

SUMÁRIO EXECUTIVO

# SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO E PURIFICAÇÃO DE ÁGUA

SECRETARIA DE AVALIAÇÃO E GESTÃO DA INFORMAÇÃO  
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME

# SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO E PURIFICAÇÃO DE ÁGUA

GABRIEL FRANCISCO DA SILVA,

MIKELE CÂNDIDA SOUSA SANT'ANNA,

NADJMA SOUZA LEITE,

DANILO FRANCISCO CORRÊA LOPES,

JOÃO ANTÔNIO BELMINO DOS SANTOS,

ANTÔNIO MARTINS OLIVEIRA JUNIOR

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS. AV. MARECHAL RONDON SN.

## RESUMO

---

Atualmente os maiores desafios para humanidade é a oferta de água, energia e alimentos. Para atender estas demandas, devido ao crescimento populacional e utilização de novas tecnologias, cada vez mais se exige maiores ofertas destes recursos. A terra é constituída de mais de 70% de água e na sua grande maioria é água salgada, salobra ou imprópria para o consumo e utilização nas atividades humanas. O tratamento adequado destas águas requer processos que consomem muita energia e muitos deles ficam inviáveis economicamente. A utilização de fontes renováveis de energias e materiais de baixo custo pode ser uma alternativa para aumentar a oferta de água potável e para produção de alimentos. São várias as técnicas de dessalinização as quais podem ser classificadas em processos térmicos, processos com o uso de membranas entre outros. Os principais processos térmicos são: destilação flash de múltiplo estágio, destilação de múltiplo efeito, destilação por compressão de vapor, destilação por meio de energia solar e congelamento. Os processos com o uso de membranas são: filtração, ultrafiltração, osmose reversa, osmose inversa e eletrodialise. Os outros processos podem ser processos conjugados e por troca iônica. A melhor técnica para dessalinização depende do tipo da água e da finalidade do seu uso. Este trabalho faz uma abordagem de todas as técnicas de dessalinização de água e propõe um sistema de dessalinização e purificação de água utilizando energia solar com materiais de baixo custo para atender famílias de baixa renda e em locais isolados onde o fornecimento de água e energia é precário. O sistema de dessalinização e purificação de água proposto mostrou-se adequado para atender a demanda de consumo de uma família. O custo de montagem do sistema ficou em torno de R\$900,00 (novecentos reais). Nos experimentos realizados, o sistema destilou em média 0,5 litros de água por hora. Atende a uma família e purifica em média 20 litros de água por semana, operando entre os horários de 11:00 a 15:00 horas.

**PALAVRAS CHAVE:** DESSALINIZAÇÃO, DESTILAÇÃO, PURIFICAÇÃO, ENERGIA SOLAR, ÁGUA.

# 1. INTRODUÇÃO

---

O abastecimento de água potável para as necessidades humanas é um problema em muitos países, pois, a escassez de água de boa qualidade, junto a uma política de regulamentações e de cobranças pelo uso da água tem conduzido a uma busca cada vez maior por soluções que visem o tratamento adequado da água. Para suprir essa demanda surge a necessidade de aplicação de fontes alternativas para produção de água potável a partir de água salgada, salobra e água doce contaminada, fazendo o uso das técnicas de dessalinização.

Segundo Souza (2006) mais de três quartos da superfície da terra está coberta por água salgada, embora essa água seja importante para alguns meios de transportes e para a pesca, ela é muito salgada para manter a vida humana ou para as atividades do campo. Fatores tais como clima, características geológicas, tipos de solos e distância em relação ao mar vão determinar a salinidade das águas naturais. Em regiões áridas ou semiáridas é comum a salinização das águas, devido à própria constituição natural das mesmas. O manejo inadequado do solo também pode causar um aumento da salinidade.

Para Carvalho et al. (2004) a disponibilidade de água potável em todo o mundo vem diminuindo de forma a merecer atenção especial de entidades internacionais e da comunidade científica. Segundo estudo publicado (UNESCO, 2004) até a metade deste século a escassez de água atingirá de 2 a 7 bilhões de pessoas em mais de quarenta países.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, OMS, o Brasil é um país privilegiado em termos de recursos hídricos, pois possui 12% de toda a água da superfície do planeta. No entanto, a distribuição dessa água no território nacional não é a ideal, uma vez que 72% desses 12% se localizam na região norte, onde vive apenas cerca de 7% da população e onde a capacidade de oferta média de água por habitante nos rios está acima de 20.000 m<sup>3</sup>hab<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>. Por outro lado, o Nordeste brasileiro, com 28% da população do país, possui apenas 3% daquela oferta, 2/3 dos quais localizados na Bacia do Rio São Francisco. O estado da Bahia, que inclui o Rio São Francisco como seu maior aliado, cortando o território baiano de sul a norte, tem capacidade para atender cerca de 3 mil m<sup>3</sup>hab<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (MENESES et al., 2011).

O Nordeste Brasileiro é um dos mais afetados com a falta de água potável. No Nordeste, de acordo com relatos históricos, a seca aparece em 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 (CAVALCANTI1, 1988).

A região semiárida nordestina apresenta ainda particularidades desfavoráveis à disponibilidade de água, tais como a má distribuição das chuvas e a falta de uma periodicidade suficiente para o aproveitamento eficaz da água (CARVALHO et al., 2004).

Somado a isso, do subsolo da região, sem risco de esgotamento dos mananciais, poderiam ser extraídos pelo menos 19,5 bilhões de m<sup>3</sup> de água por ano (40 vezes o volume explorado hoje). O uso dessa água, porém, é limitado por um problema

típico da água da região nordestina: o teor de sal. Grande parte da área está situada sobre rochas cristalinas e o contato no subsolo por longo tempo entre a água e esse tipo de rocha favorece a sua salinização (MENESES et al., 2011). Aproximadamente 75% dos poços perfurados nessa região apresentam uma quantidade total de sólidos dissolvidos acima de 500 ppm, água inadequada ao consumo humano (MME, 2004).

Diversas são as ações governamentais com vistas a amenizar os problemas gerados pela seca, principalmente no que se refere à disponibilidade de água para o consumo humano. Por exemplo, a política de recursos hídricos implementada pelos governos federal, estadual e municipal está voltada para o aumento da oferta de água potável, por meio da construção de cisternas, barragens, estações de tratamento de águas e perfuração/instalação de poços. Diante dessa realidade, grande atenção foi dada aos programas de dessalinização, o que permitiu a exploração de águas subterrâneas por meio da instalação de unidades de dessalinização, com a finalidade de converter água salgada ou salobra em água potável (MATOS et al., 2005).

Segundo Amorim et al., (2004) por iniciativas dos poderes públicos, foram implantados desde 1996, equipamentos de dessalinização em municípios do Nordeste brasileiro, inicialmente por doações da Fundação Banco do Brasil, Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente e do projeto Água Boa (OLIVEIRA, 2001).

A dessalinização é um modo de tratamento eficaz na remoção de uma grande percentagem de sais e elementos patogênicos, prejudiciais à saúde humana. Após este tratamento, a água está perfeitamente apta para consumo humano (GUERREIRO, 2009).

O processo de dessalinização essencialmente efetua a separação da água salina em dois fluxos: um com baixa concentração de sais dissolvidos (água doce ou potável) e, o outro contendo um concentrado de sais dissolvidos (fluxo de salmoura). O dispositivo requer energia para operar e pode usar variadas tecnologias para efetuar a separação (SOUZA, 2006).

Muitas dificuldades, entretanto, estão presentes na implantação dos equipamentos de dessalinização e incluem a falta de operação e manutenção adequadas, que causam a paralisação dos mesmos. Além da produção de rejeito que normalmente é despejado no solo sem qualquer critério, provocando a erosão e a salinização do mesmo (AMORIM et al., 2004). Devido a estes problemas, diversas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para tratamento e utilização destes rejeitos. Silva et al. (2008) destacam a cristalização seletiva de sais, cultivo de tilápia rosa (*Oreochromis sp*) e irrigação da erva sal (*Atriplex nummularia*) (PORTO et al., 2006).

A dessalinização, portanto, é uma forma de tratamento de água que se encontra em forte expansão e com um futuro promissor, graças aos avanços nas tecnologias de dessalinização, cada vez mais eficazes, que permitem uma redução acentuada do preço do metro cúbico de água tratada. As centrais de dessalinização podem utilizar processos que podem ser divididos, de forma genérica, em dois grandes grupos: os processos térmicos e a tecnologia de membranas.

Younos e Tulou (2005) destacam os seguintes processos térmicos: destilação solar; destilação flash múltiplo estágio; destilação múltiplo estágio; destilação por compressão a vapor e congelamento. No que diz respeito às tecnologias de membranas, existem os seguintes métodos: micro filtração; ultra filtração; nano filtração; osmose inversa; eletrodialise e eletrodialise reversível. Outra técnica, também utilizada e que não se enquadra em nenhum dos dois grupos, é a permuta ou troca iônica a qual é caracterizada como um sistema em que há uma troca constante dos íons entre as fases sólida e líquida em torno do sólido, onde a resina é a fase sólida e a água salgada a fase líquida.

Segundo Souza (2006) a maior parte da água dessalinizada do mundo é produzida por destilação das águas do mar. Para isso ser feito economicamente, numa estação de dessalinização, o ponto de ebulição é controlado por ajuste da pressão da água que está sendo destilada. Para reduzir significativamente a quantidade de energia necessária para a vaporização, o processo de destilação usualmente adota múltiplas ebulições em sucessivos estágios, cada qual operando a uma menor temperatura e pressão.

O processo térmico corresponde ao processo natural do ciclo da água, ou seja, a água salgada aquece, evapora, condensa e precipita sob a forma de água potável. Para evaporar a água é necessário atingir-se uma temperatura adequada em relação à temperatura ambiente, assegurando uma grande quantidade de energia para manter o processo (GUERREIRO, 2009).

O processo destilação flash de múltiplo estágio - MSF começa com a circulação da água salgada fria por um sistema de tubos que estão envoltos em vapor quente. O diferencial térmico existente faz com que a água salgada aqueça enquanto esta transita pelos tubos, após ter passado pelos tubos, a água entra na chamada caldeira de salmoura onde passa para a primeira fase. A fase não é mais do que a designação de cada câmara, a elevada temperatura no interior da fase faz com que uma parte da água vaporize instantaneamente. O vapor de água condensa e precipita numa calha dentro da fase que conduz a água doce para o exterior da câmara. A salmoura restante passa para a fase seguinte, onde o processo ocorre em temperatura de operação inferior à anterior. Esta diminuição da temperatura deve-se à diminuição de pressão entre fases consecutivas. As fases seguintes processam-se de um modo análogo até que a salmoura atinja valores de concentração de sais muito elevados, sendo esta enviada para o meio receptor (GUERREIRO, 2009).

Para Sousa (2006) o processo de evaporação "flash" pode ser descritos para "n" estágios: a água salobra passa por uma sequência de trocadores de calor, nos quais a temperatura é progressivamente acumulada, por condensação do vapor produzido nas correspondentes câmaras de expansão (flash), atingindo de 80 a 110 °C. Depois de aquecimento suplementar entre 90 e 120 oC por uma fonte externa de vapor, a água salina é expandida consecutivamente através de um número n de estágios, contendo trocadores de calor, onde sua pressão de vapor é progressivamente reduzida.

A MSF usa qualquer tipo de fonte de energia e tem capacidade para tratar uma grande quantidade de água. No entanto, é uma técnica muito dispendiosa uma vez que necessita de uma grande quantidade de energia para alimentar o processo

(GUERREIRO, 2009). De acordo El-Dessouky et al. (2004) este processo representa mais de 56% do mercado de dessalinização do mundo.

De acordo com Guerreiro (2009), a destilação de múltiplo efeito – MED inicia-se com a aspersão da água salgada fria diretamente sobre um conjunto de tubos quentes, parte da água com o calor, evapora. O vapor de água quente segue por um tubo que liga os dois efeitos, nome atribuído a cada etapa do processo MED. É este vapor de água pura que vai fornecer calor ao efeito seguinte, sendo depois coletada como água pura. A água que não evapora cai no fundo e é bombeada para o efeito seguinte onde começa novamente o ciclo do processo MED. Este processo repete-se até que a salmoura esteja com parâmetros de concentração elevados, momento no qual é encaminhada para o meio receptor. Tal como na MFS a pressão vai diminuindo entre cada efeito, bem como a temperatura.

A MED é uma técnica com baixo consumo elétrico, quando comparada a outras técnicas (MSF ou osmose inversa). A temperatura de funcionamento é baixa, o que evita grande corrosão e não necessita de um complexo pré-tratamento da água. Opera 24 horas por dia exigindo pouca supervisão e com grande eficiência térmica, a limitação da MDE é que esta funciona melhor anexada a uma central elétrica (GUERREIRO, 2009).

Para Guerreiro (2009) a destilação por compressão de Vapor – VC é aplicada em pequena ou média escala. O princípio de funcionamento deste processo é semelhante ao do MED, à diferença é que a VC tem por base a compressão do vapor de água gerado na evaporação da água a altas pressões. Nesta técnica há duas formas distintas de operação: a primeira a compressão do vapor pode ser feita por meio de um compressor mecânico (MVC); enquanto que na segunda, são adicionadas pequenas quantidades de vapor a alta pressão por meio de um ejetor (TVC).

A VC é considerada por alguns autores o processo de destilação mais eficiente. A capacidade de funcionar com temperaturas baixas possibilita a utilização de materiais metálicos, como o alumínio, pois o ataque da corrosão é reduzido (GUERREIRO, 2009).

A destilação por compressão de vapor é geralmente utilizada para unidades de dessalinização em larga e média escala. As plantas que utilizam este processo são geralmente desenhadas para tirar vantagem do princípio de redução da temperatura do ponto de ebulição, através da redução de pressão. O processo pode ser único ou com vários efeitos, o destilado e o rejeito salino são descarregados através de um trocador de calor (SOUSA, 2006).

No congelamento direto, a água é pré-resfriada por troca de calor e entra numa torre de congelamento ou “freezer” onde a pressão é mantida a aproximadamente 400 N/m<sup>2</sup> (0,004 atm). Sob tal pressão, a água salina entra em ebulição e libera vapor. Este calor de evaporação é removido da água resfriada e dá início à formação dos cristais de gelo. O líquido residual é o resíduo salino concentrado, que através de trocadores de calor, volta à temperatura ambiente e é afastado do processo, com exceção de uma parcela que retorna ao “freezer”, para controle da fluidez do rejeito. Os cristais de gelo são raspados na direção do derretedor, que para impedir a entrada de ar e facilitar a entrada dos cristais, mantém a mesma pressão do

“freezer”. No recipiente de derretimento, o gelo é distribuído e entra em contato com o vapor d’água do “freezer” que é condensado, derretendo o gelo (SOUSA, 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. Segundo Bezerra (2004) através da destilação solar, as remoções de sais da água de produção são superiores a 98%. Porém, esse método tem algumas limitações, destacando-se a sua baixa produtividade (SANTOS et al., 2008).

A destilação solar usa a energia térmica do sol para processar a dessalinização da água. Uma central deste gênero, não é mais que um grande tanque com uma cobertura transparente, que permite a entrada da radiação solar com o consequente aumento da temperatura. 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 (GUERREIRO, 2009).

Para Sousa (2006) os destiladores solares são dispendiosos na construção, embora a energia térmica deva ser livre de custos, é necessária também energia adicional ao bombeamento da água. Além disso, são necessários gastos com manutenção e operacionalização do sistema. A Figura 1 ilustra o desenho esquemático de destilação solar.

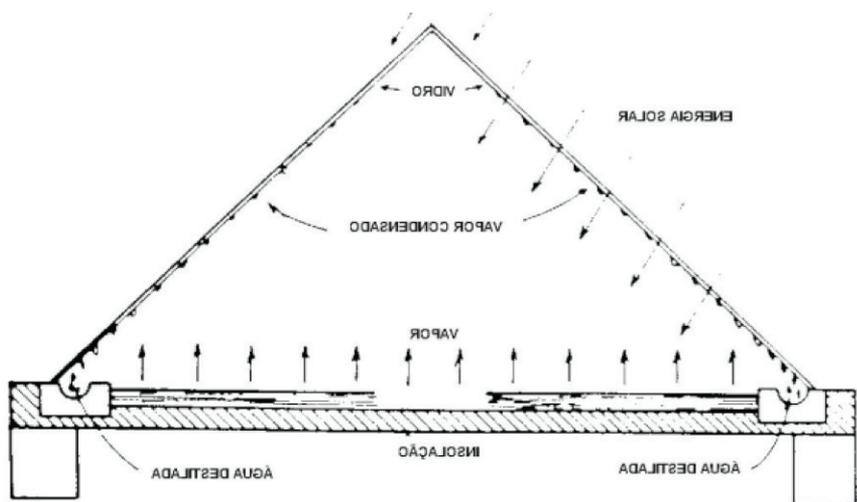


Figura 1- Destilação por evaporação através de energia solar

FONTE: SOUSA (2006).

É uma solução interessante, pois os custos de energia são muito baixos. Contudo, trata-se de uma técnica que está sujeita às condições climáticas, que nem sempre estão favoráveis à realização do processo. Por outro lado, para que seja realmente eficiente, requer uma área de implantação muito grande (GUERREIRO, 2009).

A proposta de Mattoso (2009) para a dessalinização solar foi de recolher a água (salobra) do poço em recipiente bem vedado, com o interior sob vácuo (total ou parcial), o mesmo cata-vento que é utilizado para extrair a água de 70 a 150 metros de profundidade, tem força suficiente para extrair o ar de recipiente (reservatório). As paredes do reservatório são metálicas e devem estar expostas diretamente à luz do sol e quando se aquecem o calor solar é capaz de elevar a temperatura no interior do recipiente (reservatório) a mais de 60°C, sob o vácuo parcial (coluna de mercúrio igual a 118,03mm), a água entra em ebulição à temperatura de 55°C.

Segundo Mattoso (2009) uma construção, com desenho ou projeto adequado do recipiente (reservatório) permitiu que esse vapor, produzido a 55°C por efeito do sol, seja condensado pela mesma água extraída do poço tubular, fazendo-a circular por fora da "serpentina do alambique", que quando acoplado a uma parte integrante do reservatório passa a constituir o dessalinizador.

O Instituto Eco-Engenho confeccionou uma cartilha de como construir um dessalinizador de água. O equipamento baseia-se em uma aplicação tecnológica antiga, mas utilizando novos materiais. Utiliza a destilação de água através da evaporação/condensação em uma estufa em forma de barraca coberta com plástico transparente. A Figura 2 ilustra o dessalinizador solar de baixo custo.



Figura 2- Destilador solar de baixo custo

FONTE: INSTITUTO ECO-ENGENHO

Carvalho et al. (2004) desenvolveram estudos sobre o destilador de baixo custo, conforme Figura 3, para uso familiar, para atender a comunidades na região do semiárido brasileiro. Construção de dois dessalinizadores utilizando materiais de fácil aquisição e baixo custo (madeira, forro de PVC, lona plástica, vidro, tinta preta). O volume diário de água produzida neste destilador foi de até de 2,6 litros de água destilada/dia, obtendo-se uma concentração de sal na faixa de 200 mg/L, abaixo do limite de 500 mg/L para água doce, classe 1 (CONAMA 357, 2005). Esse destilador apresenta baixo investimento inicial e tecnologia simples, necessitando de pouca manutenção e grande confiabilidade.

## 2. OBJETIVOS

---

### 2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo realizar o estudo, montagem e teste de um sistema de dessalinização e purificação de água utilizando energia solar aplicando matérias de baixo custo, com capacidade para atender uma família para o consumo de água potável.

### 2.2 Objetivos Específicos

Realizar o desenvolvimento do design e layout do sistema de dessalinização e purificação de água na esfera familiar;

Realizar a montagem do sistema de dessalinização e purificação de água no Laboratório de Tecnologias Alternativas;

Realizar testes para estudos de eficiência no sistema de dessalinização e purificação de água;

## 3. METODOLOGIA

---

### 3.1 - Design e layout do sistema de dessalinização e purificação de água

Foram desenvolvidos o design e layout do sistema de dessalinização e purificação de água de acordo com a finalidade: sistema de uso doméstico para uma família. O sistema de dessalinização e purificação de água de baixo custo para aplicação em comunidades carentes consta de um reservatório tubular exposto na horizontal com a parte superior de vidro, policarbonato ou uma película plástica resistente. O sistema pode ser montado numa estrutura flutuante para ser usado em reservatório de água, marés, tanques e pode ser montado em uma estrutura fixa. Pode ser montado modular com várias unidades para maiores quantidades de uso.

### 3.2 Montagem do sistema de dessalinização e purificação de água

O sistema foi montado em novembro de 2010 no Laboratório de Tecnologias Alternativas na Universidade Federal de Sergipe (UFS) com capacidade para atender uma família. Os materiais necessários para a construção foram: duas placas de vidro temperado medindo 200x80cm, uma folha de aço inox, barras de ferro de 4, 2, 1, 1/2 e 1/4 polegadas, tinta zarcão (anti-ferrugem), 4 roldanas, solda, silicone e discos de corte.

A montagem do sistema foi realizada por um soldador especializado. As etapas para montagem foram as seguintes: montagem da base com as barras de ferro de 1 polegada. A base foi acoplada às roldanas, a folha de aço inox foi utilizada para fazer base de reflexão dos raios solares, foram então acoplados a barra de ferro de 2 polegadas no centro de recepção dos raios refletidos pela lamina de aço.

A barra de 2 polegadas que foi inserida no centro de reflexão, foi seccionada em 3/4 do seu diâmetro, a parte de 1/4 foi colocada sobre a seção com 3/4 com concavidade para cima, transformando o tubo em uma outra geometria que serve para a distribuição da água ao longo do tubo, promovendo a sua evaporação. Dentro desta geometria foi colocada uma barra de ferro de 1/2 polegada por onde passa a água a ser purificada.

O espaço entre esta geometria e o tubo concêntrico foi recheado por um fluido oleoso capaz de manter a temperatura mais elevada. Este tubo dentro desta geometria fica no centro de reflexão da lamina de aço.

Foram colocadas duas placas de vidro com ângulos de 90° entre si, tendo como função a promoção do efeito estufa, aumentando a temperatura e provocando a evaporação da água, que condensa sobre as placas de vidro e são recolhidas por calhas feitas com tubos de aço inox seccionados na metade do seu diâmetro, montando sobre a borda da base com concavidade para cima. Nesta fase é coletada a água destilada.

Todas as partes constituídas por ferro receberam uma pintura com zarcão para evitar os processos de ferrugem. A vedação das placas de vidro foi realizada com a utilização de cola de silicone, todo o material foi cortado como auxílio da serra elétrica e com discos de corte para ferro e aço. As ligações entre as barras de ferro e a lâmina de aço inox foram realizadas com solda e com o auxílio da soldadeira.

É importante ressaltar que toda área de contato com a água bruta e de coleta de água destilada e purificada foi aplicada material de aço inox, para evitar maiores contaminações com a água processada para o consumo.

### **3.3 Testes de eficiência no sistema de dessalinização e purificação de água**

Após a montagem do sistema de dessalinização e purificação de água foram feitos alguns testes preliminares para verificar se o sistema tinha algum vazamento e sua eficiência na dessalinização e purificação. Foram verificados os locais de vazamentos e estes foram vedados como auxílio de Durepox. Nesta etapa foi preciso verificar vazamentos de tubos dentro de tubos de diâmetros maiores, sendo necessária a montagem e desmontagem do sistema, até a finalização dos testes e dos consertos necessários.

Foram feitas algumas alterações principalmente na configuração e no aumento da área espelhada para o aumento da eficiência de produção de água destilada e purificada.

Após o controle nas áreas de vazamento e as devidas alterações, foi colocado óleo de soja no interior do tubo trocador de calor. Foram então realizados os testes de vazão e aquecimento para verificar a eficiência do equipamento na purificação de água.

Os testes foram realizados com o auxílio de um termômetro digital Penta III, que mede temperaturas de -50 a 105°C, possuindo resolução de 0,1°C e exatidão de 0,3%. Os sensores foram dispostos em 5 diferentes pontos para leitura da temperatura no interior do sistema. Foram coletadas medidas em intervalos de tempo de

20min. A análise teve duração total de 8h e foi iniciada pela manhã, com intuito de verificar a curva de aquecimento do equipamento.

A água utilizada nos testes foi coletada bruta no reservatório do Rio Poxim, localizado na divisa entre as cidades de São Cristóvão e Aracaju no Estado de Sergipe no ponto de captação da água da DESO (Companhia de Saneamento de Sergipe).

Quando a água tem uma turbidez dentro dos limites, o procedimento de fervura ou filtração é suficiente para a purificação. Por isso os testes de temperatura são suficientes para analisar se água foi purificada.

Em casos em que a água não passa por tratamento primário é necessário à destilação da água, assim removendo os sais, materiais particulados e microorganismos. Para a destilação de água o processo foi diferenciado, pois não é necessário analisar a temperatura que a água evapora ou condensa. Para o resultado deste é necessário apenas calcular a razão do volume de água que é coletada na calha do equipamento pelo tempo de operação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Design e layout do sistema de dessalinização e purificação de água

O sistema piloto construído funciona apenas com energia solar e foi construído para ser utilizado em plataforma fixa, possui roldanas para facilitar o transporte, a movimentação e adequação no ângulo correto para a captação da luz solar.

Como apresenta a Figura 3, o sistema de dessalinização e purificação solar (1) é constituído por um tubo trocador de calor (2) montado no interior do sistema, seccionado em dois terços do diâmetro sendo que a secção de um terço foi soldada com concavidade para cima na secção de dois terços e acoplado um tubo no seu interior axialmente, tampo de vidro (3), superfície espelha refletora da luz solar (4), superfície preta ou fosca absorvedora (5), tubo conector (6) para alimentação de fluido térmico no tubo trocador de calor (2); Tubo pré-aquecedor (7), saída de água purificada (8), tubo de entrada de água fria (9) e saída de água condensadas no vidro (10).

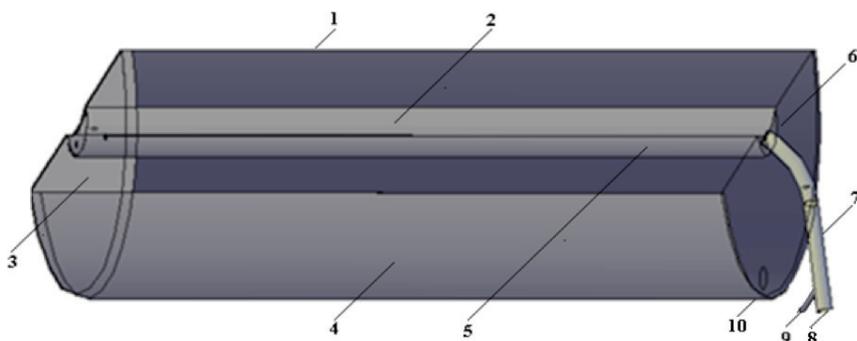


Figura 3 - Desenho do dessalinizador e purificador solar de água

Foram feitas melhorias na geometria do equipamento a fim de aumentar a eficiência de destilação. Foi proposta a alteração no design do sistema para aumentar a área espelhada, inclinação do vidro e inclusão de canaletas nas laterais do sistema para coletar a água condensada.

A ilustração apresentada na Figura 4 apresenta o novo sistema de dessalinização e purificação solar (1), constituído de: tubo trocador de calor (2) montado no interior do sistema, seccionado em dois terços do diâmetro sendo que a secção de um terço foi soldada com concavidade para cima na secção de dois terços e acoplado um tubo no seu interior axialmente, tampos inclinados de vidro (3), superfície espelha refletora da luz solar (4), superfície preta ou fosca absorvedora (5), tubo conector (6) para alimentação de fluido térmico no tubo trocador de calor (2); Tubo pré-aquecedor (7), saída de água purificada (8), tubo de entrada de água fria (9), e tubo de saída de água condensadas no vidro (10).

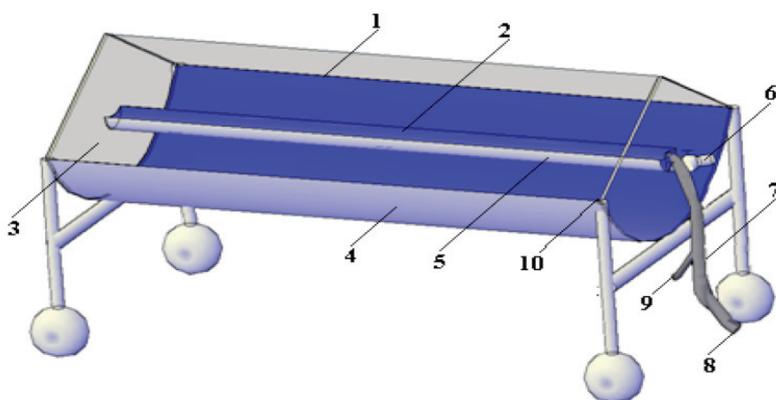


Figura 4 - Desenho do dessalinizador e purificador solar de água modificado  
Fonte: acervo próprio

#### 4.2 Montagem do sistema dessalinização e purificação de água

Inicialmente o sistema foi montado na configuração apresentada na Figura 5. O sistema foi montado em uma estrutura metálica tubular para ser aplicado em qualquer base próximo ao reservatório de água. No entanto pode ser montado também numa estrutura flutuante para ser usado dentro do reservatório de água, marés ou tanques. O sistema é provido de roldanas para facilitar o transporte e melhor posicionamento para recebimento da luz solar, também pode ser montado com vários módulos em serie o paralelo para destilar uma maior quantidade de água.

**Figura 5 – Montagem do dessalinizador e purificador solar**

FONTE: ACERVO PRÓPRIO



A Figura 6 apresenta o equipamento de dessalinização montado e em teste preliminares. Os resultados para purificação foram satisfatórios, atingindo temperatura até 89°C. Esta temperatura foi suficiente para diminuição da carga microbológica da água, no entanto a eficiência em dessalinizar a água foi baixa, pois a temperatura ideal seria acima de 100°C.



**Figura 6 – Testes no dessalinizador e purificador solar**

FONTE: ACERVO PRÓPRIO

A Figura 7 apresenta o sistema de dessalinização montado já com as modificações do design. Foram realizados testes de eficiência e foram medidas temperatura até 116°C na superfície do tubo trocador de calor (2). Os resultados para purificação foram satisfatórios também. Nos horários de 11:00 as 15:00, em dia ensolarado, o sistema manteve numa faixa de temperatura de 75 a 116°C, faixa esta ideal para purificação de água. A geração de vapor para produção da água destilada ainda foi

mínima, mesmo a água entrando em ebulição no tubo trocador de calor (2) o sistema ainda apresentou limitação em seu volume interno, onde os vapores condensavam na superfície do vidro, mas não escoavam para as bordas no tubo coletor.



Figura 7 - Sistema de dessalinização e purificação de água modificado

A Figura 8 apresenta uma ilustração do detalhe do sistema de dessalinização e purificação de água e o detalhe do reflexo da luz solar inserindo na parede do tubo trocador de calor. O sistema deve estar alinhado para  $15^\circ$  ao Norte para que tenha uma maior incidência da luz solar.



Figura 8 - Detalhe do foco solar no tubo trocador de calor

FONTE: ACERVO PRÓPRIO

#### 4.3 Testes de eficiência no sistema de dessalinização e purificação de água

As Figuras 9(a) e 9(b) apresentam o sistema de dessalinização e purificação solar de água em testes. Podemos observar que há uma formação de vapor condensado

na superfície do vidro e as gotículas formadas deslizam para as bordas do sistema procedendo assim a destilação da água. A água coletada no tubo de saída é uma água isenta de sais e impurezas a qual pode ser consumida.



**Figura 9 – Testes no dessalinizador e purificador solar**

FONTE: ACERVO PRÓPRIO

Foram feitas algumas alteração precipuamente na configuração e no aumento da área espelhada para o aumento da eficiência de produção de água destilada e purificada. Após o controle nas áreas de vazamento e as devidas alterações, foi colocado óleo de soja no interior do tubo trocador de calor. Foram então realizados os testes de vazão e aquecimento para verificar a eficiência do equipamento na purificação de água.

A tecnologia desenvolvida pode vir a ser uma alternativa de expressivo alcance social, podendo ser posteriormente ampliada e difundida entre outras comunidades. A realização deste projeto poderá ser fator significativo na redução da mortalidade infantil entre as comunidades carentes, principalmente do Estado de Sergipe.

O sistema de purificação e dessalinização para atendimento de uma família custou R\$ 900,00 reais distribuídos entre aquisição de materiais e pagamento de mão de obra especializada para a construção do equipamento. O dessalinizador construído com polietileno em substituição ao vidro temperado apresenta um custo menor no valor de R\$ 500,00.

O teste ocorreu em um dia normal de sol com condições satisfatórias do clima durante a execução do experimento e a temperatura de alimentação da água ficou na faixa de 26 °C a 35°C. A água utilizada nos testes foi coletada bruta no reservatório do Rio Poxim no ponto de captação da água da DESO (Companhia de Saneamento de Sergipe) próximo da Universidade Federal de Sergipe.

A Figura 10(a) ilustra a implementação do sistema com disposição dos sensores e demais aparatos adicionados para a realização do experimento. Os sensores foram dispostos da seguinte maneira: sensor 1 no interior do equipamento; sensor 2 na calha esquerda de coleta de água destilada; sensor 3 na saída da água purificada; sensor 4 na calha direita de coleta de água destilada; sensor 5 na entrada da água bruta a ser tratada

A Figura 10(b) ilustra o condensado sendo recolhido através da calha e sendo direcionado a uma bureta vedada para evitar maiores perdas por evaporação. O valor total de água destilada durante o experimento foi em média de 0,5 litros por hora e a água purificada foi em média de 15 litros de água por hora, entre os horários de 11:00 e 15:00 horas.



Figura 10– Aparato experimental

FONTE: ACERVO PRÓPRIO

A figura 11 apresenta a evolução da temperatura nos cinco sensores durante um dia de teste. Foi verificado que a máxima temperatura atingida foi em torno de 90°C no sensor 2.

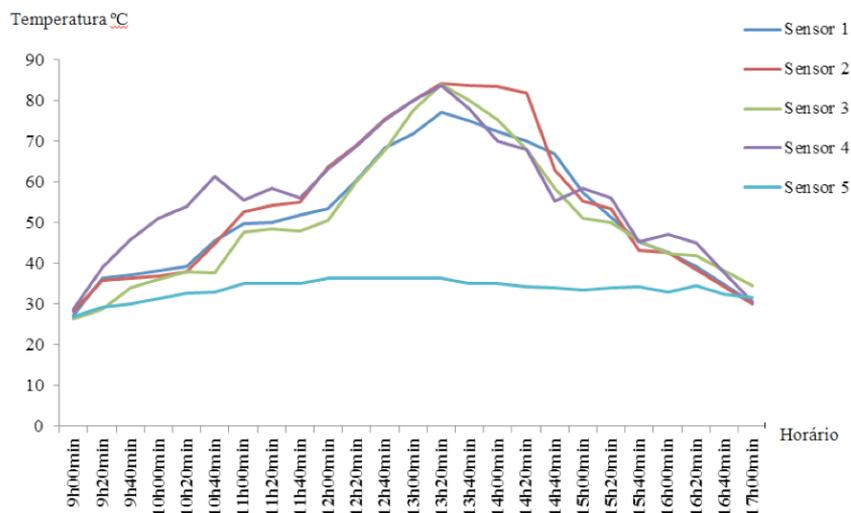


Figura 9– Evolução da temperatura durante um dia de teste no sistema

FONTE: ACERVO PRÓPRIO

## CONCLUSÕES

---

O gerenciamento dos recursos hídricos e a busca por novas tecnologias alternativas para dessalinização, tratamento e aproveitamento da água se inserem no programa de desenvolvimento sustentável. Diversas tecnologias de dessalinização estão sendo apresentadas com o intuito de disseminar novas tecnologias sociais sustentáveis.

O sistema desenvolvido para purificação de água, pode ser aplicado para purificar águas recém empoçadas de chuvas, rios, açudes e outros reservatórios onde a água tem baixa turbidez, mas tem uma alta carga microbiológica. O uso da temperatura é uma técnica viável para eliminar a carga microbiológica.

O uso de outra fonte de energia para aumentar a eficiência do sistema de dessalinização e purificação de água pode ser uma alternativa viável. A complementação térmica pode ser por meio de uma resistência elétrica acoplada a uma placa solar.

O sistema de dessalinização e purificação de água solar foi testado e foi comprovada sua eficiência para purificação de água, quanto ao uso para dessalinização, sua eficiência foi baixa, mas quando se complementou o aquecimento por outra fonte de energia sua eficiência melhorou significativamente 35%.

Esta tecnologia pode vir a ser uma alternativa de expressivo alcance social, podendo ser posteriormente ampliada e difundida entre outras comunidades. O uso da água potável é um fator significativo na redução da mortalidade infantil entre as comunidades carentes da região do semiárido.

O sistema de dessalinização construído teve custo em torno de R\$ 900,00 reais e apresentou um rendimento de 0,5 litros água dessalinizada por hora e rendimento de 15 litros de água purificada por hora, entre os horários de 11:00 a 15:00 horas. Melhorias ainda estão sendo implementadas no equipamento para obtermos um maior rendimento de água destilada.

## REFERÊNCIAS

---

- ALHAZMY, M. M. Multi stage flash desalination plant with brinefeed mixing and cooling. *Energy*. v.36. p. 5225-5232. 2011.
- 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.
- ARAIÁ, E. Dessalinização. Você ainda vai beber dessa água, *Revista Planeta*. Edição 455. Pág. 1. <http://www.terra.com.br/revistaplaneta/edicoes/455/artigo182615-1.htm>.
- BEZERRA, M. A. Desenvolvimento de um destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor. Universidade Federal do Rio Grande do Norte/RN. 2004.
- BOURCIER, W. L.; WOLERY, T. J.; WOLFE, T.; HAUSSMANN, T. A.; BUSCHECK, T. A.; AINES, R. D. A preliminary cost and engineering estimate for desalinating produced formation water associated with carbon dioxide capture and storage. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. p. 1319–1328. 2011.
- CARVALHO, P. C. M. e JUCÁ, S. C. S. Instalação de eletrodialise acionada por painéis fotovoltaicos. An.4. *Enc. Energ. Meio Rural*. 2002.
- CARVALHO, P. C. M.; PONTES, R. T.; OLIVEIRA JR, D. S. Estudo estatístico de radiação solar visando o projeto de unidades de dessalinização acionadas por painéis fotovoltaicos sem baterias. In *Proceedings of the 5th 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, n.,1, p. 97-126, jan./mar. 1988.
- EL-DESSOUKY, H.; ETOUNEY, H.; AL-JUWAYHEL, F.; AL-FULAIJ, H. Analysis of multistage flash desalination flashing chambers. *Chemical Engineering Research and Design*, p.967–978. 2004
- ECO-ENGENHO – Tecnologia ao Desenvolvimento Sustentável. Cartilha: Como construir um Dessalinizador. Instituto Eco-Engenharia Tecnologia ao Desenvolvimento Sustentável Solar. [http://ieham.org/html/docs/Cartilha\\_Dessalinizador\\_Solar\\_Ecoengenhao.pdf](http://ieham.org/html/docs/Cartilha_Dessalinizador_Solar_Ecoengenhao.pdf). Acesso em 20/05/2011.
- GHANI, S. AL-DEFFEERI, N. S. Impacts of different antiscalant dosing rates and their thermal performance in Multi Stage Flash distiller in Kuwait. *Desalination*. v.250. p. 463-472. 2010.
- GUERREIRO, M. L. F. B. Dessalinização para produção de água potável: Perspectivas para Portugal. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto/Portugal. 2008.
- HOSSEINI, A. R. AMIDPOUR, M. BEHBAHANINIA, A. Thermoeconomic analysis with reliability consideration of a combined power and multi stage flash desalination plant. *Desalination*. v. 278. p. 424-433. 2011.

MATOS, J. F.; MOTA, S.; AVELINO, F. F.; BRAGA, E. A. S.; PÁDUA, V. L. Geração de hipoclorito de sódio a partir da eletrólise de rejeitos de dessalinizadores de água. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande/MS. 2005.

MENESES, J. S.; CAMPOS, V. P.; COSTA, T. A. C. Desenvolvimento de dispositivo caseiro para dessalinização de água salobra a partir de sementes de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara). Nota Técnica. Química. Nova. p.1-7. 2011.

OLIVEIRA, R.C.G. Efeitos sócios-ambientais do uso da tecnologia de dessalinização no município de Caturité-PB. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB. 120p. 2001.

PADILHA, A.; RODRÍGUEZ, L. G.; GÁLVEZ, J. B. Design recommendations for a multi-effect distillation plant connected to a double-effect absorption heat pump: A solar desalination case study. *Desalination*. v.262. p. 11–14. 2010.

PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C.; DUTRA, M.T.; PAULINO, R.V.; BRITO, L.T. L.; MATOS, A.N.B. Rendimento da *Atriplexnummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.97-103, 2006.

RALUY, R. G.; SCHWANTES, R.; SUBIELA, V. J.; PENÑATE, B.; MELIÁN, G.; BETANCORT, J. R. Operational experience of a solar membrane distillation demonstration plant in Pozo Izquierdo- Gran Canaria Island (Spain). *Desalination*. v.290. p.1-13. 2012.

SANTOS, R. P.; CHIAVONE-FILHO, O.; SCHUHLI, J. B.; BEZERRA, M. A. S.; MELO, J. L. S.; OLIVEIRA, J. A.; ANDRADE, V. T.; RAMOS, R. E. M. Aquecimento solar da água produzida de petróleo. *Rio Oil & Gas Expo and Conference, RIO DE JANEIRO/RJ*. 2008.

SCAPINI, L. Avaliação do desempenho da osmose reversa e da troca iônica para tratamento de efluente de curtume (aimoré couros ltda – encantado) visando a reutilização da água. *Dissertação de Mestrado. Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul*. 2007.

SILVA, C. M. M. S.; VIEIRA, R. F.; OLIVEIRA, P. R. Salinidade, sodicidade e propriedades microbiológicas de Argissolo cultivado com erva-sal e irrigado com rejeito salino. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v.43, n.10, p.1389-1396. 2008.

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

YOUNOS T., TULOU K. E. Overview of Desalination Techniques. *Journal of Contemporary Water Research & Education Issue*. p. 3-10. 2005.