

## **I-236 - MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA DE UM DESTILADOR SOLAR**

**Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Química pela UFPB. Doutora em Engenharia Mecânica pela UFPB. Professora da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Carlos Antônio Pereira de Lima**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Química pela UFPB. Doutor em Engenharia Mecânica pela UFPB. Professor da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Petra Rucielle Medeiros Marinho**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Keila Machado de Medeiros**

Engenheira de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFCG. Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFCG. Professora da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB.

**Fernando Fernandes Vieira**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Química pela UFPB. Doutor em Engenharia Mecânica pela UFPB. Professor da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Baraúnas, 351 – Bairro Universitário – Campina Grande – PB - CEP: 58429-500 - Brasil - Tel: (83) 3315-3333 - e-mail: [gilvania@uepb.edu.br](mailto:gilvania@uepb.edu.br)

### **RESUMO**

A medida que a problemática da escassez hídrica se agrava, torna-se imprescindível a busca por origens, meios e tecnologias alternativas que permitam corresponder à procura crescente deste recurso. Para que a água salgada ou salobra possa ser utilizada como origem de água para produção de água potável, é necessário recorrer a um processo que permita a remoção da excessiva concentração de sais nela presente, isto é, a uma tecnologia de dessalinização. A dessalinização é um processo que converte água salobra em águas de boa qualidade. A escassez de água de boa qualidade tem forçado o uso dessa prática em regiões áridas e semiáridas e nos países que fazem limite com mares ou lagos com águas salinas. O sistema de dessalinização é formado basicamente por um tanque com uma cobertura transparente, que permite a entrada da radiação solar com o consequente aumento da temperatura da água salobra que está contida em uma bandeja com o fundo pintado de preto. A longa exposição ao sol faz com que a água evapore e condense na superfície interior da cobertura. O condensado escorre pela cobertura e é recolhido lateralmente por uma calha existente que conduz a água destilada. O objetivo deste trabalho é o uso de um sistema de dessalinização de água utilizando energia solar, para a potabilização de águas salgadas e salobras do semiárido nordestino. Ao final do trabalho, observou-se a real eficácia do processo de dessalinização de águas salobras e salgadas, que é muito comum na região Nordeste. Fazendo um comparativo entre as formas de operação do dessalinizador para cada tipo de amostra apresentada, pudemos observar que a capacidade do mesmo em remover componentes indesejáveis ocorre de maneira satisfatória e diante do esperado, trazendo inúmeros benefícios como a preservação ambiental e da energia elétrica, englobando conscientização ambiental e consequente economia financeira, tudo isso garantindo a obtenção da água própria para consumo humano a partir de uma maneira sustentável e de baixo custo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dessalinização solar, Água salobra, Escassez hídrica, Energia solar.

### **INTRODUÇÃO**

A escassez hídrica no planeta, e principalmente no Brasil, tem sido uma pauta cada vez mais recorrente. Mesmo recebendo uma abundante pluviometria e sendo considerado um dos países mais ricos em água doce do planeta, as cidades enfrentam crises de abastecimento, das quais não escapam nem mesmo as localizadas na Região Norte, onde estão perto de 80% das descargas de água dos rios do Brasil (REBOUÇAS, 2003).

Aqui também se encontra o maior rio do mundo, o rio Amazonas, e parte do maior reservatório de água subterrânea do planeta, o Sistema Aquífero Guarani. No entanto essa água está mal distribuída. 70% das águas

doces do Brasil estão na Amazônia, onde vivem apenas 7% da população. Essa distribuição deixa apenas 3% de água para o Nordeste (LOPES, 2004).

Em busca de soluções para essa escassez, as águas subterrâneas têm sido mais exploradas pelo homem, todavia, as águas comumente encontradas são impróprias para o consumo devido os seus altos índices de sais dissolvidos. Esta característica em algumas regiões é função dos tipos de rochas encontradas, na região semiárida do Nordeste, há grande predominância de rochas cristalinas, as outras apresentam baixos valores de porosidade e de permeabilidade primárias, condicionando uma circulação lenta dos fluidos e consequentemente maior tempo de permanência das águas percoladas nos aquíferos, acarretando numa maior salinização das mesmas (SOUZA, 2006).

A medida que a problemática da escassez hídrica se agrava, torna-se imprescindível a busca por origens, meios e tecnologias alternativas que permitam corresponder à procura crescente deste recurso. Para que a água salgada ou salobra possa ser utilizada como origem de água para produção de água potável, é necessário recorrer a um processo que permita a remoção da excessiva concentração de sais nela presente, isto é, a uma tecnologia de dessalinização (ARAÚJO, et al., 2013).

A dessalinização é um processo que converte água salobra em águas de boa qualidade, e vem sendo praticada há mais de 50 anos. A escassez de água de boa qualidade tem forçado o uso dessa prática em regiões áridas e semiáridas e nos países que fazem limite com mares ou lagos com águas salinas (ARUNKUMAR, et al., 2012).

Os processos térmicos de dessalinização são eficientes, porém necessitam de uma demanda muito grande de energia e pessoal técnico qualificado para operação das unidades. Os processos de separação por membranas são energeticamente econômicos, práticos e produzem uma água de boa qualidade, porém como acontece nos processos térmicos, precisam de mão de obra qualificada para serem operadas, e além do mais muitas das membranas são importadas. Em contrapartida a estes, os processos térmicos ou de separação por membranas para dessalinização, surgem os processos de dessalinização através da energia solar, que possuem tecnologia simples, baixo custo energético, de baixa manutenção e que não requerem mão de obra qualificada (SOARES et al., 2006).

O uso da energia solar para tratamento de águas surge como uma alternativa interessante, já que utiliza uma fonte de energia gratuita, abundante e não poluente. Uma das maneiras de tratar águas com energia solar é através do destilador solar, um processo que imita, em pequena escala, o ciclo natural da água. Esse método é bastante eficaz na remoção de certos contaminantes, especialmente os sais. Os destiladores solares não precisam de qualquer outra fonte de energia para o seu funcionamento. A diferença entre as temperaturas de ebulição / fusão das impurezas e a água pura leva a evaporação e a purificação da água. Assim, a dessalinização solar é baseada na evaporação de água, recolha e condensação do vapor (ABAD et al, 2013).

Outro fator preponderante para a instalação de sistemas de dessalinização solar no Nordeste é grande oferta de energia solar, MALUF (2005) mostra que o Nordeste ocupa a quarta posição na lista dos lugares de maior insolação do planeta e é dono de 80% da potência instalada de energia solar do Brasil. Devido a fatores como a proximidade com o equador e o céu limpo, sem nuvens, o semiárido nordestino conta com mais de 3.000 horas anuais de brilho do Sol. É energia suficiente para iluminar escolas, residências rurais, bombas solares de irrigação, e claro, alimentar os dessalinizadores solares para suprir as comunidades de água de boa qualidade nos locais onde está qualidade não exista.

O sistema de dessalinização é formado basicamente por um tanque com uma cobertura transparente, que permite a entrada da radiação solar com o consequente aumento da temperatura da água salobra que está contida em uma bandeja com o fundo pintado de preto. A longa exposição ao sol faz com que a água evapore e condense na superfície interior da cobertura. O condensado escorre pela cobertura e é recolhido lateralmente por uma calha existente que conduz a água destilada.

Neste sentido, foi implementado neste projeto um sistema de dessalinização térmica via energia solar, que procura imitar a circulação natural da água. Com isso buscamos promover o levantamento da real eficiência deste processo, acompanhando e monitorando a qualidade da água obtida pelo dessalinizador solar para que assim possamos oferecer ao mundo mais uma maneira aprimorada para a obtenção de água própria para

consumo humano e estando atentos nas possibilidades de gerarmos maneiras economicamente viáveis para sua implementação.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o uso de um sistema de dessalinização de água utilizando energia solar, para a potabilização de águas salgadas e salobras do semiárido nordestino.

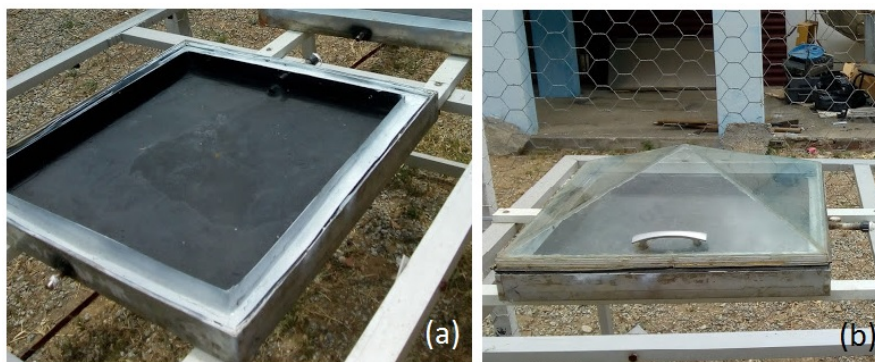
## METODOLOGIA

### Sistema experimental

O sistema foi instalado nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual da Paraíba, na cidade de Campina Grande – PB, a uma latitude de  $-0,7^{\circ} 13' 50''$ , longitude de  $-35^{\circ} 52' 52''$  e altitude de 551 m. Dois tipos de amostras foram estudadas, uma de alta salinidade (amostra 01) e outra de baixa salinidade (amostra 02). A amostra 1 foi retirada do mar da praia do Cabo Branco, na cidade de João Pessoa – PB, enquanto a amostra 2 pertencia à um poço semiartesiano localizado no bairro do Catolé, na cidade de Campina Grande – PB. Estas amostras nos possibilitariam a demonstração comparativa entre a capacidade do destilador solar para os diferentes tipos de água.

O destilador solar do tipo pirâmide possui uma área de  $0,25 \text{ m}^2$ , (50 cm x 50 cm), a bacia, Figura 1a, é construída em aço inox de modo a garantir uma maior durabilidade em contato com a água salgada, além de facilitar a troca térmica do calor absorvido. Na parte inferior e nas laterais é envolto por uma camada de isolante térmico para evitar as perdas de calor por condução e convecção. O seu interior foi pintado na cor preta, para que o potencial de aquecimento da água fosse reforçado.

Para a confecção da cobertura e suporte do destilador foi escolhido o vidro, Figura 1b, pois este gera efeito estufa, alta transmissão da radiação solar, baixa transmissão da radiação de baixa temperatura, maior umidade da água e alta estabilidade de suas propriedades mesmo após muitas horas de exposição (SOARES, 2004). A forma piramidal se deu devido à maior incidência dos raios solares em seu tempo de exposição, independentemente da posição do sol. A alimentação da água salobra no destilador se deu de forma contínua, através de um dispositivo que possibilitava o manejo gradativo da entrada da água salobra no dessalinizador. A altura da lâmina de água foi de 1,0 cm.



**Figura 1: Interior da bacia de alumínio pintada de preto e cobertura de vidro**

### Análises físico-químicas

A Tabela 1 mostra os parâmetros de potabilidade da portaria do Ministério da Saúde Nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, os mesmos foram tomados como referência para verificar se a água dessalinizada está dentro dos padrões de potabilidade.

**Tabela 1: Parâmetros físico-químicos de potabilidade, e métodos empregados.**

Parâmetros	Resultados	Métodos	VMP <sup>(1)</sup>
<b>pH</b>	Adimensional	Potenciométrico	6,0 a 9,5
<b>Condutividade</b>	µS/cm	Condutivimétrico	--
<b>Cloreto</b>	mg/L	Titulométrico - Mohr	250,0
<b>Dureza Total</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Titulométrico – EDTA	500,0
<b>Turbidez</b>	uT <sup>(2)</sup>	Nefelométrico	5,0
<b>Sódio</b>	mg Na/L	Fotometria de chama	200,0

Fonte: Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (2011)

(1) Valor máximo permitido.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de ser implementado o método de dessalinização, foram feitas as análises físico-químicas de alguns parâmetros de potabilidade das amostras, a fim de que fossem conhecidos os valores existentes na água analisada, possibilitando o conhecimento da capacidade do dessalinizador solar. Os resultados relacionados à água do mar e da água do poço semiartesiano são apresentados nas tabelas 2 e 3 respectivamente.

**Tabela 2: Parâmetros físico-químicos da amostra de alta salinidade, antes e após a dessalinização.**

Experimento	PARÂMETROS					
	pH	Cond. Elétrica (µS/cm)	Turbidez (uT)	Cloretos (mg/L)	Sódio (mg/L)	Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)
<b>Amostra bruta</b>	<b>7,29</b>	<b>54.500,00</b>	<b>5,13</b>	<b>25.702,00</b>	<b>26.000,00</b>	<b>22.500,00</b>
<b>1</b>	6,66	17,64	5,03	47,80	18,00	53,33
<b>2</b>	6,05	12,16	3,82	37,15	6,00	32,16
<b>3</b>	6,74	7,54	4,80	24,85	8,00	26,33
<b>4</b>	6,48	5,65	4,99	20,35	4,00	21,16
<b>5</b>	6,51	5,03	5,12	21,77	3,00	19,33
<b>6</b>	5,98	5,49	5,46	22,95	4,00	20,50
<b>7</b>	6,46	7,51	4,66	26,03	7,00	23,50

Após terem sido realizadas as análises propostas foram feitas as comparação da água proveniente do processo de dessalinização com as amostras de água bruta, levando em conta a portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. O pH da amostra 1 em sua forma bruta era de 7,29 e a amostra 2 tinha o pH igual a 7,00, após serem realizadas as análises das amostras dessalinizadas foi observado que o pH permaneceu entre 5,98 e 6,74 na amostra 1 e na amostra 2 entre 4,86 e 7,35. A Turbidez máxima permitida pela Portaria de Potabilidade 2914/11 do Ministério da Saúde é de 5 uT, onde as amostras mesmo antes de serem dessalinizadas já apresentaram valores próximos a esse valor, após serem dessalinizadas obtemos um valor mínimo de 3,82 uT para as águas salgadas e de 0,44 uT para as águas salobras.

**Tabela 3: Parâmetros físico-químicos da amostra salobra, antes e após a dessalinização.**

Experimento	PARÂMETROS					
	pH	Cond. Elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	Turbidez (uT)	Cloreto (mg/L)	Sódio (mg/L)	Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)
<b>Amostra bruta</b>	<b>7,00</b>	<b>380,00</b>	<b>3,21</b>	<b>2.177,33</b>	<b>212,00</b>	<b>691,66</b>
<b>1</b>	6,71	221,00	1,38	71,00	13,0	140,0
<b>2</b>	6,51	98,79	2,51	19,17	24,0	44,0
<b>3</b>	6,38	113,10	1,86	81,65	22,0	140,0
<b>4</b>	6,43	0,24	1,84	67,45	15,0	100,0
<b>5</b>	6,57	100,10	1,48	56,80	5,0	405,0
<b>6</b>	5,38	58,57	0,44	9,23	19,0	54,0
<b>7</b>	6,05	25,89	1,97	9,23	3,0	25,0
<b>8</b>	6,18	76,22	1,90	67,45	8,0	110,0
<b>9</b>	4,86	95,18	1,66	24,50	22,0	36,0
<b>10</b>	5,96	24,97	1,49	99,40	2,0	150,0
<b>11</b>	8,20	23,24	1,60	56,80	2,0	140,0
<b>12</b>	7,35	143,40	0,57	142,00	9,0	170,0

Padrões preocupantes para os tipos de águas trabalhadas, como o teor de Cloretos, conseguiram ser reduzidos de forma bastante satisfatória os valores para água salgada bruta foram reduzidos de 25.702,00 mg Cl<sup>-</sup>.L<sup>-1</sup> para até 20,35 mg Cl<sup>-</sup>.L<sup>-1</sup> e os valores para água salobra foram diminuímos de 2.177,33 mg Cl<sup>-</sup>.L<sup>-1</sup> para até 9,23 mg Cl<sup>-</sup>.L<sup>-1</sup>, onde o máximo permitido para a Portaria de Potabilidade 2914/11 do Ministério da Saúde é o valor de 250 mg Cl<sup>-</sup>.L<sup>-1</sup>.

Nas análises de Dureza total, onde na Portaria o máximo permitido é de 500 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>, conseguimos reduzir de 22.500,00 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> existentes na água salgada para até 19,33 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> e de 691,66 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> para até 25 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> na água salobra. Porém o parâmetro mais significativo foi o de sódio, onde trabalhávamos com águas de teores altíssimo de salinidade, 26.000 mg Na.L<sup>-1</sup> nas águas salgadas do mar e 212 mg Na.L<sup>-1</sup> nas águas salobras, onde conseguimos os valores máximos de redução de até 3 mg Na.L<sup>-1</sup> e 2 mg Na.L<sup>-1</sup>, respectivamente.

## CONCLUSÕES

Ao final do trabalho, observou-se a real eficácia do processo de dessalinização de águas salobras e salgadas, que é muito comum na região Nordeste. Fazendo um comparativo entre as formas de operação do dessalinizador para cada tipo de amostra apresentada, pudemos observar que a capacidade do mesmo em remover componentes indesejáveis ocorre de maneira satisfatória e diante do esperado, trazendo inúmeros benefícios como a preservação ambiental e da energia elétrica, englobando conscientização ambiental e consequente economiza financeira, tudo isso garantindo a obtenção da água própria para consumo humano a partir de uma maneira sustentável e de baixo custo.

Diante da crescente busca por energias renováveis e a conscientização dos nossos recursos finitos, cabe à comunidade juntamente com os investidores trabalharem juntos para que este seja uma realidade cada vez mais presente no nosso país, incentivando também as pesquisas para que sejam desenvolvidas técnicas de aperfeiçoamento para os processos que dispomos e assim beneficiar ainda mais a comunidade de forma sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde, Padrão de Potabilidade. Portaria 2914/11. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)> Acesso em: out. 2017.
2. LOPES, J. T. Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar tipo bacia com cobertura assimétrica. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2013.
3. MALUF, A. P. Destiladores Solares no Brasil, Monografia do curso de Especialização em Fontes Alternativas de Energia, Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais – Brasil 2005.
4. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1998.
5. ARAÚJO, A.C. Contribuição para o estudo da viabilidade/sustentabilidade da dessalinização enquanto técnica de tratamento de água. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2013.
6. ABAD, H.K.S., GHIASI, M., MAMOURI, S.J., SHAFII, M.B. A novel integrated solar desalination system with a pulsating heat pipe, Desalination, 2013.
7. SOUZA, L.F., Dessalinização como fonte alternativa de água potável, Norte Científico, v.1, n.1, 2006.
8. REBOUÇAS, A.C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. Bahia análise & dados, v. 13, p. 341-345, 2003.
9. ARUNKUMAR T., JAYAPRAKASH R., DENKENBERGER D., AHSAN, A., OKUNDAMIYA, M.S., KUMAR, S., TANAKA H., AYBAR, H.Ş. An experimental study on a hemispherical solar still, Desalination, 286, 342–348, 2012.
10. SOARES, T.M., SILVA, I.J.O., DUARTE, S.N., SILVA, E.F. F.E. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2006.