

Figura 6.9 - Gráfico da temperatura X tempo para três estágios



Fonte: Próprio autor

Tabela 6.8 – Médias de temperaturas, no regime permanente, para três estágios

Ponto de medição	Temperatura média no Regime Permanente (°C)
Tanque de armazenamento	100,32
1º Estágio	99,32
2º Estágio	94,61
3º Estágio	76,60

Fonte: Próprio autor

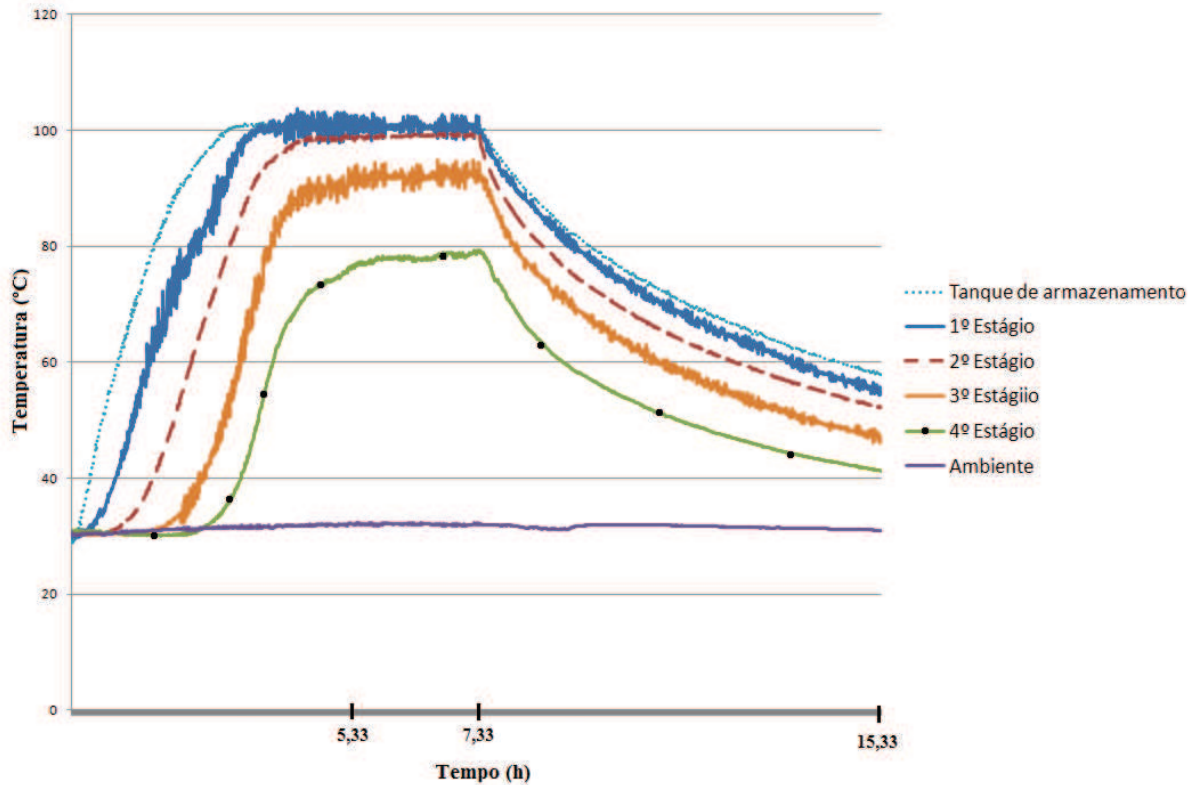
Com a adição do quarto estágio à torre, a fase de aquecimento estendeu-se ainda mais, passando para 5h:20min. A energia total fornecida foi de 15.840 KJ. O COP e o GOR calculados foram de 3,08 e 7,69, respectivamente. Esses valores, assim como a média da produção total, encontram-se dispostos na Tabela 6.9. O volume de água perdido foi de 873,2 ml. O gráfico da temperatura X tempo está ilustrado na Figura 6.10, enquanto as temperaturas médias, durante o regime permanente, estão disponíveis na Tabela 6.10.

Tabela 6.9 - Produção para quatro estágios na torre de dessalinização

Estágio	Aquecimento (ml)	Regime Permanente (ml)	Resfriamento (ml)
1º	1.515,90	833,40	38,9
2º	880,80	840,60	69,6
3º	898,60	843,50	185,60
4º	336,80	624,00	276,60
Tempo Fase de Aquecimento (s)			
19.200	Energia (KJ)	COP	GOR
	15.840,00	3,08	7,69

Fonte: Próprio autor

Figura 6.10 - Gráfico da temperatura X tempo para quatro estágios



Fonte: Próprio autor

Tabela 6.10 – Médias de temperaturas, no regime permanente, para quatro estágios

Ponto de medição	Temperatura média no Regime Permanente (°C)
Tanque de armazenamento	100,94
1º Estágio	100,62
2º Estágio	98,89
3º Estágio	91,45
4º Estágio	78,03

Fonte: Próprio autor

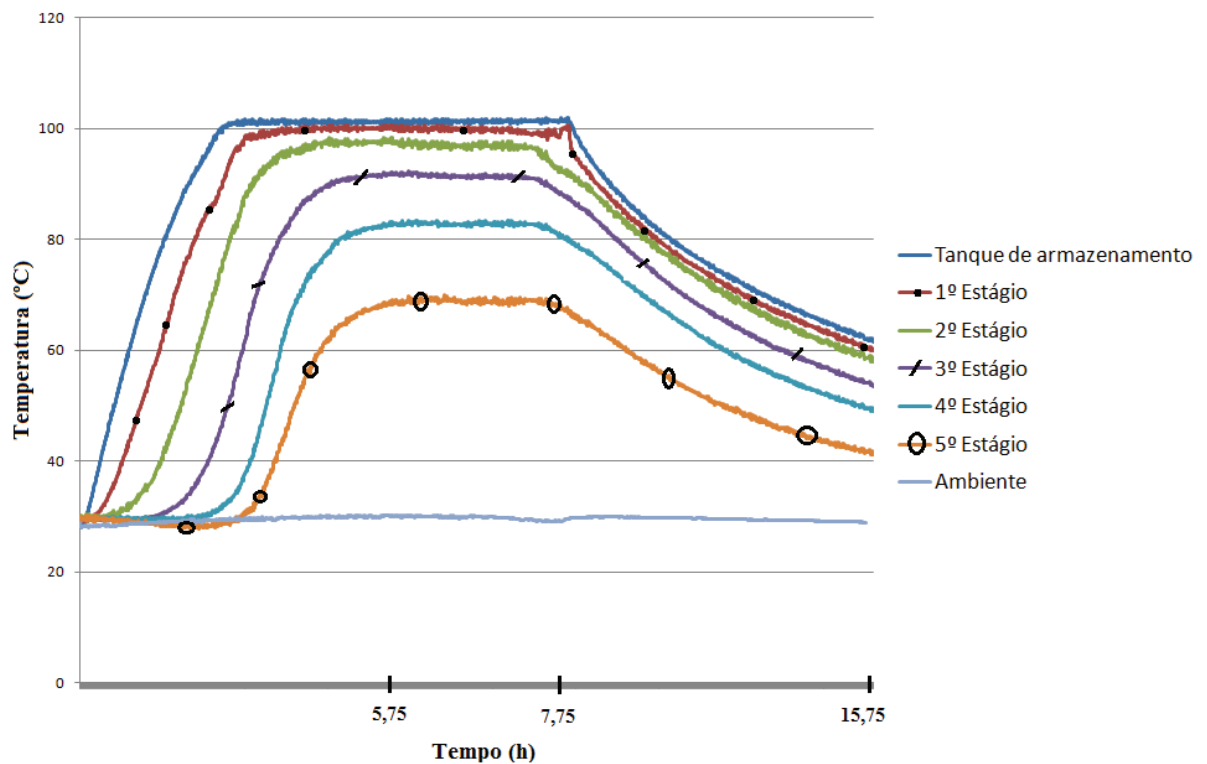
Com cinco estágios, a fase de aquecimento durou 5h:45min. A energia total fornecida foi de 16.740 KJ. O COP e o GOR calculados foram de 3,17 e 7,92, respectivamente. O volume de água perdido foi de 916,4 ml. Esses valores, assim como a média da produção total, estão apresentados na Tabela 6.11. O gráfico da temperatura X tempo é mostrado na Figura 6.11, enquanto as temperaturas médias, durante o regime permanente, estão disponíveis na Tabela 6.10.

Tabela 6.11 - Produção para cinco estágios na torre de dessalinização

Estágio	Aquecimento (ml)	Regime Permanente (ml)	Resfriamento (ml)
1°	1.565,80	838,40	11,30
2°	839,40	801,30	14,00
3°	936,90	768,90	153,80
4°	366,30	591,30	236,50
5°	174,30	196,20	172,00
Tempo Fase de Aquecimento (s)	Energia (KJ)	COP	GOR
20.700	16.740,00	3,17	7,92

Fonte: Próprio autor

Figura 6.11 - Gráfico da temperatura X tempo para cinco estágios



Fonte: Próprio autor

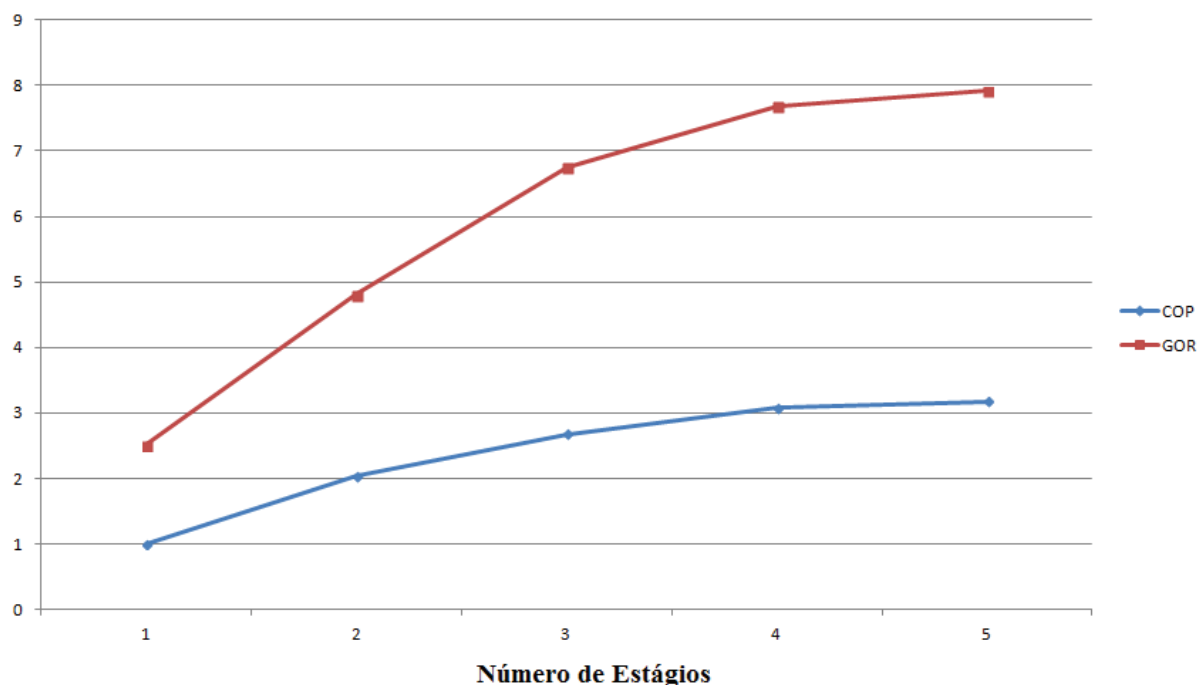
Tabela 6.12 – Médias de temperaturas, no regime permanente, para cinco estágios

Ponto de medição	Temperatura média no Regime Permanente (°C)
Tanque de armazenamento	101,23
1º Estágio	99,83
2º Estágio	97,21
3º Estágio	91,45
4º Estágio	82,79
5º Estágio	68,93

Fonte: Próprio autor

No gráfico da Figura 6.12, são mostrados os valores dos parâmetros COP e GOR para a torre de dessalinização com 1 a 5 estágios. Observa-se que ocorre um aumento significativo dos valores nos estágios iniciais (1,2 e 3), porém, a partir do quarto estágio, os parâmetros operacionais passam a incrementar lentamente, chegando praticamente a se estabilizarem com cinco estágios na torre.

Figura 6.12 – COP e GOR para torre de 1 a 5 estágios



Fonte: Próprio autor

Como não houve produção de condensado no sexto estágio, ao ser adicionado à torre, conclui-se que o número apropriado de estágios é cinco, conforme ilustrado pelo gráfico

da Figura 6.12. Utilizando os valores de temperatura da Tabela 6.12, foi possível calcular os coeficientes globais de transferência de calor entre o tanque de armazenamento e o primeiro estágio e entre estágios sucessivos (Equação B.8), durante o regime permanente, conforme apresentados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 – Coeficientes globais de transferência de calor para o regime permanente

Superfícies	Produção (Kg)	Variação de Temperatura (K)	K [W/m².K]
Tanque – 1º Estágio	0,84	1,4	2,44
1º Estágio – 2º Estágio	0,80	2,62	1,24
2º Estágio – 3º Estágio	0,77	5,76	0,54
3º Estágio – 4º Estágio	0,60	8,66	0,28
4º Estágio – 5º Estágio	0,20	13,86	0,06

Fonte: Próprio autor

6 CONCLUSÕES

Foram realizados testes de um a seis estágios, entretanto só houve coleta de água até a quinta bandeja. O dessalinizador elétrico utilizado neste estudo apresentou como condições ótimas de operação os seguintes parâmetros: ddp de 120V; cinco estágios na torre de dessalinização; potência de 600W empregada ao sistema. Os parâmetros máximos de desempenho foram de 3,17 para o COP e 7,92 para o GOR.

A película hidrofóbica não contribuiu para o aumento da produção de condensado, objetivo almejado com sua aplicação. Sua influência, como pode ser visto na Figura 6.1, foi, inclusive, de redução da água dessalinizada. Entretanto, é importante ressaltar a melhora considerável da eficiência do dessalinizador à medida que o número de estágios foi aumentando, independentemente da aplicação da nano película.

De acordo com os testes para determinação da potabilidade da água, pode-se concluir que não houve contaminação do condensado pela película hidrofóbica. Além disso, o dessalinizador atuou de forma a tornar alguns parâmetros da água do poço, como concentração de Nitrato e pH, aceitáveis para o consumo humano (Anexo G).

Como sugestões de trabalhos futuros, pode-se repetir o estudo, desenvolvido neste trabalho, com outro produto hidrofóbico, de fabricação nacional e economicamente mais viável, caso esteja disponível no mercado. Também é possível continuar aplicando o *Ultra Ever Dry*, porém sob condições controladas, variando-se a inclinação das bandejas para determinar sua influência na produção de água dessalinizada.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. D. B. **Sistema de captação de energia solar para uma nova torre de dessalinização térmica com recuperação de calor.** 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFC, Fortaleza.
- AMORIN, M. C. C.; PORTO, E. R.; MATOS, A. N. B.; SILVA, D. F. **Diagnóstico de sistemas de dessalinização de água salobra subterrânea em municípios do Estado da Paraíba – Brasil.** XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. SÃO PAULO/SP. 2004.
- BADRAN, O. O. **Experimental study of the enhancement parameters on a single slope solar still productivity.** *Desalination*, v. 209, p. 136-146, 2007.
- BECKMAN, W. A.; DUFFIE, J. A.; KLEIN, S. A. **Solar Heating Design.** 1ª edição. New York, Chichester, Brisbane, Toronto. John Wiley & Sons, 1977.
- BRASIL. **Portaria nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- BRUGGEN, B. V. **Desalination by distillation and by reverse osmosis – trends towards the future.** *Membrane Technology*, v. 2003 (2), p. 6-9, 2003.
- CARVALHO, P. C. M.; PONTES, R. T.; OLIVEIRA JR, D. S. **Estudo estatístico de radiação solar visando o projeto de unidades de dessalinização acionados por painéis fotovoltaicos sem bateria.** V Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas/SP. 2004.
- CAVALCANTI, Clóvis. **A seca do Nordeste brasileiro: uma visão de estudos e pesquisas elaborados em um século de produção de conhecimento.** *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v.19, p. 97-126, jan./mar. 1988.
- COSTA, I. S. DA. **Novos protótipos de dois dessalinizadores térmicos para operação no fogão solar com aquecimento indireto.** 2013. 75 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – UFC, Fortaleza.
- COSTA, I. S. DA; ARAÚJO, M. E.; SILVA, M. E. V.; MENDONÇA, O. A.; PINHEIRO, F. N. **Determinação numérica e experimental da eficiência de um circuito de sifão térmico de aquecimento solar.** CONEM, VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. São Luiz, Maranhão. 2012.
- COUTINHO, L. D. E. **Protótipo experimental de um dessalinizador solar com recuperação de calor.** 2003. 90 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – UFC, Fortaleza.
- DEGANI, A. L. G.; CASS, Q. B.; VIEIRA, P. C. **Cromatografia: um breve ensaio.** *Química Nova na Escola*, nº 7, p. 21-25, maio, 1998.

DELYANNIS, E. **Historic background of desalination and renewable energies**. Solar Energy, vol. 75, p. 357-366, 2003.

EATON, A. D.; CLESCER, L. S.; GREENBERG, A. E. **Standard methods for examination of water and wastewater**. American Public Health Association. 19 ed. Washington: p. 2-47, 1995.

FORMOSO, S. C. **Sistema de tratamento de água salobra: alternativa de combate à escassez hídrica no semiárido sergipano**. 2010. 117 f. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFS, São Cristovão.

GUSSOW, M. **Eletricidade básica**. 2ª edição. São Paulo. Pearson Makron Books, 1997.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. DE. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

INCROPERA, F. P. e DEWITT, D. P. **Fundamentos da transferência de calor e massa**. 5ª edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 2003.

JUCÁ, S. C. S. **Obtenção de água potável utilizando eletrodialise solar**. Vértices, v. 7, n. 1/3, jan/dez. 2005.

KALOGIROU, S. **Survey of solar desalination system and system selection**. Energy, v. 22 (1), p. 69-81, 1997.

KHAWAJIA, A. D.; KUTUBKHANHA, I. K.; WIEB, J. M. **Advances in seawater desalination Technologies**. Desalination, v. 221, p. 47-69, 2008.

LIMA, C. A. **Dessalinizador solar térmico com recuperação de calor – análise térmica e resultados experimentais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Saneamento Ambiental, UFC. 2000.

LIMA, J. V. **Viabilidade técnica de um sistema de dessalinização autônomo, sem bateria, acionado por energias renováveis**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica, março, 2006.

LION, C. A. P. Q. **Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFRN, Natal.

LIU, ZHEN-HUA; GUAN, HONG-YANG; WANG, GUO-SHAN. **Performance optimization study on an integrated solar desalination system with multi-stage evaporation/heat recovery processes**. Energy, v. 76, p. 1001-1010, 2014.

MANDANI, F.; ETTOUNEY, H.; EL-DESSOUKY, H. **LiBr H₂O absorption heat pump for single-effect evaporation desalination process**. Desalination, v. 128, p. 161-176, 2000.

MARINHO, F. J. L.; ROCHA, E. N. DA; SOUTO, E. A.; CRUZ, M. P.; TAVARES, A. C.; SANTOS, S. A. DOS; MARCOVICZ, F. **Destilador solar destinado a fornecer água**

potável para as famílias de agricultores de base familiar. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 7, n. 3, p. 53-60, 2012.

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

MASHALY, A. F.; ALAZBA, A. A.; AL-AWAADH, A. M.; MATTAR, M.A. **area determination of solar desalination system for irrigating crops in greenhouses using different quality feed water.** Agricultural Water Management, v. 154, p. 1-10, 2015.

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

MILLER, J. E. **Review of water resources and desalination technologies.** SAND 2003-0800. Albuquerque, 2003. 52 p.

OPHIR, A.; LOKIEE, F. **Advanced MED process for most economical sea water desalination.** Desalination, v. 182 (1-3), p. 187-198, 2005.

PINHEIRO, F. N. **Desenvolvimento de um novo protótipo de dessalinizador térmico com recuperação de calor acionado por fonte de calor controlada de energia térmica.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFC, Fortaleza.

PINHEIRO, J. V. G. **Estudo experimental de um dessalinizador solar acionado por circuito de óleo térmico.** 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFC, Fortaleza.

QUEIROZ, William Fernandes de. **Construção de um fogão solar à concentração para cozimento direto e indireto.** 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFRN, Natal.

RAMOS, Ricardo Eugênio Barbosa. **Análise de desempenho de um fogão solar construído a partir de sucatas de antena de TV.** 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UFRN, Natal.

RODRIGUES, A. P. **Estudo experimental de um dessalinizador térmico com aquecimento controlado.** 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFC, Fortaleza.

RODRIGUES, F. P. **Desempenho de uma torre de recuperação de calor com canais sintéticos de poliuretano para um dessalinizador solar térmico.** 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFC, Fortaleza.

SCHWARZER, K.; VIEIRA, M. E.; FABER, C.; MÜLLER, C. **Solar thermal desalination system with heat recovery.** Desalination, v. 137, p 23-29, 2001.

SEMIAT, R. **Desalination: presente and future.** Water International, v. 25 (1), p. 54-65, 2000.

SOUZA, L. F. **Análise térmica de um dessalinizador de múltiplo efeito para obtenção de água potável.** 2002. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UFPB, Paraíba.

SOUZA, L. F. **Dessalinização como fonte alternativa de água potável.** Norte Científico, v. 1, n. 1, 2006.

SPIEGLER, K. S. **Salt-water purification.** 3 ed. John Wiley & Sons Inc., Haifa. Israel, 1965.

SPIEGLER, K. S.; LAIRD, A. D. K. **Principles of desalination, part A and part b.** Michigan Technological University. University of California, 2 ed. Academic Press Inc., 1980.

UNESCO. **Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978.** Unesco tech. Pap. mar. Sci., (37): 1-144, 1981.

ZHAO, C. Y.; TIAN, Y. **A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications.** Applied Energy, Shanghai, v. 104, p. 538-553, 2013.

WEBSITES

ANA (2015) – **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**

Disponível em www.conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014_inf.pdf Acessado em abril de 2015.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Alterado pela Resolução CONAMA 397/2008. Disponível em www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf Acessado em maio de 2015.

ISA (2008) – **Almanaque Brasil Socioambiental 2008**

Disponível em [www.socioambiental.org/pt-br/o-isa/publicacoes/almanaque – Brasil - socioambiental - 2008](http://www.socioambiental.org/pt-br/o-isa/publicacoes/almanaque-Brasil-socioambiental-2008) Acessado em abril de 2015.

MINOLTA, K. (2014) – **Konica Minolta**

Disponível em <http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/espectrofotometria-de-absorcao-versus-espectrofotometria-com-faixa-ultravioleta-visivel/> Acessado em agosto de 2015.

ONU (2015) – Organização das Nações Unidas

Disponível em www.nacoesunidas.org/quase-750-milhoes-de-pessoas-ainda-nao-tem-acesso-a-agua-potavel-adequada-alerta-unicef/ Acessado em abril de 2015.

SCOTT, R. P. W. (2003) - Principles and practice of chromatography

Disponível em <http://faculty.ksu.edu.sa/Dr.almajed/Books/practical%20HPLC.pdf> Acessado em abril de 2015.

SIDEM (2015) – Sidem Desalination

Disponível em <www.sidem-desalination.com/en/process/MSF>. Acesso em abril de 2015.

SPLABOR (2013) – Equipamentos para Laboratórios

Disponível em www.splabor.com.br/blog/tag/espectrofotometro Acessado em agosto de 2015.

ULTRA EVER DRY (2013) – Ultimate Waterproofing Industrial Coating

Disponível em www.ultraeverdrystore.com/ Acessado em junho de 2015.

UNEP (2009) – United Nations Environment Programme

Disponível em www.unep.or.jp/.../techrub-8d/desalination.asp Acessado em abril de 2015.

UNESCO (2004) – Water for people – water for life – the United Nations world water development report

Disponível em www.unesco.org/water/wwap/wwdr/ex_summary/ Acessado em abril de 2015.

ANEXO A – MÉTODO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA PARA CÁLCULO DA SALINIDADE DA ÁGUA

Grande parte das substâncias inorgânicas dissolvidas na água possui cargas elétricas, positivas (cátions) ou negativas (ânions), que transmitem corrente elétrica no momento em que eletrodos, submetidos a uma diferença de potencial, são mergulhados na solução. Quanto maior for a quantidade de íons presentes, maior será a condutividade, e menor será a resistência.

O método da condutividade elétrica, para cálculo da salinidade, possui uma precisão de $\pm 0,5\%$. A salinidade pode ser obtida em função da razão da condutividade da amostra, R_T , da temperatura e das constantes, disponíveis na Tabela A.1.

De acordo com a Escala Prática de Salinidade (UNESCO, 1981), a salinidade de uma amostra de água pode ser calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$S = a_0 + a_1 \cdot R_T^{1/2} + a_2 \cdot R_T + a_3 \cdot R_T^{3/2} + a_4 \cdot R_T^2 + a_5 \cdot R_T^{5/2} + \Delta S \quad (\text{A.1})$$

em que ΔS é dado por:

$$\Delta S = \left[\frac{T-15}{1+0,0162 \cdot (T-15)} \right] (b_0 + b_1 \cdot R_T^{1/2} + b_2 \cdot R_T + b_3 \cdot R_T^{3/2} + b_4 \cdot R_T^2 + b_5 \cdot R_T^{5/2}) \quad (\text{A.2})$$

sendo as constantes:

Tabela A.1 – Constantes para cálculo da salinidade (método da condutividade elétrica)

a_0	0,0080	b_0	0,0005
a_1	-0,1692	b_1	-0,0056
a_2	25,3851	b_2	-0,0066
a_3	14,0941	b_3	-0,0375
a_4	-7,0261	b_4	0,0636
a_5	2,7081	b_5	-0,0144

e a razão da condutividade expressa por:

$$R_T = C_{rz} \cdot R_{pa} \quad (\text{A.3})$$

na qual C_{rz} é a relação entre a condutividade medida, da amostra de água (C), e a condutividade padrão da água do mar (C_{pam}), a 15°C:

$$C_{rz} = C / C_{pam} \quad (A.4)$$

e R_{pa} é a razão da condutividade padrão:

$$R_{pa} = R_{15} \cdot R_{T-c} \quad (A.5)$$

sendo R_{15} o valor da razão entre a condutividade da água do mar, relativa à água com uma salinidade de 35 ppt ou 35 ups (unidade prática de salinidade), a 15°C, certificado pelo Instituto dos Serviços Oceanográficos de Warmley, Godalming, Surrey, Inglaterra, por $R_{15} = 0.9985$. A razão da condutividade corrigida pela temperatura, R_{T-c} , é calculada pela seguinte expressão:

$$R_{T-c} = 0,99622 + 0,00604 \cdot e^{-(T/32,45547)} \quad (A.6)$$

em que T é a temperatura da amostra, medida em [°C].

ANEXO B – CONCEITOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE MASSA

Este anexo apresenta os fundamentos teóricos dos processos de transferência de calor por condução, convecção e radiação, além dos processos de transferência de massa e calor por evaporação e condensação. Os conceitos aqui expostos foram retirados de INCROPERA (2003).

B1. Transferência de calor por condução

O processo de condução ocorre quando o calor flui de uma região de maior temperatura para outra de menor temperatura, através de um meio sólido, líquido ou gasoso, ou até mesmo entre meios diferentes que estejam em contato físico. Quando moléculas vizinhas se chocam, há uma transferência de energia de moléculas mais energéticas para as menos energéticas. Enquanto houver desequilíbrio térmico entre os meios ou em um mesmo meio, a condução poderá ocorrer.

Quando a diferença de temperatura for mantida através da adição ou remoção de calor em regiões diferentes, haverá uma transferência contínua de calor do ponto mais quente para o ponto mais frio, sendo esse processo conhecido por “regime permanente”. Para as situações em que as condições de contorno são alteradas, ou seja, quando os problemas de transferência de calor são dependentes do tempo, tem-se os regimes “não estacionários” ou “transientes”.

A quantificação da transferência de calor por condução é feita através da equação conhecida como “Lei de Fourier”. Ela estabelece que a taxa de calor transferido é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura entre duas regiões, a área da seção perpendicular à transferência de calor e à condutividade térmica (K), expressa por:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -K.A.\frac{dT}{dx} \quad (\text{B.1})$$

na qual \dot{Q}_{cond} é a taxa de transferência de calor por condução, K é o coeficiente de transferência de calor por condução, A é a área da seção por onde flui o calor e dT/dx é o gradiente de temperatura na direção do fluxo de x .

B2. Transferência de calor por convecção

Na convecção, a transferência de calor ocorre pela superposição do transporte de energia pelo movimento aleatório das moléculas (difusão) com o transporte devido ao movimento macroscópico da mistura (advecção). Grande parte do processo de convecção acontece com a transferência de calor entre uma superfície sólida e um fluido (gás ou líquido).

Na convecção forçada, o movimento relativo entre o fluido e a superfície é mantido por meios externos, tais como ventilador ou bomba. Já na convecção natural, esse movimento relativo se dá pelas forças de flutuação devidas aos gradientes de temperatura no fluido.

Quando uma superfície está a uma temperatura acima do fluido que a envolve, ocorre transferência de calor, por condução, da região mais quente (superfície) para a mais fria (fluido). Com isso, a energia interna do fluido eleva-se, aumentando também a temperatura devido à maior agitação molecular. Assim, as partículas movem-se, sob ação da gravidade, para regiões de menor temperatura do fluido, misturando-se e transferindo energia para as demais partículas, o que caracteriza a convecção.

A taxa de transmissão de calor entre uma superfície e um fluido (\dot{Q}_{conv}) pode ser expressa da seguinte forma:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{B.2})$$

na qual h_{conv} é o coeficiente de transferência de calor por convecção, A é a área de transferência de calor e ΔT é a diferença entre a temperatura de uma superfície e a temperatura do fluido.

B3. Radiação térmica

A radiação térmica é a energia liberada por um corpo com temperatura acima de zero Kelvin, ou zero absoluto. Essa energia da radiação térmica é transportada por ondas eletromagnéticas (fótons). A radiação ocorre tanto em superfícies sólidas como em líquidos e gases. Enquanto a condução e a convecção carecem de um meio material para se propagar, a radiação pode-se propagar no vácuo.

Um corpo que absorve ou emite o máximo possível de radiação, em todos os comprimentos de onda e em todas as direções, é denominado “corpo negro”. A taxa de radiação emitida por um corpo é diretamente proporcional à quarta potência da temperatura absoluta do mesmo. A expressão para a taxa de emissão de radiação térmica, conhecida como “Lei de Stefan-Boltzmann”, é dada por:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (\text{B.3})$$

na qual \dot{Q}_{rad} é a taxa de transferência de calor por radiação, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$), A é a área da superfície e T é a temperatura do corpo, em escala absoluta.

Para um corpo real, a taxa de radiação térmica é inferior à de um corpo negro e é expressa por:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (\text{B.4})$$

Na qual ε é a emissividade da superfície real.

B4. Evaporação

A evaporação é processo em que uma substância líquida passa para o estado gasoso. Tal fato ocorre devido à diferença de pressão entre a camada superficial do fluido e sua pressão na corrente livre. As moléculas do líquido, vizinhas à superfície, sofrem colisões que aumentam sua energia interna, ultrapassando a energia de ligação na superfície. A energia que mantém a evaporação advém do líquido que não evapora e tem sua temperatura reduzida. Para as condições de regime permanente, a energia latente perdida pelo líquido, durante a evaporação, é compensada pela energia transferida, ao líquido, pelas vizinhanças. A taxa de transferência de calor pode ser expressa por:

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = h_{\text{evap}} \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{B.5})$$

na qual h_{evap} é o coeficiente de transferência de calor por evaporação, A é a área de transferência de calor e ΔT é a diferença de temperatura entre a superfície e a corrente livre. Essa diferença de temperatura corresponde à discrepância entre a pressão de saturação do fluido, na superfície, e a pressão parcial do fluido na corrente livre.

B5. Condensação

A condensação é o processo que ocorre quando um vapor, saturado ou superaquecido, entra em contato com uma superfície a uma temperatura inferior à sua temperatura de saturação. A energia latente do vapor é liberada, enquanto o calor transfere-se para a superfície, formando o condensado. A taxa de transferência de calor, por condensação, é expressa por:

$$\dot{Q}_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{B.6})$$

em que h_c é o coeficiente de transferência de calor por condensação, A é a área de transferência de calor e ΔT é a diferença entre a temperatura de vapor, saturado ou superaquecido, e a temperatura da superfície.

A vazão mássica transferida no processo de evaporação-condensação, entre duas superfícies, é dada por:

$$\dot{m} = \frac{h_{evap} \cdot A \cdot \Delta T}{h_{fg}} \quad (\text{B.7})$$

em que h_{fg} é o calor latente de vaporização.

B6. Coeficiente global de transferência de calor

O coeficiente K representa os processos de transferência de calor por evaporação, radiação e convecção entre duas superfícies. A importância dele, para um processo de operação com um dessalinizador multiestágios, está na determinação da quantidade de condensado produzido a partir das temperaturas do tanque e das bandejas. Ele pode ser calculado através da seguinte equação:

$$K = \frac{m \cdot h_{gf}}{A \cdot \Delta T \cdot \Delta t} \quad (\text{B.8})$$

em que m é a massa de condensado produzido e Δt é o tempo decorrido durante o processo.

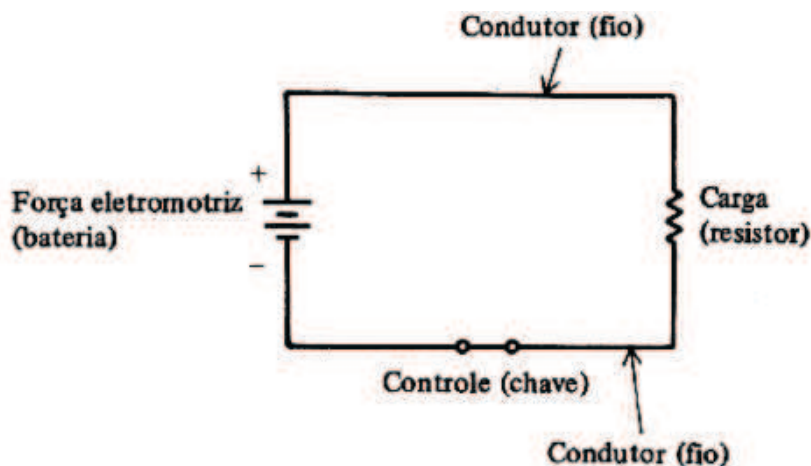
ANEXO C – AQUECIMENTO ELÉTRICO

Nesse tópico, a fundamentação teórica para se determinar a potência de um circuito elétrico é apresentada. Todos os conceitos mostrados foram retirados do livro “Eletricidade Básica”, de Gussow (1997).

C1. Circuito elétrico

O circuito elétrico, ilustrado pela Figura B.1, é composto de quatro partes: uma fonte de força eletromotriz (fem); condutores; uma carga; instrumentos de controle. Geralmente, as fontes utilizadas são as baterias e os geradores. Os condutores são fios, de baixa resistência, que conduzem corrente elétrica. O resistor de carga consiste em um dispositivo que utiliza corrente elétrica, como, por exemplo, uma lâmpada, um aquecedor ou simplesmente um rádio. Os dispositivos de controle podem ser chaves, disjuntores, relés ou fusíveis.

Figura C.1 – Circuito elétrico



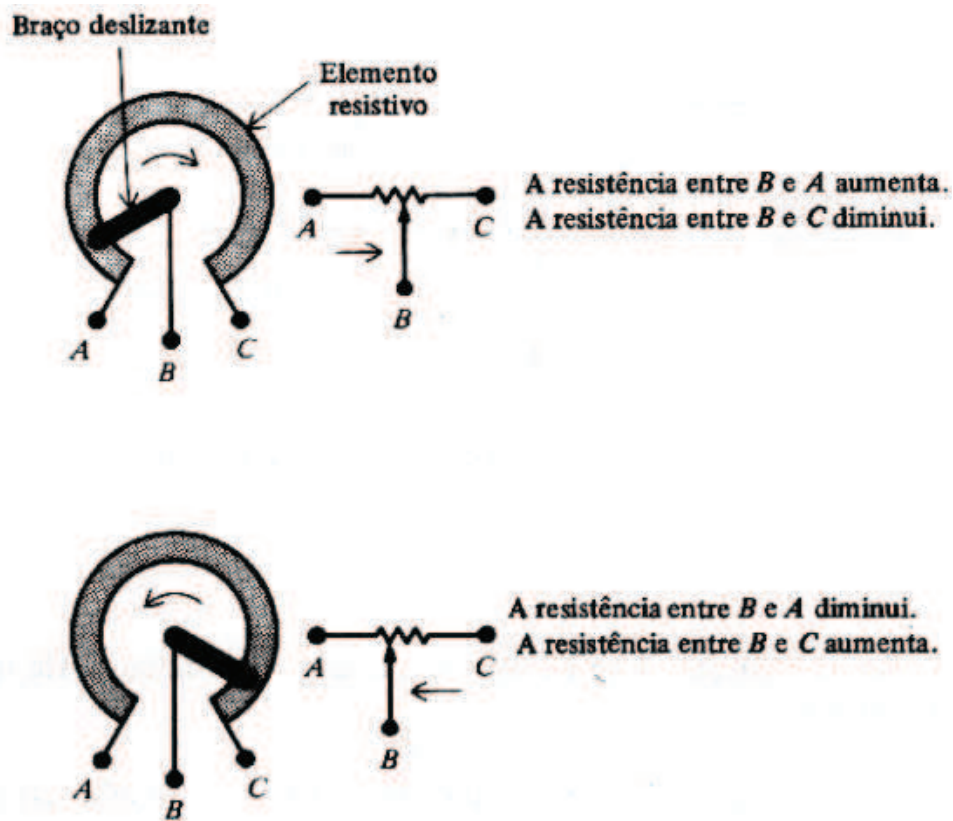
C2. Resistência

A resistência consiste na oposição ao fluxo de corrente e é medida em ohms, sendo representada, nas equações, pelo símbolo R . O ohm é uma quantidade de resistência que limita a corrente, em um condutor, a um ampère, quando a tensão aplicada é de um volt. São utilizados componentes elétricos, conhecidos como resistores, para se aumentar a resistência de um circuito.

Resistores fixos são aqueles que possuem um único valor de resistência, permanecendo constante sob condições normais. Os principais tipos de resistores fixos são os de carbono e os de fio enrolado.

Os resistores variáveis são usados quando se deseja variar a resistência de um circuito. Eles são conhecidos como potenciômetros ou reostatos. Os potenciômetros, normalmente, apresentam o elemento resistivo formado por carbono, enquanto, nos reostatos, é o fio enrolado que está presente. Em ambos os casos, o contato com o elemento resistivo fixo é feito por meio de um braço deslizante, como pode ser visto na Figura B.2. À proporção que o braço deslizante gira, seu ponto de contato com o elemento resistivo se altera, variando, dessa maneira, a resistência entre os terminais da resistência fixa e o terminal do braço deslizante.

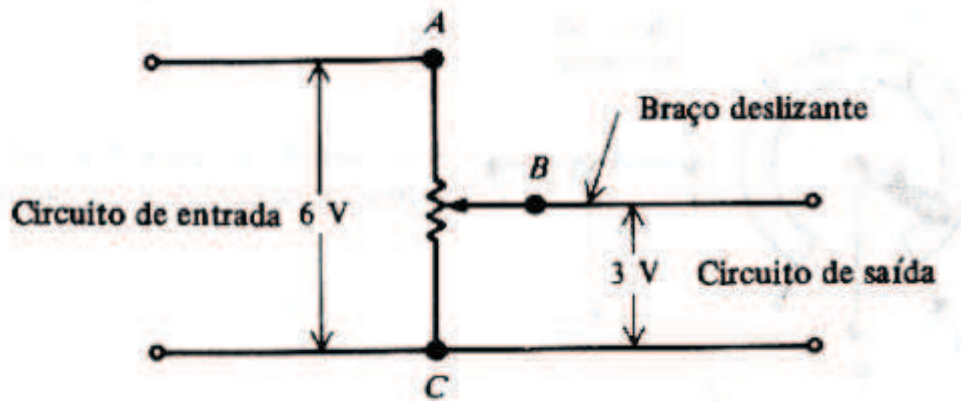
Figura C.2 – Resistor variável



Enquanto os reostatos são, geralmente, utilizados para controlar correntes muito altas, os potenciômetros podem ser usados para variar o valor da tensão aplicada a um circuito. Na Figura B.3, uma tensão de entrada é aplicada entre os terminais AC, de resistência fixa. Variando-se a posição do braço deslizante (terminal B), a tensão de saída,

entre os terminais BC, muda de valor. Aproximando o braço do ponto A, a tensão de saída aumenta, enquanto um decréscimo é obtido quando ele move-se no sentido do terminal C.

Figura C.3 – Mudança da tensão de saída com um potenciômetro



C3. Lei de Ohm e potência

A lei de Ohm define a relação entre tensão, resistência e corrente. Segundo ela, a tensão (V) aplicada a um circuito é igual ao produto da corrente (I) pela resistência (R) do circuito:

$$V = R \times I \quad (C.1)$$

A potência elétrica (P) é igual à corrente I multiplicada pela tensão V, em determinada parte do circuito. A equação para o cálculo da potência é:

$$P = V \times I \quad (C.2)$$

Caso a tensão V não seja conhecida, é possível determinar a potência utilizando-se a Lei de Ohm, sendo necessárias apenas a corrente e a resistência:

$$P = (IR) \times I = I^2 \times R \quad (C.3)$$

ANEXO D – VAZÃO MÁSSICA EM CIRCUITOS DE TERMOSSIFÃO

Existem, basicamente, dois modos de escoamento de um fluido em coletores solares de placa plana: forçado e natural. A circulação forçada é promovida através da utilização de bombas, que necessitam de uma fonte de energia externa para serem acionadas. Na circulação natural, conhecida como termossifão, o fluido escoar através da diferença de densidade, que se dá pela incidência solar nos coletores planos.

Para o cálculo do GOR, a vazão mássica do fluido precisa ser determinada, pois ela é um dos parâmetros que influenciam a energia útil fornecida pelos coletores solares. Os procedimentos numéricos, aqui descritos, foram desenvolvidos por Costa et al (2012).

Na circulação natural, considerando-se um circuito fechado, a força de empuxo é equilibrada pelas perdas por fricção, ou seja:

$$(\Delta P)_{\text{Empuxo}} = (\Delta P)_{\text{Fricção}} \quad (\text{D.1})$$

em que $(\Delta P)_{\text{Empuxo}}$ é a diferença de pressão entre as fontes quente e fria do circuito, e $(\Delta P)_{\text{Fricção}}$ é a variação de pressão devido às forças de fricção, contrárias ao escoamento.

Como não há, num circuito de termossifão, a presença de bombas ou outras máquinas de fluxo, o escoamento pode ser considerado laminar. Com as expressões do coeficiente de fricção e do número de Reynolds, as perdas por fricção, $(\Delta P)_{\text{Fricção}}$, podem ser representadas por:

$$(\Delta P)_F = \frac{128 \cdot \dot{m} \cdot \mu \cdot \Delta X_F}{\pi \cdot \rho \cdot D^4} \quad (\text{D.2})$$

na qual μ é a viscosidade dinâmica, ΔX_F é o comprimento do percurso do fluido no trocador de calor, ρ é a densidade do fluido e D é o diâmetro do tubo.

Em função das diferentes temperaturas e densidades no circuito, existe um diferencial de pressão, que pode ser calculado da seguinte forma:

$$(\Delta P)_E = (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot \Delta X_g \quad (\text{D.3})$$

sendo ρ_2 a densidade do fluido na entrada do coletor, ρ_1 a densidade do fluido na saída do coletor, g a aceleração da gravidade e ΔX_g a diferença de altura entre a entrada e a saída do coletor.

Igualando-se as Equações C2 e C3, obtém-se a expressão da vazão mássica de circulação, para escoamento laminar em baixas velocidades, para termossifões:

$$\dot{m} = \frac{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot \Delta X_g \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot D^4}{128 \cdot \mu_m \cdot \Delta X_F} \quad (D.4)$$

na qual ρ_m é a densidade média do fluido e μ_m é a viscosidade dinâmica média do fluido.

ANEXO E – APLICAÇÃO DA NANOPELÍCULA

A aplicação consiste na pulverização do produto, em etapas seguidas por intervalos de cura, na superfície que se deseja tratar. As duas camadas da película devem ser borrifadas separadamente, ou seja, não pode haver a mistura das camadas superior e inferior.

Como sugestões iniciais, devem-se considerar as seguintes considerações do fabricante:

- a) Não misture nem dilua os produtos;
- b) Após o uso, o que restar do produto pode ser devolvido a embalagem original;
- c) O recipiente com a tarja PRETA é a PRIMEIRA camada, ou "Bottom Coat";
- d) O recipiente de tarja VERMELHA é a SEGUNDA camada, ou "Top Coat";
- e) O Ultra-Ever Dry precisa ser PULVERIZADO. Não use pincel, rolo, pano, e não mergulhe itens dentro do produto;
- f) O solvente mais indicado para limpeza das pistolas e equipamentos é o Xyleno/Xylol. Caso não seja encontrado este produto em sua região, deve-se utilizar um solvente orgânico;
- g) A primeira camada é a responsável pela aderência do produto na superfície (seja ela qual for), assim como pela resistência e durabilidade da aplicação;
- h) A segunda camada é a responsável pela super-hidrofobicidade, camada esta causadora da superfície fosca e esbranquiçada.

Quanto ao tipo de pistola e à forma de utilização da mesma, sugere-se:

- a) Utilizar, preferencialmente, duas pistolas, uma para cada camada. Os produtos não devem ser misturados antes ou durante aplicação (dentro da pistola);
- b) Caso seja utilizada somente uma pistola, ela deve ser bem limpa com solvente orgânico (preferencialmente Xyleno/Xylol) e um pano, após a aplicação da primeira camada;
- c) Qualquer pistola de pintura/pulverização pode ser utilizada para aplicar Ultra-Ever Dry. Pistolas de melhor qualidade terão melhores resultados;
- d) É preferível o uso de pistolas com regulagem de leque do jato;

- e) O bico da pistola pode ser entre 1.0mm e 1.8mm. O tamanho do bico não influencia diretamente no resultado da aplicação. Bicos maiores são indicados para líquidos mais espessos. No caso do Ultra-Ever Dry, a camada inferior (bottom coat) é um pouco mais espessa que a camada superior (top coat), mas o mesmo tamanho do bico da pistola pode ser utilizado para as duas camadas.

Antes de começar a pulverizar a película, é preciso preparar a superfície onde o produto será depositado, a fim de garantir uma melhor aderência. Assim, a região inferior, das bandejas de alumínio, deve receber o seguinte tratamento:

- a) A superfície precisa estar limpa, seca, livre de partículas soltas e especialmente óleos;
- b) Recomenda-se ACETONA para limpeza da superfície e retirada de óleo, mas podem ser usados solventes comuns, álcool (não em gel), benzina, etc. Não deve ser usado querosene para limpeza ou qualquer líquido à base de óleo;
- c) A superfície pode ser levemente lixada, pois lixá-la ajudará na aderência do produto. Indica-se o uso de folhas abrasivas (similar à parte verde da esponja de cozinha);
- d) Caso haja ferrugem na superfície, a mesma pode ser lixada (melhorando o resultado), mas o Ultra- Ever Dry pode ser aplicado sobre uma superfície já agredida por ferrugem.

Por fim, após a escolha da(s) pistola(s) e tratamento da superfície de aplicação, deve-se seguir esta metodologia para pulverização da película:

- a) Agite **MUITO BEM** os produtos! Especialmente a primeira camada (BOTTOM COAT), que deve ser agitada por 3 a 5 minutos. Agitação por menos de 3 minutos deixará resíduos de resina no fundo do recipiente;
- b) Agite a segunda camada de 30 segundos a 1 minuto. A agitação da segunda camada pode gerar uma espuma espessa que pode ser devolvida para o recipiente original ou descartada após a aplicação. Ela não afetará o processo de aplicação ou os resultados;

- c) Não aplique em excesso. Basta uma fina camada do produto sobre a superfície. Se escorrer ou empoçar, foi aplicado demais;
- d) Use a mesma técnica para aplicar as duas camadas, finas passadas em cada demão, cada passada transpassando em, aproximadamente, 30% a passada anterior;
- e) Para melhor eficácia e durabilidade do produto, aplique a camada inferior com um único e fino passe da pistola sobre a superfície, espere secar. Repita a aplicação 2 vezes. Depois faça o mesmo com a 2ª camada, aplicando DUAS demãos. Isto lhe dará os melhores resultados;
- f) A pressão do compressor deve ficar entre 2 e 3 BAR (ou seja, entre 25 e 40 psi);
- g) Espere pelo menos 30 minutos após aplicar a primeira camada, entre cada demão e antes de aplicar a segunda camada;
- h) Espere 8 horas após aplicação da segunda camada, antes de colocar a superfície a teste. (pode-se utilizar pistola de calor para acelerar a cura/secagem, mantendo uma distância mínima de 40 cm ao usar a pistola).
- i) Limpe muito bem os equipamentos após o uso. Use xileno/xylol ou solventes orgânicos para melhores resultados;
- j) SEMPRE use os EPI's corretos - Luvas nitrílicas, máscara p/ gases orgânicos, óculos de proteção.

ANEXO F – FISPQ DA NANOPELÍCULA

Este anexo contém as informações relativas à nanopelícula utilizada nesse estudo e está dividido em duas partes: revestimento base e revestimento superior. Todas as informações apresentadas aqui foram fornecidas pela empresa “Faytec International”.

F1. Revestimento Base

SEÇÃO 1. IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA

1.1. Identificador do produto:

Identificação na etiqueta / Nome comercial: Revestimento Base ou Revestimento Inferior Ultra-Ever Dry SE;

CAS (Serviço de Resumos Químicos): consultar seção 3;

EC (Comissão de Enzimas): consultar seção 3.

1.2. Usos relevantes identificados da substância e contraindicações aconselhadas:

1.2.1. Usos identificados:

Revestimento para vários substratos que apresentam características súper-hidrofóbicas.

1.2.2. Contraindicações:

Não disponível.

SEÇÃO 2. IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

2.1. Efeitos adversos mais importantes

2.1.1. Efeitos físico-químicos adversos mais importantes:

Não disponível.

2.1.2. Efeitos adversos principais à saúde humana:

Pode provocar sonolência ou tontura.

2.1.3. Efeitos adversos ambientais mais importantes

Não disponível.

2.2. Perigos e precauções

Declaração de Perigo:

Líquido e vapor altamente inflamáveis;

Causa irritação à pele;

Provoca irritação ocular grave;

Pode provocar sonolência ou tontura;

Pode formar mistura vapor-ar explosiva/ inflamável durante o uso.

Declaração de Precaução:

Manter longe do calor/ faíscas/ chamas abertas/ superfícies quentes;

Não fumar;

Manter o recipiente bem fechado;

Usar equipamento elétrico/ ventilação/ iluminação à prova de explosão;

Usar somente ferramentas que não produzam faíscas;

Tomar medidas contra descarga estática;

Usar luvas de proteção/ proteção para os olhos/ proteção para a face;

Lavar bem as mãos após o manuseio;

Se atingir a pele (ou o cabelo): Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado;

Lavar a pele com água/ chuveiro;

Em caso de incêndio: Usar espuma para extinguir;

Se ocorrer irritação da pele: Obter consulta/ atenção médica;

Retirar a roupa contaminada e lavá-la antes de reutilizar;

Se atingir os olhos: Lavar cuidadosamente com água durante vários minutos. Remover lentes de contato, se presentes e for fácil de fazer. Continuar a lavagem. Caso a irritação ocular persistir: Obter consulta/ atenção médica;

Armazenar em local bem ventilado. Mantenha-se fresco;

Eliminar o conteúdo/ recipiente de acordo com a regulamentação local.

SEÇÃO 3. COMPOSIÇÃO DA MISTURA (Tabela F.1)

Tabela F.1 – Composição do revestimento base

Nome da Substância	Nº CAS	Nº EC	% por peso	Nº REACH	Classificação
Xilenos	1330-20-7	215-535-7	36%	N/A	H226, H315
t-Butil Acetato	540-88-5	208-760-7	36%	N/A	H225
Acetona	67-64-1	200-662-2	11%	N/A	H225, H319, EUH066
Polímero Exclusivo	-	-	16%	N/A	N/A
Aditivos Exclusivos	-	-	1%	N/A	N/A

SEÇÃO 4. PRIMEIROS SOCORROS

4.1. Descrição das medidas de primeiros socorros:

4.1.1. Em caso de inalação:

Se tosse, falta de ar ou outros problemas respiratórios ocorrerem, mover para o ar fresco. Procurar ajuda médica. Se necessário, retomar a respiração através de medidas padrão de primeiros socorros.

4.1.2. Em caso de contato com a pele:

Lavar bem com água e sabão. Procurar atendimento médico se ocorrer vermelhidão, coceira ou queimadura.

4.1.3. Em caso de contato com os olhos:

Lavar os olhos imediatamente com grande quantidade de água por 15 minutos. Procurar ajuda médica.

4.1.4. Em caso de ingestão:

Não induzir vômito. Procurar imediatamente um médico.

4.2. Sintomas e efeitos mais importantes, tanto agudos quanto retardados

O produto não é classificado como prejudicial para a saúde humana.

4.3. Indicações sobre cuidados médicos urgentes e tratamentos especiais necessários

Contatar imediatamente um CENTRO CONTRA VENENOS ou doutor/ médico.

SEÇÃO 5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

5.1. Meios de extinção:

Meios adequados de extinção: Dióxido de Carbono, Produto Químico Seco, Espuma;

Agentes de extinção inadequados: Água em jato, dado que poderia não resfriar o produto abaixo do seu ponto de inflamação.

5.2. Perigos especiais decorrentes da substância ou mistura

Não aplicável.

5.3. Conselhos para os bombeiros:

Devem ser usados equipamentos de proteção completos, incluindo aparelho de respiração auto-contido.

SEÇÃO 6. MEDIDAS EM CASO DE DESCARGA ACIDENTAL

6.1. Precauções ambientais:

Não permitir que entre no sistema de esgotos.

6.2. Métodos de confinamento e limpeza:

Derrames devem ser coletados por meio de um absorvente inerte. Remover todas as fontes de ignição. Ventilar a área.

SEÇÃO 7. MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

7.1. Precauções para manuseio seguro:

7.1.1. Medidas de proteção:

Manter longe do calor, faíscas ou chamas. Ventilar a área durante o uso e até que todos os vapores tenham saído.

7.1.2. Conselhos gerais sobre higiene ocupacional:

Não comer, beber ou fumar durante a utilização deste produto. Lavar bem as mãos após o manuseio. Remover roupas e equipamentos de proteção contaminados antes de entrar em áreas de alimentação.

7.2. Condições para armazenamento seguro, incluindo eventuais incompatibilidades:

Manter em recipientes fechados quando não estiverem em uso.

SEÇÃO 8. CONTROLE A EXPOSIÇÃO/ PROTEÇÃO PESSOAL

8.1. Parâmetros de controle:

8.1.1. Limites de exposição ocupacional: Não disponível.

8.1.2. Limites de exposição adicional sob as condições de uso: Não disponível.

8.2. Controles de Exposição

8.2.1. Controles adequados de engenharia:

Deve ser suficiente para reduzir a exposição abaixo das normas de trabalho para acetona estabelecidas pelos regulamentos nacionais ao nível mais baixo possível.

8.2.2. Medidas de proteção individual, como equipamento de proteção individual:

Proteção dos olhos/ face: Devem ser usados óculos de proteção de tipo química, óculos de segurança com proteção contra respingos, ou protetores faciais adequados;

Proteção das mãos: A exposição repetida pode causar irritação e/ou sensibilização na pele. Usar luvas impermeáveis. Por exemplo, PVC, nitrilo. Manusear de acordo com práticas sensatas de higiene e segurança;

Proteção do corpo: Roupas de proteção adequadas e proteção para os olhos devem estar em conformidade com as normas e regulamentos nacionais ou regionais;

Proteção respiratória: Deve ser usada ventilação e proteção respiratória. Além dos controles de engenharia e práticas de trabalho seguro, podem ser necessários equipamentos de proteção individual. Equipamentos de proteção pessoal respiratória adequados para este material podem variar de (1) um cartucho de meia máscara reutilizável com filtro de cartucho de

solvente orgânico e filtro de partículas (P100), a (2) um sistema de suprimento de ar, dependendo do escopo do trabalho.

8.2.3. Controle da exposição ambiental:

Evitar a descarga para o meio ambiente.

SEÇÃO 9. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

9.1. Informações sobre propriedades físicas e químicas básicas

Aparência:	Líquido transparente com partículas finas suspensas
Cor:	Não aplicável
Odor:	Odor doce.
Limiar de odor:	Não há dados disponíveis
pH:	Não determinado.
Ponto de fusão/ intervalo:	Não aplicável
Ponto de ebulição/ intervalo(°C) :	140-180 °F
Ponto de inflamação (°C):	10 °F
Taxa de evaporação:	Não há dados disponíveis
Inflamabilidade (sólido, gás):	Não há dados disponíveis
Temperatura de ignição (°C) :	Não há dados disponíveis
Limites Sup./inf. de inflamabilidade/ explosivo:	Não há dados disponíveis
Pressão do vapor (20°C) :	Não há dados disponíveis
Densidade do vapor:	Mais pesado que o ar
Densidade relativa (20°C):	Não há dados disponíveis
Solubilidade em água (g/l) a 20°C:	Parcialmente solúvel.
n-Octanol/Água (log Po/w):	Não há dados disponíveis
Temperatura de auto-ignição:	Não há dados disponíveis
Temperatura de decomposição:	Não há dados disponíveis
Viscosidade, dinâmica (20 °C):	Não há dados disponíveis

9.2. Perigos físicos:

Líquido e vapor altamente inflamáveis.

9.3. Outras informações:

Solubilidade em gordura	Não disponível.
Densidade Aparente:	Não disponível.
Constante de dissociação em água (pKa):	Não disponível.
Potencial de oxidação-redução:	Não disponível.
Gravidade específica:	0,84
Conteúdo Volátil:	83%

SEÇÃO 10. ESTABILIDADE E CONFIABILIDADE

10.1. Reatividade:

Estável sob condições recomendadas de transporte ou de armazenamento.

10.2. Estabilidade química:

Estável sob temperaturas e pressões normais.

10.3. Possibilidade de reações perigosas:

Não se conhecem reações perigosas.

10.4. Condições a evitar:

Materiais Incompatíveis.

10.5. Materiais incompatíveis:

Não disponível.

10.6. Produtos perigosos de decomposição:

Não disponível.

SEÇÃO 11. OUTRAS INFORMAÇÕES**11.2. Aviso Legal:**

As informações acima são consideradas corretas, mas não pretendem ser exaustivas e devem ser usadas apenas como guia. A empresa não deve ser responsabilizada por quaisquer danos resultantes do manuseio ou do contato com o produto acima.

F2. Revestimento Superior**SEÇÃO 1. IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA****1.1. Identificador do produto:**

Identificação na etiqueta / Nome comercial: Ultra-Ever Dry SE (Revestimento Superior);

CAS (Serviço de Resumos Químicos): consultar seção 3;

EC (Comissão de Enzimas): consultar seção 3.

1.2. Usos relevantes identificados da substância e contraindicações aconselhadas:**1.2.1. Usos identificados:**

Revestimento para vários substratos que apresentam características súper-hidrofóbicas.

1.2.2. Contraindicações:

Não disponível.

SEÇÃO 2. IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS**2.1. Efeitos adversos mais importantes****2.1.1. Efeitos físico-químicos adversos mais importantes:**

Líquido e vapor altamente inflamáveis.

2.1.2. Efeitos adversos principais à saúde humana:

Provoca irritação ocular grave. Pode provocar sonolência ou tontura. Pode ser tóxico se inalado.

2.1.3. Efeitos adversos ambientais mais importantes

Não disponível.

2.2. Perigos e precauções

Declaração de Perigo:

Líquido e vapor altamente inflamáveis;

Provoca irritação ocular grave;

Pode provocar sonolência ou tontura;

Altas concentrações de gases, vapores, névoas ou poeiras podem ser tóxicas se inaladas;

A exposição repetida pode causar secura ou rachaduras na pele.

Declaração de Precaução:

Manter longe do calor/ faíscas/ chamas abertas/ superfícies quentes;

Não fumar;

Recipiente e equipamento de recebimento ligados a terra;

Usar equipamento elétrico/ de ventilação/ de iluminação/ à prova de explosão;

Usar somente ferramentas que não produzam faíscas;

Tomar medidas contra descarga estática;

Usar luvas de proteção/ proteção para os olhos/ proteção para a face;

Lavar bem as mãos após o manuseio;

Evitar respirar poeiras/fumaças/gases/névoas /vapores/aerossóis;

Usar somente ao ar livre ou em uma área bem ventilada;

Se atingir a pele (ou o cabelo): Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado;

Lavar a pele com água/ chuveiro;

Se inalado: Remover a pessoa para o ar fresco e mantê-la confortável para respirar;

Se atingir os olhos: Lavar cuidadosamente com água durante vários minutos. Remover lentes de contato, se presentes e for fácil de fazer. Continuar a lavagem;

Ligue para um CENTRO CONTRA VENENOS se não se sentir bem;

Em caso de incêndio: Usar espuma para extinguir;

Armazenar em local bem ventilado. Manter o recipiente firmemente fechado. Manter fresco;

Eliminar o conteúdo/recipiente de acordo com a regulamentação local.

SEÇÃO 3. COMPOSIÇÃO DA MISTURA (Tabela F.2)

Tabela F.2 – Composição do revestimento superior

Nome da Substância	Nº CAS	Nº EC	% por peso	Nº REACH	Classificação
Acetona	67-64-1	200-662-2	96 – 98%	-	H225, H319, H336, EUH066
Sílica	112945-52-5	-	2 – 4%	-	N/A
Aditivo Exclusivo	-	-	1%	-	N/A

SEÇÃO 4. PRIMEIROS SOCORROS

4.1. Descrição das medidas de primeiros socorros:

4.1.1. Em caso de inalação:

Se tosse, falta de ar ou outros problemas respiratórios ocorrerem, mover para o ar fresco. Procurar ajuda médica. Se necessário, retomar a respiração através de medidas padrão de primeiros socorros.

4.1.2. Em caso de contato com a pele:

Lavar bem com água e sabão. Procurar atendimento médico se ocorrer vermelhidão, coceira ou queimadura.

4.1.3. Em caso de contato com os olhos:

Lavar os olhos imediatamente com grande quantidade de água por 15 minutos. Procurar ajuda médica.

4.1.4. Em caso de ingestão:

Não induzir vômito. Procurar imediatamente um médico.

4.2. Sintomas e efeitos mais importantes, tanto agudos quanto retardados

O produto não é classificado como prejudicial para a saúde humana.

4.3. Indicações sobre cuidados médicos urgentes e tratamentos especiais necessários

Contatar imediatamente um CENTRO CONTRA VENENOS ou doutor/ médico.

SEÇÃO 5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

5.1. Meios de extinção:

Meios adequados de extinção: Dióxido de Carbono, Produto Químico Seco, Espuma;

Agentes de extinção inadequados: N/A.

5.2. Perigos especiais decorrentes da substância ou mistura

Não aplicável.

5.3. Conselhos para os bombeiros:

Devem ser usados equipamentos de proteção completos, incluindo aparelho de respiração auto-contido.

SEÇÃO 6. MEDIDAS EM CASO DE DESCARGA ACIDENTAL

6.1. Precauções ambientais:

Não permitir que entre no sistema de esgotos.

6.2. Métodos de confinamento e limpeza:

Derrames devem ser coletados por meio de um absorvente inerte. Remover todas as fontes de ignição. Ventilar a área.

SEÇÃO 7. MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

7.1. Precauções para manuseio seguro:

7.1.1. Medidas de proteção:

Manter longe do calor, faíscas ou chamas. Ventilar a área durante o uso e até que todos os vapores tenham saído.

7.1.2. Conselhos gerais sobre higiene ocupacional:

Não comer, beber ou fumar durante a utilização deste produto. Lavar bem as mãos após o manuseio. Remover roupas e equipamentos de proteção contaminados antes de entrar em áreas de alimentação.

7.2. Condições para armazenamento seguro, incluindo eventuais incompatibilidades:

Manter em recipientes fechados quando não estiverem em uso.

SEÇÃO 8. CONTROLE A EXPOSIÇÃO/ PROTEÇÃO PESSOAL

8.1. Parâmetros de controle:

8.1.1. Limites de exposição ocupacional: Não disponível.

8.1.2. Limites de exposição adicional sob as condições de uso: Não disponível.

8.2. Controles de Exposição

8.2.1. Controles adequados de engenharia:

Deve ser suficiente para reduzir a exposição abaixo das normas de trabalho para acetona estabelecidas pelos regulamentos nacionais ao nível mais baixo possível.

8.2.2. Medidas de proteção individual, como equipamento de proteção individual:

Proteção dos olhos/ face: Devem ser usados óculos de proteção de tipo química, óculos de segurança com proteção contra respingos, ou protetores faciais adequados;

Proteção das mãos: A exposição repetida pode causar irritação e/ou sensibilização na pele. Usar luvas impermeáveis. Por exemplo, PVC, nitrilo. Manusear de acordo com práticas sensatas de higiene e segurança;

Proteção do corpo: Roupas de proteção adequadas e proteção para os olhos devem estar em conformidade com as normas e regulamentos nacionais ou regionais;

Proteção respiratória: Deve ser usada ventilação e proteção respiratória. Além dos controles de engenharia e práticas de trabalho seguro, podem ser necessários equipamentos de proteção individual. Equipamentos de proteção pessoal respiratória adequados para este material podem variar de (1) um cartucho de meia máscara reutilizável com filtro de cartucho de solvente orgânico e filtro de partículas (P100), a (2) um sistema de suprimento de ar, dependendo do escopo do trabalho.

8.2.3. Controle da exposição ambiental:

Evitar a descarga para o meio ambiente.

SEÇÃO 9. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

9.1. Informações sobre propriedades físicas e químicas básicas

Aparência:	Líquido transparente com partículas finas
Cor:	Não aplicável
Odor:	Odor como hortelã perfumada.
Limiar de odor:	Não há dados disponíveis
pH:	Não determinado.
Ponto de fusão/ intervalo:	- 139 °F
Ponto de ebulição/ intervalo(°C) :	133 °F
Ponto de inflamação (°C):	- 4 °F
Taxa de evaporação:	Não há dados disponíveis
Inflamabilidade (sólido, gás):	Não há dados disponíveis
Temperatura de ignição (°C) :	Não há dados disponíveis
Limites Sup./inf. de inflamabilidade/ explosivo:	Não há dados disponíveis
Pressão do vapor (20°C) :	Não há dados disponíveis
Densidade do vapor:	2,0 Mais pesado que o ar
Densidade relativa (20°C):	Não há dados disponíveis
Solubilidade em água (g/l) a 20°C:	Geralmente solúvel.
n-Octanol/Água (log Po/w):	Não há dados disponíveis
Temperatura de auto-ignição:	Não há dados disponíveis
Temperatura de decomposição:	Não há dados disponíveis
Viscosidade, dinâmica (20 °C):	Não há dados disponíveis

9.2. Perigos físicos:

Líquido e vapor altamente inflamáveis.

9.3. Outras informações:

Solubilidade em gordura (óleo solvente a ser especificado) etc.	Não disponível.
Densidade Aparente:	Não disponível.
Constante de dissociação em água (pKa):	Não disponível.
Potencial de oxidação-redução:	Não disponível.
Gravidade específica:	0,79
Conteúdo Volátil:	98%

SEÇÃO 10. ESTABILIDADE E CONFIABILIDADE

10.1. Reatividade:

Estável sob condições recomendadas de transporte ou de armazenamento.

10.2. Estabilidade química:

Estável sob temperaturas e pressões normais.

10.3. Possibilidade de reações perigosas:

Não se conhecem reações perigosas.

10.4. Condições a evitar:

Materiais Incompatíveis.

10.5. Materiais incompatíveis:

Não disponível.

10.6. Produtos perigosos de decomposição:

Não disponível.

SEÇÃO 11. OUTRAS INFORMAÇÕES

11.1. Aviso Legal:

As informações acima são consideradas corretas, mas não pretendem ser exaustivas e devem ser usadas apenas como guia. A empresa não deve ser responsabilizada por quaisquer danos resultantes do manuseio ou do contato com o produto acima.

ANEXO G – PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

Neste anexo, são expostos os resultados dos testes físico químicos e biológicos para a água do poço (bruta), água dessalinizada com o uso da nanopelícula e água dessalinizada sem o uso do produto hidrofóbico. Também é feita uma comparação entre os parâmetros físico químicos desses dois primeiros e os da água utilizada para consumo, proveniente de um purificador normalmente encontrado em residências, de uso familiar.

G1. Parâmetros físico químicos e biológicos da água do poço

GETAQ: NUQUI	ÁREA: Laboratório de Química Ambiental - LQA	RE N°: 953/15 1 de 1
--------------	--	-------------------------

RELATÓRIO DE ENSAIO		
----------------------------	--	--

N.º PROCESSO: CLIENTE: ENDEREÇO DO CLIENTE: NATUREZA DO SERVIÇO: Ensaio Químico e Físico-Químico. OBJETO DO SERVIÇO: Uma (01) amostra de água		
---	--	--

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO: Codificação do Núcleo: QA-953/15 Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: água para consumo humano. Local da coleta: POÇO Data da coleta: 06/10/15 Data de conclusão dos ensaios: 16/10/15		
---	--	--

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:		
PARÂMETROS	RESULTADOS	Padrão de qualidade da água para consumo humano conforme portaria 2.914/11 Ministério da Saúde
Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	62,5	≤ 250,0
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	32,2	≤ 500,0
Ferro total (mg Fe/L)	0,07	≤ 0,3
Nitratos (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	9,7	≤ 10,0
Nitritos (mg N-NO ₂ ⁻ /L)	0,04	≤ 1,0
pH a 25° C	5,17	6,00 a 9,50
Sódio (mg Na ⁺ /L)	34,1	≤ 200,0
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	132,2	≤ 1.000,0
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻ /L)	7,9	≤ 250,0

3. CONDIÇÕES GERAIS:		
3.1. Para a realização dos ensaios foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.		
3.2. Dos parâmetros da Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, foram realizados apenas os ensaios constantes no presente relatório.		

Fortaleza, 06 de outubro de 2015



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Departamento de Biologia
Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia

RESULTADO DE ANÁLISE BACTERIOLÓGICA DE ÁGUA

Ano: 2015

Local de Coleta: Instituto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (IPDI) - Campus do Pici

Coletor: Felipe Alves Albuquerque Araújo (Engenheiro Mecânico)

Origem: Poço

Data da Coleta: 14/08/2015

Hora da Coleta: 10:00 h

Data da Entrada no Laboratório: 14/08/2015

Hora da Entrada no Laboratório: 11:00 h

Odor: Inodoro

Aspecto: Límpido

Colimetria- Método Tubos Múltiplos

Coliformes Totais NMP/100ml: Zero

Escherichia Coli NMP/100 ml: Zero

CONCLUSÃO: A amostra analisada revelou-se **DENTRO** do padrão bacteriológico de potabilidade.

Obs: Os resultados desta análise tem significação restrita e se aplicam somente à amostra trazida pelo interessado.

Fortaleza, 10 de Setembro de 2015.


Prof. Dra. Vânia Maria Maciel Melo
Coordenadora do Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia
Departamento de Biologia da UFC
Telefone: 3366 9814

Prof.^a Dra. Vania Maria Maciel Melo
SIAPE 293040
UFC - Centro de Ciências - Depto. de Biologia
60440-900 - Campus do Pici Prof. Prisco Bezerra
Fortaleza - CE - Brasil

G2. Parâmetros físico químicos e biológicos da água dessalinizada sem película

GETAQ: NUQUI	ÁREA: Laboratório de Química Ambiental - LQA	RE Nº: 959/15 1 de 1
--------------	--	-------------------------

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE:
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Ensaio Químicos e Físico-Químicos.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma (01) amostra de água

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:

Codificação do Núcleo: **QA-959/15**

Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: água para consumo humano.

Local da coleta: **DESSALINIZADOR – ÁGUA DESSALINIZADA SEM PELÍCULA**

Data da coleta: 07/10/15

Data de conclusão dos ensaios: 16/10/15

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

PARÂMETROS	RESULTADOS	Padrão de qualidade da água para consumo humano conforme portaria 2.914/11 Ministério da Saúde
Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	8,1	≤ 250,0
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	Não quantificada	≤ 500,0
Ferro total (mg Fe/L)	0,05	≤ 0,3
Nitratos (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	0,08	≤ 10,0
Nitritos (mg N-NO ₂ ⁻ /L)	0,02	≤ 1,0
pH a 25° C	7,5	6,00 a 9,50
Sódio (mg Na ⁺ /L)	11,0	≤ 200,0
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	39,0	≤ 1.000,0
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	2,0	≤ 250,0

3. CONDIÇÕES GERAIS:

3.1. Para a realização dos ensaios foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

3.2. Dos parâmetros da Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, foram realizados apenas os ensaios constantes no presente relatório.

Fortaleza, 16 de outubro de 2015



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Departamento de Biologia
Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia

RESULTADO DE ANÁLISE BACTERIOLÓGICA DE ÁGUA

Ano: 2015

Local de Coleta: Instituto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (IPDI) – Campus do Pici

Coletor: Felipe Alves Albuquerque Araújo (Engenheiro Mecânico)

Origem: Dessalinizador

Data da Coleta: 14/08/2015

Hora da Coleta: 10:00 h

Data da Entrada no Laboratório: 14/08/2015

Hora da Entrada no Laboratório: 11:00 h

Odor: Inodoro

Aspecto: Límpido

Colimetria- Método Tubos Múltiplos

Coliformes Totais NMP/100ml: Zero

Escherichia Coli NMP/100 ml: Zero

CONCLUSÃO: A amostra analisada revelou-se **DENTRO** do padrão bacteriológico de potabilidade.

Obs: Os resultados desta análise tem significação restrita e se aplicam somente à amostra trazida pelo interessado.

Fortaleza, 10 de Setembro de 2015.


Prof. Dra. Vânia Maria Maciel Melo
Coordenadora do Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia
Departamento de Biologia da UFC
Telefone: 3366 9814

Prof.^a Dra. Vânia Maria Maciel Melo

SIAPE 293040

UFC - Centro de Ciências - Depto. de Biologi.
60440-900 - Campus do Pici Prof. Prisco Bezerra
Fortaleza - CE - Brasil

G3. Parâmetros físico químicos e biológicos da água dessalinizada com película

GETAQ: NUQUI	ÁREA: Laboratório de Química Ambiental - LQA	RE Nº: 961/15 1 de 1
--------------	--	-------------------------

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE:
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Ensaio Químico e Físico-Químico.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma (01) amostra de água

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:

Codificação do Núcleo: **QA-961/15**

Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: água para consumo humano.

Local da coleta: **DESSALINIZADOR – ÁGUA DESSALINIZADA COM PELÍCULA**

Horário da coleta: 14:30 h

Data da coleta: 09/10/15

Data de conclusão dos ensaios: 16/10/15

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

PARÂMETROS	RESULTADOS	Padrão de qualidade da água para consumo humano conforme portaria 2.914/11 Ministério da Saúde
Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	Não quantificado	≤ 250,0
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	Não quantificada	≤ 500,0
Ferro total (mg Fe/L)	0,04	≤ 0,3
Nitratos (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	0,08	≤ 10,0
Nitritos (mg N-NO ₂ ⁻ /L)	0,02	≤ 1,0
pH a 25° C	7,22	6,00 a 9,50
Sódio (mg Na ⁺ /L)	3,6	≤ 200,0
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	17,2	≤ 1.000,0
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	2,0	≤ 250,0

3. CONDIÇÕES GERAIS:

3.1. Para a realização dos ensaios foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

3.2. Dos parâmetros da Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, foram realizados apenas os ensaios constantes no presente relatório.

Fortaleza, 16 de outubro de 2015



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Departamento de Biologia
Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia

RESULTADO DE ANÁLISE BACTERIOLÓGICA DE ÁGUA

Ano: 2015

Local de Coleta: Instituto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (IPDI) – Campus do Pici

Coletor: Felipe Alves Albuquerque Araújo (Engenheiro Mecânico)

Origem: Dessalinizador + película

Data da Coleta: 19/08/2015

Hora da Coleta: 10:00 h

Data da Entrada no Laboratório: 19/08/2015

Hora da Entrada no Laboratório: 11:00 h

Odor: Inodoro

Aspecto: Límpido

Colimetria- Método Tubos Múltiplos

Coliformes Totais NMP/100ml: Zero

Escherichia Coli NMP/100 ml: Zero

CONCLUSÃO: A amostra analisada revelou-se **DENTRO** do padrão bacteriológico de potabilidade.

Obs: Os resultados desta análise tem significação restrita e se aplicam somente à amostra trazida pelo interessado.

Fortaleza, 10 de Setembro de 2015.

Prof. Dra. Vânia Maria Maciel Melo
Coordenadora do Laboratório de Ecologia Microbiana e Biotecnologia
Departamento de Biologia da UFC
Telefone: 3366 9814

Prof.^a Dra. Vânia Maria Maciel Melo
SIAPE 293040
UFC - Centro de Ciências - Depto. de Biologia
60440-900 - Campus do Pici Prof. Prisco Bezerra
Fortaleza - CE - Brasil

G4. Comparativo entre parâmetros físico químicos da água dessalinizada com película, da água do poço e da água, para consumo humano, proveniente de um purificador de uso residencial



Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Química Analítica e Físico-Química
 LAQA-Laboratório de Química Ambiental
 Campus do Pici, S/N - Fortaleza/CE
 Telefone: 85 3366 99 64 - FAX: 85 3366 99 82
 e-mail: becker@ufc.br



RELATÓRIO DE ANÁLISE

AMOSTRA: Três amostras de água (Poço, Purificador e Dessalinizador).
ANÁLISES SOLICITADAS: Parâmetros físicos e químicos
DATA DA COLETA DAS AMOSTRAS: 23/10/2015
HORA DA COLETA: 09:00 h
DATA E HORA DE ENTRADA NO LABORATÓRIO: 23/10/2015 às 9:30 h.

METODOLOGIA

Os métodos de análise estão descritos no "STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater", 2005, 21th edition, APHA-AWWA-WPCF, American Public Health Association, Washington.

RESULTADOS

Parâmetros	Unidade	Purificador	Poço	Dessalinizador	VMP
Aspecto	-	Limpido	Limpido	Limpido	-
Odor	-	Inodoro	Inodoro	Inodoro	-
Alcalinidade Total (como CaCO ₃)	mg/L	112,0	3,2	9,7	-
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	mg/L	136,6	3,9	11,8	-
Cálcio (Ca ²⁺)	mg/L	21,58	2,73	0,99	-
Cloreto (Cl ⁻)	mg/L	106,5	63,9	≤ 1,9	250
Condutividade	µS/cm	536	295	24,8	-
Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/L	129,6	11,2	2,5	500
Ferro total	mg/L	0,074	0,151	0,157	0,3
Magnésio (Mg ²⁺)	mg/L	18,38	≤ 1,50	≤ 1,50	-
Mangânes total	mg/L	0,049	0,044	0,055	0,1
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,078	12,310	0,073	10
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,009	≤ 0,005	≤ 0,005	1
Nitrogênio amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	≤ 0,100	≤ 0,100	0,342	1,5
pH	-	6,98	4,70	7,97	6,5 a 8,5
Potássio (K ⁺)	mg/L	12,0	6,0	0,2	-
Sódio (Na ⁺)	mg/L	76,0	42,0	1,5	200
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	224,0	122,4	8,5	1000

OBS.: Os resultados obtidos representam as condições das amostras que foram analisadas.

CONCLUSÃO: A amostra de água do POÇO mostrou valores de N-NO₃⁻ em desacordo com o padrão de potabilidade de água para consumo humano (Portaria MS 2914/2012).

Fortaleza, 23 de novembro de 2015

Profª Helena Becker
 Coordenadora do LAQA
 Profa. Dra. Helena Becker
 Departamento de Química Analítica
 e Físico-Química-CC