

Eficiência de u3m dessalinizador solar simétrico com bacia parabólico composto disposto em paralelo

Efficiency of a symmetrical solar desalinator with compound parabolic basin composed in parallel

DOI:10.34117/bjdv7n4-165

Recebimento dos originais: 07/03/2021

Aceitação para publicação: 07/04/2021

Joaquim Teixeira Lopes

Doutorado em Engenharia Mecânica

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão

Av. Marechal Castelo Branco, nº 789 - São Francisco - São Luís-MA - CEP 65076-091

E-mail: teixeira@ifma.edu.br

Universidade Estadual do Maranhão-Cidade Universitária Paulo VI, Caixa Postal 09,
São Luís/MA

E-mail: joaquimlopes@professor.uema.br

Ricardo Fortes de Miranda

Doutorado em Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Uberlândia

Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38408-100

E-mail: rfmiranda@mecanica.ufu.br

Keyll Carlos Ribeiro Martins

Doutorado em Engenharia Mecânica

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão

Av. Marechal Castelo Branco, nº 789 - São Francisco - São Luís-MA - CEP 65076-091

E-mail: kmartins@ifma.edu.br

Josy Ferreira Belfort

Especialização em Física

Universidade Estadual do Maranhão-Cidade Universitária Paulo VI, Caixa Postal 09,
São Luís/MA

E-mail: jfb.belfort@gmail.com

Sara Ruth Rocha Ramos

Licenciatura em Física

Universidade Estadual do Maranhão-Cidade Universitária Paulo VI, Caixa Postal 09,
São Luís/MA

E-mail: sarinhar3@hotmail.com

RESUMO

No presente trabalho, estudamos a viabilidade do dessalinizador solar simétrico com bacia parabólico composto, ou seja, analisamos a eficiência na conversão da água salobra em água potável para consumo humano em regiões de difícil acesso. Após os tratamentos dos dados constatou-se que o dessalinizador simétrico, com ângulos de inclinações 45° e 45°. Apresentou uma produção média diária de 2,96 L/m²d de destilado, com uma

eficiência de 49,22% para uma radiação média de 536,478 W/m² e custo de produção de R\$ 0,06219 por litro de destilado. A qualidade do destilado, com respeito aos parâmetros físico-químicos avaliados neste estudo, está compatível com a Classe 3 de água doce do CONAMA (Resolução 357 – Portaria 517 do Ministério da Saúde). Pelo exposto, a destilação solar apresentada nessa pesquisa tem viabilidade de águas para consumo humano, considerando-se os aspectos técnicos e ambientais, sendo também viável economicamente.

Palavras-chave: Eficiência, Dessalinização Solar, Concentrador solar, Óptica, Energia Solar.

ABSTRACT

In the present work, we studied the feasibility of a symmetrical solar desaliner with a parabolic composite basin, that is, we analyzed the efficiency in converting brackish water into drinking water for human consumption in regions that are difficult to access. After processing the data, it was found that the symmetrical desaliner, with 45 ° and 45 ° inclination angles. It presented an average daily production of 2.96 L / m²d of distillate, with an efficiency of 49.22% for an average radiation of 536.478 W / m² and a production cost of R \$ 0.06219 per liter of distillate. The quality of the distillate, with respect to the physical-chemical parameters evaluated in this study, is compatible with CONAMA's Class 3 fresh water (Resolution 357 - Ordinance 517 of the Ministry of Health). From the above, the solar distillation presented in this research is feasible for water for human consumption, considering the technical and environmental aspects, and it is also economically viable.

Keywords: Efficiency, Solar Desalination, Solar Concentrator, Optics, Solar Energy.

1 INTRODUÇÃO

No início de 1872, ocorreu à primeira aplicação da dessalinização solar de que se tem conhecimento, ocorrendo no deserto da região de La Salinas, no Chile. Operando durante 30 anos, fornecendo água para animais usados nas minas [1], entretanto, o mais antigo registro sobre a dessalinização tem seu registro no velho testamento da bíblia sagrada, no capítulo 15 do livro de Êxodo, há 1500 anos, a. C. O estudo sobre o CPC (Coletor Parabólico Composto) completou 45 anos em 2011, o qual foi desenvolvido simultaneamente em 1966 nos Estados Unidos da América por Hinterberger e Wilnston, na Alemanha em 1966 por Ploke, e na URSS por Baranov e Melnikov. Em 1974, Wilnston descreve sobre o CPC em 2D, mostrando as vantagens deste tipo de concentrador para ser usado em dispositivos solar.

A água é um recurso natural que está cada vez mais escassa no planeta. O volume total de água no planeta não se está reduzindo, porque não há perdas no ciclo de evaporação e precipitação [2]. O que caracteriza a escassez é a poluição. O Brasil é um país privilegiado por concentrar 11,6% de toda água doce do planeta, além de possuir o

rio Amazonas considerado o maior rio do mundo. Além disso, apresenta parte do maior reservatório de água subterrânea do planeta, o Sistema Aquífero Guarani.

Na região do semiárido ocorrem muitos exemplos de programas ineficientes marcados pela improvisação, paternalismo e com o desperdício de dinheiro público. Para enfrentar estes desafios é necessária a capacitação de pessoal, o avanço e as escolhas tecnológicas adequadas [3], tendo em vista a frequente aplicação da energia solar como fonte alternativa de aproveitamento de energia em sistemas termo – fluidos.

Neste trabalho apresenta-se um estudo sobre um dessalinizador solar do tipo bacia com cobertura simétrica, com inclinação de 45° , piso parabólico composto, disposto em paralelo com uso exclusivo de energia solar, a baixo custo, com a vantagem de baixa emissão de poluentes.

2 MATÉRIAS E MÉTODOS

O método proposto consiste inicialmente em dimensionar e construir o dessalinizador solar simétrico parabólico composto utilizando as equações (1), (2) e (6) [4]. Em seguida foi realizado estudo óptico e o térmico. O coletor foi construído em alumínio com as dimensões, 7.5cm de altura, 12.0cm de largura do evaporador, 24.0cm de abertura e comprimento 96.0cm, com área da base pintada com preto fosco, como mostram as figuras 1 e 3. Foi realizada análise de variância (ANOVA), aplicando o teste F, ao nível de 5% de significância, entre a temperatura ambiente, radiação solar, temperatura da água e produtividade.

2.1 OS PARÂMETROS FÍSICO- QUÍMICOS ANALISADOS

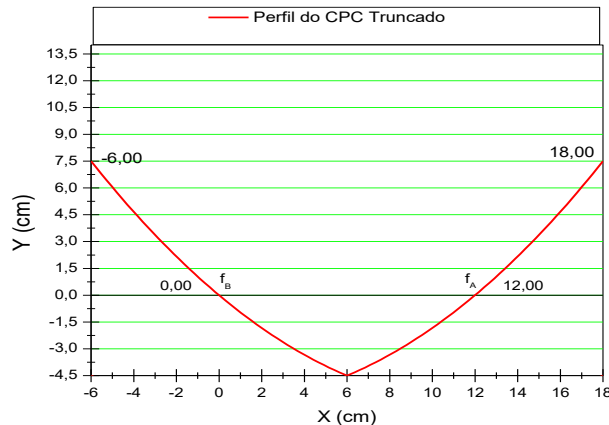
Os parâmetros físico – químicos que foram analisados no transcorrer do trabalho estão listados na tabela; consta também a metodologia empregada e a unidade do parâmetro, de acordo com análise realizada no Laboratório de Tecnologia de Bebidas e Águas do IFMA/Maracanã. Conforme tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros físico – químicos e métodos empregados.

PARÂMETROS	RESULTADOS	MÉTODOS
Ph	Adimensional	Potenciométrico
TDS	mg/l	Gravimétrico
CONDUTIVIDADE	$\mu\text{S/cm}$	Conduvímétrico
CLORETO (mg/L)	mg/L	Mohr
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO_3)	mg/L CaCO_3	Titulométrico - EDTA
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO_3)	mg/L CaCO_3	Titulométrico com indicador
SALINIDADE (‰)	‰	Mohr - Knudsen
TURBIDEZ (NTU)	NTU	Nefelométrico
COR (UC)	UC	Comparação Visual

A Fig. 1 indica o perfil do coletor solar parabólico composto (CPC) submetido ao processo de truncamento de parábola, observa-se uma altura de 7,50cm e as coordenadas do ponto inicial e final do segmento de parábola. De igual maneira se pode deduzir o comprimento da entrada e saída do CPC, conhecendo um único parâmetro: o foco (f).

Figura 1 – Geometria do CPC [4]



O gráfico da Fig.1 foi gerado pelas equações pelas equações (1) e (2)[4]:

$$Y = \frac{x^2}{4f} - x \quad \{-6 \leq x \leq 6\} \quad (1)$$

$$Y = \frac{x^2}{4f} - f \quad \{6 \leq x \leq 18\} \quad (2)$$

$$\text{Com: } a' = f \text{ e } a = 2f$$

2.2 ANÁLISE ÓPTICA DO COLETOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO COMPOSTO

O teste óptico da bacia cilindro parabólico composto foi realizado no Laboratório de Física do Instituto Federal do Maranhão no período de 22 de outubro a 30 de outubro de 2011, o qual foi aplicado uma bancada com um Laser Modelo EQO14, e um transferidor tipo LEMBLD. No primeiro teste incidimos o raio de luz paralelo ao eixo principal da parábola A e houve uma reflexão para o foco f_A , como mostra a Fig.2, em seguida incidimos o raio paralelo ao eixo principal da parábola B e o raio foi refletido para o foco f_B .

Figura2 – Teste Óptico do Coletor Parabólico Composto (45° e 45°)[4]



Os equipamentos de dessalinização solar e o campo experimental ao lado do laboratório de Injeção Eletrônica Campus Monte Castelo/IFMA podem ser visualizados na Fig. 3.

Figura 3 - Dessalinizador Solar Simétrico Parabólico Composto (45° e 45°) [4]



2.3 MODELO MATEMÁTICO PARA O DESSALINIZADOR SOLAR ASSIMÉTRICO

Modelar um sistema de dessalinização solar apresenta certas dificuldades devido às características transientes bastantes variáveis e o fato da não homogeneidade da intensidade de radiação solar de região para região. O modelo que apresenta produtividade e eficiência relevante no Maranhão, poderá não ocorrer em outros Estados do Brasil ou países. Os cálculos teóricos para determinação do desempenho do Dessalinizador Solar dependerão do uso de coeficientes empíricos de troca de calor e de massa. Na literatura sobre destilação solar os principais modelos estão baseados nas relações apresentadas por [5].

Na modelagem matemática foram admitidas as seguintes hipóteses:

- a) Estado é estacionário;
- b) O isolamento da base do destilador solar é ideal.

$h_{c,w-g}$: coeficiente de transferência de calor por convecção da superfície da água para cobertura de vidro [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$];

$$h_{c,w-g} = 0,884 \left[(T_w - T_g) + \frac{(P_w - P_g)(T_w + 273)}{(268900 - P_w)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$h_{e,w-g}$: coeficiente de transferência de calor por evaporação da superfície da água para cobertura de vidro [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$];

$$h_{e,w-g} = 0,01627 h_{c,w-g} \left[\frac{(P_w - P_g)}{(T_w - T_g)} \right] \quad (4)$$

Os valores de P_w e P_g podem ser obtidos pela expressão (5) no intervalo de temperatura entre 10° e 90° [6].

$$P(T) = \exp\left(25,317 - \frac{5144}{T + 273}\right) \quad (5)$$

Onde T_w e T_g são medidos em Kelvin,

Área de cobertura do dessalinizador solar simétrico ou assimétrico é obtida pela equação (6) [4].

$$A_c = \left[\left(\frac{\tan(\alpha)}{\sin(\theta) + \cos(\theta) \times \tan(\alpha)} \right) + \left(\frac{\tan(\theta)}{\sin(\alpha) + \cos(\alpha) \times \tan(\theta)} \right) \right] \times (WL_1) \quad (6)$$

A produtividade do destilado pode ser obtida pela equação (7) apresentada por [7], modificada por [4],

$$\dot{m} = h_{e,w-g} \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \times \left(\frac{T_w - T_g}{L} \right) \times 3600 \quad (7)$$

$$L = 3161500 - 2407,9 \times (T_w + 273) \quad (8)$$

A produção diária é calculada pelo somatório da produção horária ao longo de um dia (08 horas de operação do sistema),

$$\dot{M} = \sum_{09}^{17} \dot{m}_i \quad (9)$$

A eficiência simulada instantânea e real do Dessalinizador solar passivo pode ser determinada pela equação (10).

$$\eta_i = \frac{\sum \dot{m}_{cond} \times L}{\sum 36 \times I(t)} \quad (10)$$

Em que:

•

\dot{m}_{cond} : Taxa de condensação [Kg/m²h];

T_w : Temperatura da água na base do dessalinizador [°C];

T_g : Temperatura da água no vidro (condensado) [°C];

L : Calor latente de vapor de água (J/Kg);

I(t) : Radiação solar [W/m²];

α : Ângulo de inclinação do dessalinizador [°];

θ : Ângulo de inclinação do dessalinizador [°];

$\theta = \alpha$: Dessalinizador simétrico;

$\theta \neq \alpha$: Dessalinizador assimétrico,

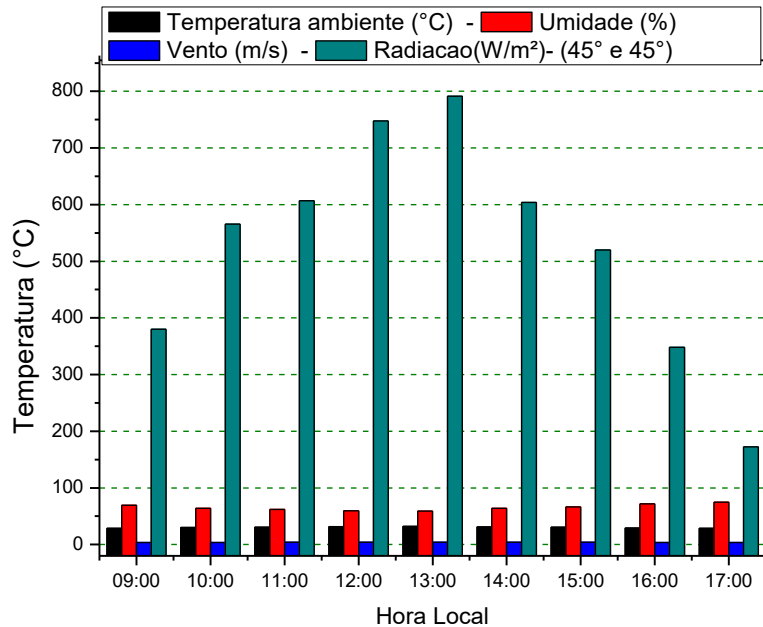
3 RESULTADOS E ANÁLISES EXPERIMENTAIS

3.1 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Com fundamento no gráfico da Fig. 4, observamos o total de radiação solar disponível na realização dos experimentos com o dessalinizador solar simétrico de 45° de inclinação da cobertura. O valor máximo da radiação solar 791,39 W/m² ocorreu as 13:00h e o mínimo 172,21W/m² as 09:00. A radiação difusa representa 10 a 16% da radiação direta que chega à superfície de forma num dia ensolarado e sem nuvens [6]. Com o tempo parcialmente nublado ela pode atingir 50%, e em dias completamente nublado corresponde à radiação global. Da análise da Fig. 4. , verificamos a forte relação inversa da temperatura ambiente e a umidade do ar. A pressão atmosférica varia de lugar para lugar. Essa variação é causada pela altitude e principalmente pela temperatura,

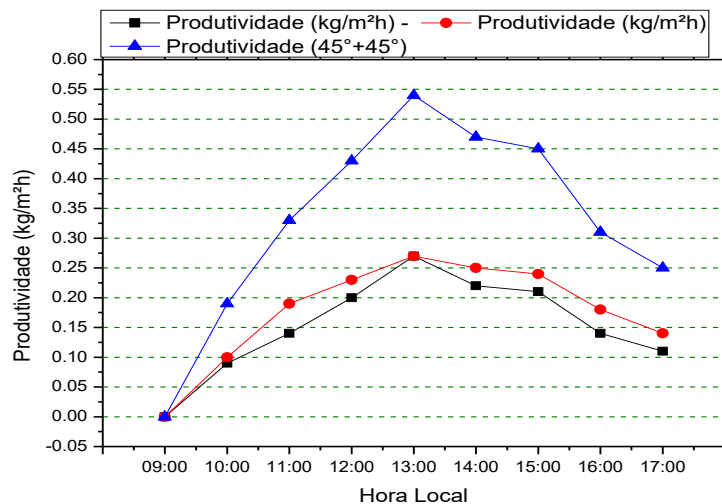
destacando o valor máximo para temperatura ambiente 31,5°C e mínimo para velocidade do vento de 3,0m/s.

Figura 4 – Condições climatológicas médias horárias DSSPC (45° e 45°) [4]



Durante a realização dos experimentos com o dessalinizador solar simétrico (45°), a produtividade média mínima 0.19kg/m²h foi obtido as 10:00h e a produtividade média máxima 0,54kg/m²h as 13:00h, como mostra a Fig.5. A produtividade total coletada foi 17,77kg/m²d para 6 dias de operação, com média diária de 2,96 kg/m²d. A eficiência real média, conseguida no período de realização dos experimentos com o DSSPC (45°), foi 43,21% e a eficiência simulada 39,70% [4].

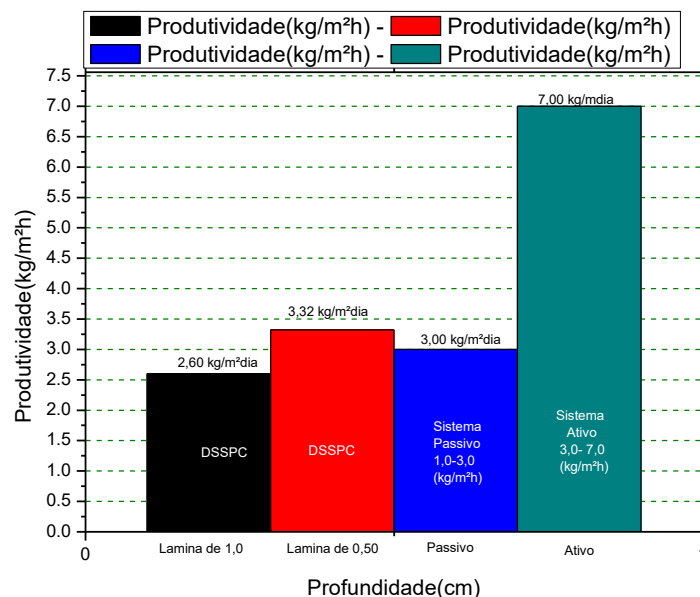
Figura 5 – Produtividade real para 0,5 e 1,0cm de profundidade (45°) [4]



Com base no gráfico da Fig. 6, pode-se observar a comparação do destilado produzido pelo DSSPC (45° e 45°) e os limites estabelecidos na literatura para sistemas passivos e ativos. Para os destiladores solares passivos, a produção diária de destilado é em média de 1-3 kg/m²d, enquanto que nos destiladores solares ativos esse número sobe até cerca de 3-7 kg/m²d [7].

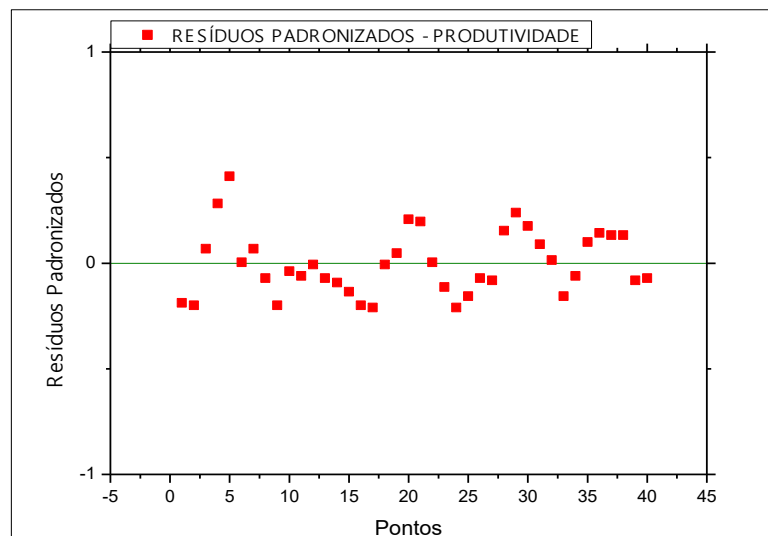
No presente trabalho, as produtividades médias de 2,60 kg/m²d para lâmina de água 1,00 cm e 3,32 kg/m²d para lâmina de água 0,50 cm, representam 50% dos valores acima do limite mínimo do sistema ativo, embora o sistema operacional do dessalinizador seja passivo.

Figura 6 – Gráficos comparativos da destilação solar real vs. Passivo e ativo [4].



Cerca de 100% dos resíduos padronizados, apresentados na Fig.7, não exibem pontos discrepantes, estando todos concentrados no intervalo fechado [-1; 1], o que garantirá a validade da análise de variância (ANOVA) para o nível de significância de 5%.

Figura 7 – Resíduos Padronizados [4].



Na tabela 2, foi possível observar que a produtividade de maior valor médio 0,49875 kg/m²h, foi obtido para lâmina de água de 0,50 cm. Os resultados foram analisados estatisticamente pelo teste - F (teste de Fisher). Para 06 amostras da produtividade da água, verificam – se existi diferenças significativas entre as médias, ao nível de significância de 5% ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{resíduo}}$). Depois de concluirmos que existe diferença significativa entre os tratamentos por meio do teste F, avaliamos a magnitude do aceite do teste de hipótese alternativo, utilizando-se o teste de comparação múltipla, isto é, o teste de Tukey.

Tabela 2- Análise estatística da produtividade

Condições	Tamanho da amostra	G.Liberdade			Média (kg/m ²)	Desvio Padrão (kg/m ² h)	F - Valor (Experimental)	F – Valor (Resido)
		Tot.	Md.	Rs.				
P1	6	47	5	42	0.39	0.19993	2,48859	2,4420
P2	6	47	5	42	0.2525	0.06692		
P3	6	47	5	42	0.33625	0.15156		
P4	6	47	5	42	0.38875	0.13196		
P5	6	47	5	42	0.49875	0.16427		
P6	6	47	5	42	0.3625	0.11336		

4 CONCLUSÃO

A contribuição do dessalinizador solar simétrico, com inclinação de cobertura de 45° e evaporador parabólico composto, revelou-se possível, utilizando-se a energia solar como fonte primária e a energia térmica da bacia como fonte secundária. Um avanço alcançado por este trabalho foi apresentar um coletor parabólico composto para uso

exclusivo como evaporador de dessalinizador solar. No presente trabalho, além de atingirmos os objetivos iniciais e diante dos resultados obtidos, pode-se inferir que:

a) A análise estatística da produtividade, medidos nos dias de ensaios com o dessalinizador, mostram diferenças significativas ao nível de 5% quando aplicado análise de variância (ANOVA).

b) Com relação à cidade de São Luís, localizada na ilha de Upaon Açu, no Maranhão, quanto ao estudo climatológico, verificou-se que a radiação média diária no período de 9:00 às 17:00h variou entre 449,13 W/m² e 634,45 W/m², com insolação média de 11h 20min, o que garante que o local seja adequado para o uso da energia solar;

c) A qualidade do destilado, com respeito aos parâmetros avaliados neste estudo, está de acordo com a resolução 367 - CONAMA - Ministério da Saúde. Em relação à salinidade, todas as amostras apresentam valores abaixo de 0,5 g por litro; portanto, consideradas como água doce;

d) O maior custo dos dessalinizadores está no seu preço inicial, no entanto, o sistema estudado apresentou um custo inicial de R\$ 1344,00 para uma produção 216008 litros de água em 20 anos de vida útil. Representa R\$ 0,06219 por litro, assegurando que o sistema é economicamente viável.

e) Com aplicação do teste de TUKEY, considerando o nível de significância de 5%, pode-se constatar que a produtividade obtida no dia 30 de novembro de 2012, apresentou o melhor resultado.

REFERÊNCIAS

- [1] DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. “Solar Engineering of thermal processes”, **2.ed.** Edition, J, Wiley, New York,907p,1991.
- [2] VARGAS, B. C.; ITO,, YOSHID, M.; KEIITI, COSSA ,C., DE AVILA, Destilador Solar de Baixo Custo, Revista Ciências do Ambiente On-Line - 08, UNICAMP, Campinas São Paulo, 2012.
- [3] PINHEIRO, J. C. V; SILVA, L. A. C. Estratégia para Formulação e Implantação de um Programa de Dessalinização da Água Salobra no Ceará. 2010. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/vieira.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2013.
- [4] Lopes, Joaquim Teixeira. “Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar tipo bacia com cobertura assimétrica” [Tese de Doutorado]. Universidade Federal de Uberlândia- Uberlândia - Minas Gerais, 2013.
- [5] DUNKLE, R. V. Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect. 1961.
- [6] BEZERRA, M. A. dos S. Desenvolvimento de um. destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/ RN, 105p, 2004.
- [7] TIWARI, G. N.; DIMRI, V.; CHEL, A. Parametric Study of an Active and Passive SolarDistillation System: Energy and Exergy Analysis. Desalination, v. 242, p. 1-18, 2009.