

## DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE TÉRMICA DE UM DESSALINIZADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO COM PRÉ- AQUECIMENTO DA ÁGUA

Flávio Melo de Luna <sup>1</sup>, Flávia de Medeiros Aquino <sup>2</sup>, Francisco Fechine Borges <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestrando em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, [flavio.luna@cear.ufpb.br](mailto:flavio.luna@cear.ufpb.br); <sup>2</sup>Doutora em Engenharia de Materiais, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, [flavia@cear.ufpb.br](mailto:flavia@cear.ufpb.br); <sup>3</sup>Doutor em Engenharia de Processos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, [francisco.fechine@ifpb.edu.br](mailto:francisco.fechine@ifpb.edu.br).

Este artigo apresenta o detalhamento dos estudos, do projeto e testes realizados do desenvolvimento de um dessalinizador solar de baixo custo, construído em ferrocimento e alvenaria, com sistema de bombeamento e pré-aquecimento da água salobra. O equipamento poderá ser utilizado na Região do Semiárido Nordeste, possibilitando às famílias dessa região o acesso à água potável a partir de uma tecnologia social de baixo custo, de fácil aquisição no mercado local, com materiais com boa resistência e durabilidade e adequados à sua confecção, como tijolos, laje, isopor, vidro, canos de PVC e mangueiras. Os testes iniciais demonstraram que o dessalinizador apresenta produção diária de cerca de 4 litros/m<sup>2</sup>.dia, dentro das estimativas citadas na literatura para este tipo de equipamento. Estudos complementares estão sendo realizados, considerando os aspectos inovadores deste projeto e a sua replicabilidade nas condições do Semiárido, de forma que possa ser facilmente construído e utilizado, amenizando um dos mais sérios problemas da região, que é o acesso à água doce e de qualidade adequada ao consumo humano.

**Palavras-chave:** energia renovável, dessalinização solar, semiárido nordestino, água potável.

### 1 – Introdução

A escassez e o uso abusivo de água doce constituem, hoje, uma ameaça crescente ao desenvolvimento humano e à proteção do meio ambiente”. A saúde e o bem-estar de milhões de pessoas, a alimentação, o desenvolvimento sustentável e os ecossistemas estão em perigo. É necessário e urgente que a gestão dos recursos hídricos se efetue de forma mais competente e eficaz do que tem sido feita até hoje. Esta conclusão não é apenas teórica, nem se refere a um futuro remoto. O problema é atual e afeta a humanidade de hoje. A sobrevivência de milhões de pessoas exige uma ação imediata, competente e eficaz. Mas se, de um lado, o problema das águas representa uma ameaça à humanidade, por outro lado, ele apresenta desafios altamente promissores. A água é um valioso elemento promotor do desenvolvimento e do progresso (MONTORO, 1993).

É importante reafirmar a importância da água para a manutenção da vida, sendo essencial em todos esses processos. A água cobre cerca de 75% da superfície do nosso planeta, sendo que 97,5% está nos oceanos (água salgada), ou seja, imprópria para o consumo

humano, a não ser que seja realizado um dos processos de dessalinização por tecnologias já conhecidas, como: osmose reversa, eletrodialise, compressão de vapor, destilação flash multiestágio, destilação multi efeito e a destilação solar, o que, em alguns casos, requer um investimento muito alto.

Restam somente 2,5% de água doce, embora apenas 0,3% desta esteja ao alcance do homem, estando a restante distribuída pelas águas subterrâneas, glaciares e outros (MORRISON, MORIKAWA, MURPHY & SCHULTE, 2009).

Segundo Formoso (2010), um dos maiores problemas do semiárido brasileiro é a escassez de água durante os períodos de estiagem, fato agravado pela presença de grande quantidade de sais dissolvidos nos mananciais disponíveis, provindos naturalmente de rochas que compõem o solo da região e das características de aridez do clima. Essa salinidade torna, muitas vezes, a água disponível imprópria para o consumo humano, agricultura e até mesmo para consumo animal.

No Nordeste, de acordo com relatos históricos, a seca aparece a intervalos próximos a dez anos, podendo se prolongar por períodos de três, quatro, e excepcionalmente, de até cinco anos. A seca é conhecida no Brasil desde o século XVI. Os índices pluviométricos são baixos e os aquíferos são fundos e com águas impróprias para consumo (CAVALCANTI, 1988).

Cerca de 50% dos solos do Nordeste são representados por rochas do embasamento cristalino (granitos, gnaisses, xistos, etc.), de reduzida potencialidade hídrica, correspondendo essa área à localização das zonas de maior aridez dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, norte da Bahia e leste do Piauí. (MME, 2009). Essas rochas cristalinas apresentam baixos valores de porosidade e de permeabilidade primárias, o que acarreta uma circulação lenta dos fluidos e, conseqüentemente, maior tempo de permanência das águas percoladas nos aquíferos, com uma maior salinização das mesmas.

Segundo padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS), a reduzida parcela de água disponível no semiárido brasileiro apresenta teores de sais acima do aceitável para consumo humano. Isto porque, as circunstâncias climáticas que regem esta região, caracterizadas pela escassez, irregularidade e má distribuição das chuvas, favorecidas por altas temperaturas e elevados índices de evaporação, resultam em grandes perdas na estocagem dos açudes e, conseqüentemente, elevação nos teores de sais. No caso dos mananciais subterrâneos, embora protegidos do intenso processo de evaporação, também estão sujeitos à salinização, devido à intemperização das rochas do embasamento cristalino.

Hoje, existem tecnologias para o aproveitamento das águas subterrâneas que apresentam características salinas impróprias para o consumo. A principal tecnologia difundida para

dessalinização da água tem sido a da Osmose Reversa (OR), de alto custo, difícil manutenção e não dominada pelas populações rurais. Por outro lado, a dessalinização por destilação solar garante o aproveitamento da água salobra para o consumo humano, animal ou mesmo na agricultura, (SOLUÇÃO, 2010).

Nesse processo de dessalinização solar, o aquecimento da água aparece como uma das aplicações mais práticas do uso da energia solar, pois no tocante à economia de energia elétrica, é uma opção viável enquanto energia renovável. Além do mais, o Brasil possui alta incidência de radiação solar, principalmente na região Nordeste. Nesse contexto, ao lado de medidas convencionais para aumento da oferta de água potável, tais como a construção de cisternas e açudes, o uso de dessalinizadores solares unifamiliares, que aproveitem o potencial das energias renováveis disponíveis na região, tem despertado grande interesse de pesquisadores e pode vir a melhorar a qualidade de vida das famílias que vivem no semiárido nordestino, disponibilizando mais uma forma sustentável de convivência com a seca.

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de um dessalinizador solar de alvenaria e ferrocimento, analisando sua eficiência na dessalinização da água salobra para utilização no semiárido nordestino.

## **2 – Metodologia**

A metodologia utilizada para realização deste trabalho consistiu no levantamento bibliográfico sobre a dessalinização solar e tipos de coletores, em toda a sua dimensão, com identificação e comparação dos principais processos de dessalinização. A partir disso, foi feita a identificação e estudo dos materiais a serem utilizados no projeto, considerando que estes deveriam ser de baixo custo, de fácil aquisição local e que atendessem às características desejadas para esta tecnologia quanto à durabilidade, facilidade de uso, resistência à corrosão e ao calor.

Em seguida, o protótipo do dessalinizador solar foi projetado e construído, considerando o uso do ferrocimento e da alvenaria, objetivando a realização de testes e avaliações preliminares para adequação e definição da melhor arquitetura, visando a funcionalidade e eficiência do equipamento. Optou-se pela adoção de um modelo com sistema ativo, tendo a incorporação de um coletor solar de baixo custo seguido os critérios definidos quanto às características dos materiais.

Concluída a etapa de montagem do protótipo, foram iniciadas as avaliações preliminares do seu funcionamento, com levantamentos diários dos seguintes indicadores: radiação solar e

sua incidência; aquisição de dados de temperatura de forma periódica, em intervalos de tempo pré-definidos; e por fim, também foram obtidos os valores da velocidade do vento. A medição das temperaturas ocorreram no interior da câmara de evaporação (água aquecida), na área externa do vidro da cúpula, no fundo do tanque, no interior do coletor solar, e por fim, também foram obtidos valores da velocidade do vento e da temperatura ambiente.

Para análise do desempenho do modelo de dessalinizador projetado, foram utilizados sensores de temperatura e um sistema de coleta de dados baseado em *Arduino*, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* e *software* livres e de placa única, projetada com um micro controlador contendo suporte de entrada/saída embutido, com linguagem de programação padrão.

Foram realizadas leituras a intervalos de 30 minutos, entre 9:00 e 16:00 horas, ao longo do período de avaliação, para análise e determinação da eficiência térmica do protótipo. Neste período de medições térmicas, realizaram-se também as medições do volume de água salobra utilizada na alimentação do dessalinizador e o volume resultante do processo de destilação, entendida como água dessalinizada, para a análise de eficiência, em termos de produção por metro quadrado de área.

O dessalinizador projetado foi construído em alvenaria e ferrocimento, em estrutura suspensa a 1 metro do solo por meio de paredes de alvenaria. Foi construída uma laje medindo 1,20 m de largura x 2,30 m de comprimento, composta de trilhos, blocos de isopor, revestida com camada de ferrocimento, formando placa impermeável e com isolamento térmico, diminuindo as perdas de calor. Esta laje é dividida em dois compartimentos distintos, cada um deles com medida interna de 1 m de comprimento por 1 m de largura, área total de 1 m<sup>2</sup>, com paredes divisórias de 10 cm de largura por 5 cm de altura. Todo o equipamento foi pintado de preto, servindo como superfície absorvedora, conforme Figura 1.

O primeiro compartimento foi destinado à instalação da câmara de evaporação e condensação, onde é mantida uma lâmina de água de 1 a 3 cm. A cobertura é de vidro plano de 3 mm de espessura, com estrutura em alumínio, em duas águas, com 25° de inclinação. Há duas meias calhas de cano de PVC, instaladas nas laterais opostas para recolher a água dessalinizada condensada no vidro. A câmara foi hermeticamente fechada com cola de silicone, para se evitar ou diminuir ao máximo as perdas de vapor produzidas no seu interior.



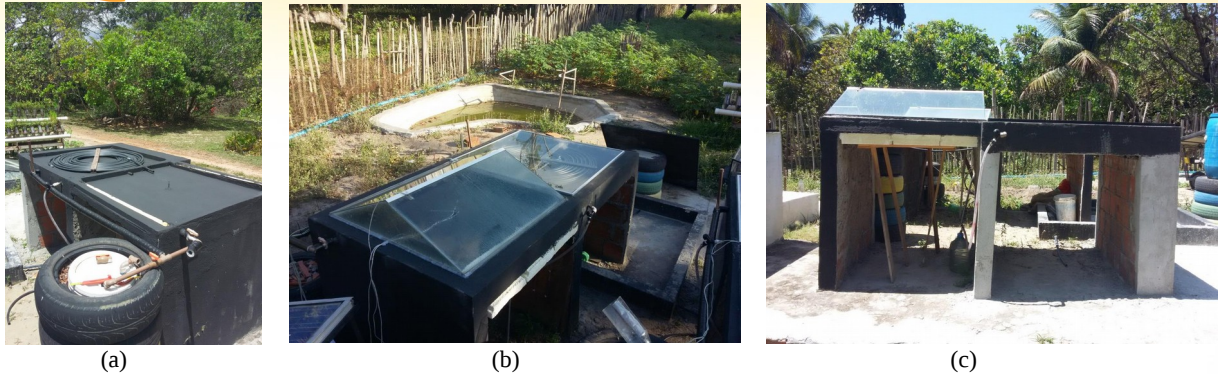


Figura 1 – (a) Base estrutural; (b) Vista completa, câmara e coletor; (c) Vista frontal da estrutura.

O segundo compartimento, com iguais medidas, é o coletor solar plano para o pré-aquecimento da água. Foi instalado um rolo de 50 m mangueira de polietileno de ½ polegada, preso a uma estrutura de fixação feita em ripa de madeira. Este compartimento é ligado à câmara de evaporação e condensação. Nele, a água é pré-aquecida e direcionada para a câmara pelo efeito sifão. A cobertura do coletor também é de vidro plano, estruturado em moldura de alumínio e colado com silicone para reduzir perda de calor. O efeito estufa acontece, então, em ambos os compartimentos.

A água utilizada para os testes foi proveniente de um poço tubular, localizado no município de Caldas Brandão, Estado da Paraíba, latitude: 07° 06' 09" S, longitude: 35° 19' 35" W e altitude de 75m. A água foi armazenada em um tambor plástico com 200 litros de capacidade, sendo o dessalinizador alimentado diariamente com 5 litros dessa água.

Abaixo do compartimento de evaporação e condensação, foi instalado um recipiente de armazenamento da água dessalinizada, neste caso, um garrafão de água mineral com capacidade de 10 litros, que recebe a mangueira proveniente da tubulação ligada às canaletas de recolhimento da água condensada. A mangueira foi instalada de forma que a saída fique encostando no fundo deste recipiente, para que a água nele acumulada sirva como selo, evitando-se perda de vapor e pressão do interior da câmara de evaporação e condensação para o meio, fato que pode provocar perda da eficiência do sistema.

Considerando-se o acúmulo de sais no fundo do tanque de evaporação, faz-se necessária a limpeza periódica do compartimento. Esta limpeza foi realizada a intervalos de 15 dias, com a remoção da cúpula de vidro e limpeza com água doce, sendo necessária a repintura do fundo com tinta preta, recolocação da tampa e realimentação do sistema, para novo ciclo de operação.

Na construção do dessalinizador solar, foi priorizada a utilização de materiais de baixo custo, de fácil aquisição no mercado local, de boa resistência e durabilidade, adequados à sua construção e à proposta da pesquisa, de forma a permitir a replicação, manutenção e uso da

tecnologia em regiões remotas do semiárido. Esta abordagem permite atender demandas locais referentes à dessalinização da água para o consumo humano nas unidades familiares do meio rural, de forma descentralizada e autônoma, como pode ser observado no Quadro 1, que relaciona os materiais utilizados e custo estimado do equipamento.

### 3 - Resultados e Discussão

Os resultados iniciais mostraram que é viável a construção de um dessalinizador solar com materiais de baixo custo como apresentados na Tabela 1, mantendo a produção de água dessalinizada dentro das margens de rendimento identificadas em outros equipamentos estudados e que utilizaram outros tipos de materiais mais complexos.

Realizado o cálculo, conforme Tabela 1, obteve-se o valor R\$ 932,50 (novecentos e trinta e dois reais e cinquenta centavos) para a construção e instalação de um dessalinizador unifamiliar de baixo custo. Estudos econômicos complementares devem ser realizados, incluindo avaliação de custo/benefício do dessalinizador solar.

Tabela 1 - Cálculo de custo do dessalinizador solar projetado.

Dessalinizador solar unifamiliar com pré-aquecimento da água				
Material	Unidade	Quant.	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
Trilhos de laje (4 x 2,3 m = 9,2)	m	10	9,00	9,00
Malha para laje 15 x 15	m <sup>2</sup>	1	42,00	42,00
Placa de isopor para laje	placa	10	4,00	40,00
Cimento	saco	4	23,00	92,00
Tijolos de 8 furos	und	100	0,50	50,00
Vedalit	l	1	12,00	12,00
Areia fina	m	1	60,00	60,00
Vidro transparente 3mm	m <sup>2</sup>	1	60,00	60,00
Cúpula de vidro (duas águas com 25°)	und	1	250,00	250,00
Cola de silicone	tubo	3	13,00	39,00
Tambor 50 litros com tampa	und	1	10,00	10,00
Garrafão de água 10l	und	1	18,00	18,00
Mangueira polietileno preta ½	m	50	0,73	36,50
Cano 50 mm branco	kg	1	5,00	5,00
Cano 1/2 marrom	und	1	3,00	3,00
Joelho de 1/2 cola rosca	und	2	1,50	3,00
Joelho de 1/2 cola	dia	2	1,50	3,00
Luvas simples de 1/2 cola rosca	und	2	1,50	3,00
Adaptadores para mangueira	und	6	1,00	6,00
Cola para cano	und	1	6,00	6,00
Abraçadeira	und	6	1,00	6,00
Torneira plástica de 1/2	und	2	6,00	12,00
Registro bola de ½	und	1	9,00	9,00
Cantoneira de alumínio	m	4	5,00	20,00

Tinta para o coletor (pinta piso base água)	galão	1	57,00	57,00
<b>Total Custo estimado</b>				<b>932,50</b>

Em relação às características físico-químicas da água, como expresso no Tabela 2, as amostras analisadas antes e após o processo de dessalinização solar apresentaram diferenças significativas na sua salinidade, condutividade e dureza, o que demonstra a eficiência do processo.

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos da água, antes e pós dessalinização solar

Parâmetro	Amostra 1 (antes da dessalinização)	Amostra 2 (após a dessalinização)
Salinidade (‰)	1,7	0,02
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1596,5	18,0
Dureza total ( $\text{mg.L}^{-1}\text{CaCO}_3$ )	292,0	10,0

Com relação à tinta, inicialmente utilizamos uma adequada para pisos, marca Coral, tipo Pinta Piso Concreto. De acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico (FISPQ N° 0001/2013), os ingredientes da sua composição tem Classificação de Risco 1, ou seja, pouco perigoso à saúde humana. No entanto, análises mais completas da água processada serão realizadas, para uma avaliação mais ampla de possíveis resíduos e seus efeitos para o ser humano.

Por outro lado, identificamos no mercado a existência de uma tinta atóxica com resistência à temperatura de até 250 °C, marca Aquaverti, tipo 3800WB, Alta Temperatura Colorida Ecológica, à base d'água, que também será avaliada.

No que se refere à produção diária, os volumes medidos nos testes preliminares demonstram que as quantidades diárias se encontram dentro do esperado para este tipo de equipamento, em torno de 4 litros/m<sup>2</sup>.dia. Os trabalhos caminham no sentido de tornar este processo mais eficiente, com o aumento deste volume por meio de melhorias na vedação, na cúpula de vidro e na utilização de um sistema fotovoltaico de circulação forçada da água pelo coletor solar utilizado.

Tabela 3 – Medição de temperaturas diárias.

Hora	Temperatura ambiente INMET (°C)	Temperatura do vidro da câmara (°C)	Temperatura da água na câmara (°C)	Diferença vidro-câmara (°C)	Temperatura da água no coletor (°C)	Radiação Solar (Wh/m <sup>2</sup> )
8:00	25,30	36,00	48,00	-12,00	43,68	-0,88
8:30	26,00	37,44	48,48	-11,04	48,00	25,00
9:00	26,20	39,36	51,36	-12,00	51,84	39,11
9:30	27,00	40,32	52,80	-12,48	54,24	80,00
10:00	27,50	44,16	54,24	-10,08	58,08	135,58
10:30	27,80	46,08	56,16	-10,08	61,44	310,00
11:00	28,20	46,56	56,16	-9,60	64,32	493,88
11:30	29,30	45,12	58,08	-12,96	64,32	630,00
12:00	29,80	47,52	59,04	-11,52	66,24	736,38
12:30	29,50	51,84	62,40	-10,56	73,44	800,00
13:00	30,10	53,28	66,72	-13,44	76,32	893,61
13:30	29,70	53,28	66,72	-13,44	75,84	895,00
14:00	29,40	51,84	66,24	-14,40	75,84	898,05
14:30	30,00	50,88	64,32	-13,44	74,40	800,00
15:00	30,20	47,52	62,40	-14,88	72,00	747,22
15:30	29,10	40,80	53,76	-12,96	67,68	742,00
16:00	28,00	36,96	48,96	-12,00	61,44	741,66
<b>Média</b>	<b>28,42</b>	<b>45,23</b>	<b>57,40</b>	<b>-12,17</b>	<b>64,07</b>	<b>527,45</b>

As temperaturas medidas tanto na câmara de evaporação, quanto no coletor solar variaram de acordo com a radiação solar disponível ao longo do dia, como observado na Tabela 3, com oscilações provocadas por nebulosidades, típicas para esse tipo de sistema, alcançando temperaturas no interior da câmara no período entre 09:00 da manhã e 15:00 horas que variaram entre 50 e 75 °C e no interior do coletor, neste mesmo horário, de 55 e 85 °C, chegando a ultrapassar os 78 °C no interior do coletor, nas condições climáticas, Figuras 2 e 3.



Figura 2 - Curva comparativa das temperaturas em algumas partes do dessalinizador

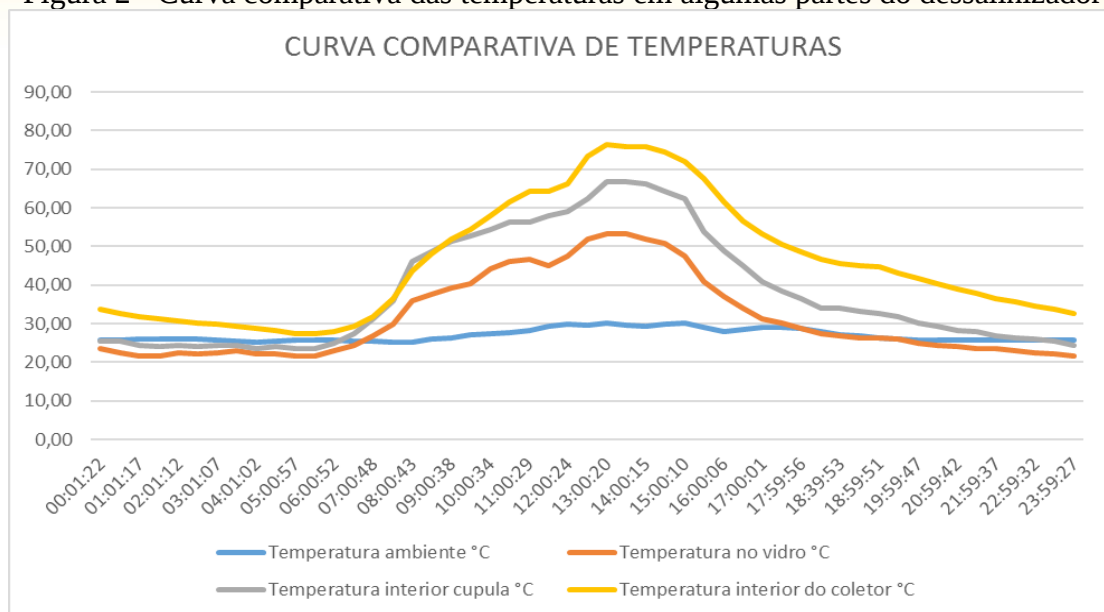
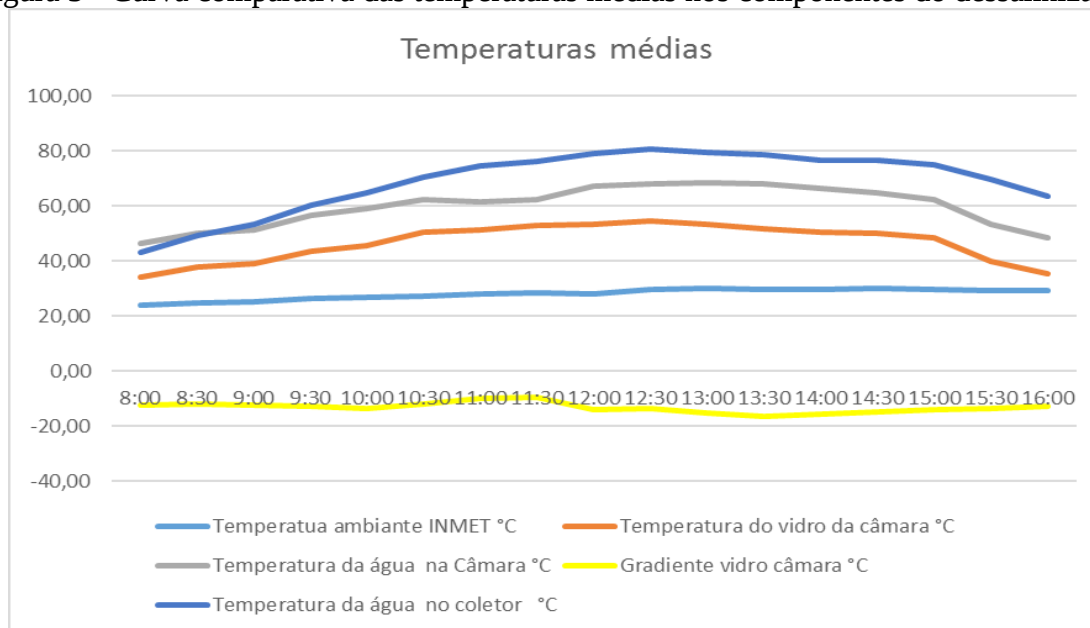


Figura 3 - Curva comparativa das temperaturas médias nos componentes do dessalinizador



#### 4 - Conclusões

Considerando que os estudos estão em andamento, e que os dados iniciais coletados e analisados demonstram que o equipamento desenvolvido apresenta viabilidade para utilização na dessalinização da água salobra do semiárido nordestino, faz-se necessário adequar as suas dimensões às necessidades mínimas de água dessalinizada/dia para uma família, além de complementar os estudos para melhorar seu rendimento através da utilização de um coletor mais eficiente.

Também é necessária a realização de melhorias no que tange à superfície de absorção da câmara, com o teste de materiais mais absorventes de calor, visando à obtenção de maiores temperaturas, mantendo por mais tempo o aquecimento e promovendo uma melhor eficiência na utilização da energia solar térmica.

O fato de serem utilizados materiais comuns, de fácil aquisição e durabilidade, torna a tecnologia acessível e socialmente viável para as populações de baixa renda do semiárido nordestino, onde as condições climáticas e de solo dificultam o acesso e disponibilidade de água doce de boa qualidade.

Por fim, para seu aperfeiçoamento, há necessidade de estudos complementares, que estão sendo feitos, visando à melhoria da eficiência térmica da tecnologia social aqui desenvolvida e em fase de testes preliminares.

## Referências

CAVALCANTI, C. **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, n.1, p. 97-126, jan./mar. 1988.

CLAYTON, R. (2006). *Desalination for Water Supply* FR/R0013 (35p), Review of Current Knowledge, Foundation for Water Research, U.K, Feb. 2006.

CONAMA 357, RESOLUÇÃO CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Nº 357, de 17 de março de 2005, disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>

FORMOSO, SILVIA CURPETINO. **Sistema de tratamento de água salobra: alternativa de combate a escassez hídrica no semiárido Sergipano**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, SECRETARIA DE GEOLOGIA, Relatório Técnico 015 “**Análise das Informações Sobre Recursos Hídricos Subterrâneos no País**” Mineração e Transformação Mineral-SGM. Consultor ALBERT MENTE, junho de 2009.

MONTORO, F. A água é a riqueza mais importante. Qualidade e Gestão da água. ILAN - Julho/1993

MORRISON, J., MORIKAWA, M., MURPHY, M., & SCHULTE, P. (2009). **Water Scarcity & Climate Change: Growing Risks for Businesses & Investors**. Ceres, Pacific Institute.

SOLUÇÃO para o semiárido, **Ziência**. [Recife], [2010]. Disponível em: <http://www.di.ufpe.br/~mundi/numero3/ziencia/outrasol.html>. Acesso em 25 maio, 2015.

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

SOUSA, M. A. S. B. **Estudo da viabilidade da destilação solar para polimento de águas produzidas de petróleo**. – Natal, 2010.

