

**CONEM 2016**  
CONGRESSO NACIONAL DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

**21-25**  
**AGOSTO DE 2016**  
**FORTALEZA - CEARÁ**

## DESENVOLVIMENTO DE UM DESSALINIZADOR TÉRMICO SOLAR PARA USO NO SETOR RURAL DO AGRESTE PERNAMBUCANO

Luana Meyrelles da Silva, luanameyrelles9@gmail.com<sup>1</sup>

Felipe Vilar da Silva, felipe.vilar@caruaru.ifpe.edu.br<sup>2</sup>

Hugo Augusto Marinho Moreira, hugo\_1biro@hotmail.com<sup>3</sup>

Aluscka Aretuza Vieira a Silva, aluscka@hotmail.com<sup>4</sup>

<sup>1234</sup>IFPE, Distrito Industria III - Estr. do Alto do Moura, Caruaru - PE, 55040-120

**Resumo:** Este trabalho propõe utilizar o sol como fonte sustentável e barata de energia para alimentar um sistema de dessalinização de água na região Agreste de Pernambuco. O desenvolvimento de um concentrador solar parabólico é analisado, com o objetivo de aumentar a eficiência energética do processo. Basicamente, o concentrador é constituído por uma placa de material refletor, um tubo absorvedor contendo fluido industrial térmico e um dispositivo suporte. As etapas de construção do mesmo, como escolha do fluido térmico a ser utilizado, projeto do concentrador, material para confecção, são apresentadas ao longo deste artigo. O processo baseia-se em convergir a luz refletida na superfície espelhada e côncava do concentrador em uma linha focal direcionada ao tubo absorvedor. A radiação é então transformada em energia térmica na forma de calor latente, ou sensível de fluido. A energia solar convertida pelo tubo em energia térmica é usada, posteriormente, para dessalinização de água imprópria para consumo devido a elevada concentração de sal. Este concentrador é projetado para dessalinizar uma quantidade diária razoável para consumo de 43,8 litros de água de acordo com dados médios de irradiação solar da região, disponibilizados pelo BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) e tem como propósito beneficiar a população carente e vulnerável à escassez.

**Palavras-chave:** dessalinizador, concentrador solar, energia solar

### 1. INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos essenciais à vida. Em particular, para a manutenção da vida humana. Chega a atingir 70% da composição do organismo humano, dependendo da faixa etária do indivíduo. Além de ser necessária em todas as atividades bioquímicas e fisiológicas do corpo, é indispensável para o processo de fotossíntese e atividades como agricultura e pecuária, que garantem a subsistência humana.

A ocorrência de doenças de veiculação hídrica na população do semiárido - em especial a que reside na zona rural - associadas a má qualidade da água consumida por parte significativa da população e, a inexistência ou precariedade de estruturas de tratamento de esgoto, reflete, segundo Cirilo (2007), nos indicadores de mortalidade infantil na região. Costa (2000) desenvolveu uma pesquisa em que relacionou a inserção de sistemas regulares de abastecimento ou tratamento de água em sistemas simples com a diminuição significativa de doenças como, por exemplo, a diarreia, sobre a população infantil de áreas rurais de Pernambuco.

Na região Nordeste, é estimado uma quantidade de 100.000 poços perfurados. Estes são usados como alternativa para o suprimento de diversas necessidades e, devido o fato de a maior parte da região semiárida do Nordeste ter formação cristalina, estão sujeitos a algumas limitações. Como exemplo Cirilo (2007) cita:

- baixas vazões, na maioria dos casos até 2 m<sup>3</sup>/h;
- teores de sais superiores, em parcela significativa dos poços, ao recomendado para consumo humano;
- altos índices de poços secos, dadas as peculiaridades geológicas.

Uma possível solução para o problema é a dessalinização da água salobra - um processo que, apesar de popular, ainda apresenta uma produção insignificante no Brasil. Este processo trata-se da retirada físico-química de sais da água, tornando-a doce, ou potável. O processo de dessalinização mais comum, encontrado na natureza e responsável pelo ciclo hidrológico é a dessalinização solar. A radiação solar é absorvida pelo mar fazendo a água evaporar, o vapor eleva-se até que esfria e condensa ao chegar ao ponto de orvalho, e a água doce desce em forma de chuva. Os métodos mais conhecidos de dessalinização são o por osmose reversa, a eletrodialise, a destilação multiestágios, a dessalinização térmica e o método por congelamento.

O método de dessalinização térmica se destaca por utilizar a radiação solar como fonte de energia. Para o desenvolvimento do tipo de sistema que capta esta energia, torna-se possível a construção de um Concentrador Solar

Parabólico (CSP), o qual utiliza placas com geometria parabólica para direcionar os raios solares a um foco onde um tubo absorvedor captará a energia refletida.

Diante da existência de potencial solar significativo e da necessidade de água potável disponível para consumo da população vulnerável a essa escassez das regiões agreste e semiárido, visando o efeito que essa precariedade traz, como exemplo o crescimento do índice de mortalidade infantil, o objetivo do presente trabalho é utilizar o sol como fonte sustentável e barata de energia, otimizando sua eficiência através de um concentrador solar parabólico que é constituído por uma placa de material refletor, um tubo absorvedor contendo fluido industrial térmico e um dispositivo suporte. Essa energia solar convertida pelo tubo em energia térmica será usada, posteriormente, para dessalinização de água imprópria para consumo devido a elevada concentração de sal. Este concentrador será projetado para dessalinizar uma quantidade diária razoável para consumo de acordo com dados médios de irradiação solar da região, disponibilizados pelo BDMEP.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Transferência de Calor e Radiação

Segundo Incropera-2014 define-se como Transferência de Calor a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço. Os diferentes processos de transferência são classificados de acordo com o modo que a transferência ocorre. Sendo estes três: condução, convecção e radiação. Na condução, o gradiente de temperatura existe em um meio estacionário, podendo ser um fluido ou sólido. A convecção é caracterizada pela transferência de calor que ocorre entre uma superfície estacionária e um fluido em movimento quando estiverem eles a diferentes temperaturas. Já a Radiação térmica está relacionada à emissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas. Incropera (2014) acrescenta que todas as superfícies com temperatura não nula emitem energia desta forma, portanto, entre duas superfícies onde existe um gradiente de temperatura e ausência de um meio interposto participante, há transferência de calor líquida, por radiação.

Na condução a energia cinética dos átomos e moléculas (isto é, o calor) é transferida por colisões entre átomos e moléculas vizinhas. O fluxo de calor ocorre das temperaturas mais altas, quando as moléculas possuem uma energia cinética maior, para as temperaturas mais amenas, energia cinética das moléculas menor. A capacidade de condução de calor das substâncias (condutividade) varia consideravelmente. Em geral, sólidos conduzem melhor que líquidos e líquidos, por sua vez, conduzem melhor que gases. Enquanto metais são excelentes condutores, o ar é um péssimo condutor de calor. Em consequência, a condução só é importante entre a superfície da Terra e o ar que entra em contato direto diretamente em contato com a superfície. Como meio de transferência de calor para a atmosfera como um todo, a condução é o menos significativo e pode ser omitido na maioria dos fenômenos.

Independentemente da forma da matéria, a emissão de radiação pode ser atribuída a mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas que formam a matéria. O transporte de energia ocorre por meio das ondas eletromagnéticas que são, alternativamente, fótons. Ao ser comparada com a transferência de calor por condução ou por convecção, a radiação, diferente das outras, não necessita de um meio para se propagar, sendo mais eficiente, inclusive, no vácuo, e por ser a única forma de transferência de calor que pode ocorrer no espaço vazio, é a forma pela qual o sistema Terra-Atmosfera recebe mais energia do Sol e libera energia para o espaço. A parcela que pode ser absorvida por uma superfície é responsável por aumentar a energia térmica do material. A taxa na qual a energia radiante é absorvida, por unidade de área da superfície, pode ser calculada se a propriedade radiante da superfície, a absorvidade, for conhecida. Com valores numa faixa entre 0 e 1, se a absorvidade for menor que 1, a superfície é opaca, significando que porções da irradiação podem também ser transmitidas. Outra propriedade importante, necessária para determinar o fluxo térmico emitido por uma superfície real é a emissividade, com valores que variam entre 0 e 1, sendo 1 a superfície considerada como um corpo negro, segundo Incropera (2014).

A radiação pode incidir sobre uma superfície através de sua vizinhança, sendo ela oriunda de fontes especiais, como o sol, ou de outras superfícies às quais as áreas de interesse estejam expostas. A Irradiação é definida como a taxa em que todas as radiações, independentemente das fontes, incidem sobre uma área unitária da superfície.

### 2.2 Concentrador Solar Parabólico (CSP)

Um Concentrador Solar Parabólico (CSP) tem como objetivo transformar a radiação solar em energia térmica na forma de calor sensível, ou latente de fluido. Existem dois tipos de CSP, o cilíndrico e o parabólico circular. Uma das principais aplicações do concentrador cilíndrico é o aquecimento de água para geração de energia elétrica. O coletor cilindro parabólico (CCP) é caracterizado pela superfície refletora cilindro-parabólica que reflete a radiação solar para o tubo absorvente colocado na linha focal da parábola. A energia térmica necessária para o processo de evaporação é o calor proveniente da radiação solar que incide no concentrador solar e é transferido para o tubo que por sua vez transfere para a água salgada.

O concentrador parabólico cilíndrico consiste em convergir a luz refletida em sua superfície, côncava espelhada, em uma linha focal direcionada a um tubo absorvedor. Este tubo é acoplado à base do CSP e para melhor desempenho contém um fluido industrial térmico que irá aquecer, armazenando a energia que servirá para dessalinizar a água posteriormente. Uma de suas vantagens é a possibilidade de acoplar um sistema de rastreamento solar, através de sensores de luminosidade, por exemplo. Para isso é necessário que a estrutura seja construída sobre uma base móvel, capaz de direcionar o concentrador de acordo com os dados coletados. Assim, o sistema funcionará autonomamente durante todo o período do dia. O CSP é capaz de atingir temperaturas na faixa dos 350°C.

### 2.3 Flúidos Térmicos

O Fluido de Transferência de Calor (FTC) ou Fluido Térmico é um componente essencial no projeto de um dessalinizador alimentado por energia térmica solar, pois influi significativamente na eficiência do receptor, determina o tipo de ciclo termodinâmico e o desempenho que o mesmo pode alcançar, além de determinar a tecnologia de armazenamento de energia térmica que deve ser usada. Em geral, o FTC deve ser compatível com os materiais e meios de armazenamento, ser capaz de operar na requerida faixa de temperatura, receber e transferir o calor com facilidade, e circular bem em um espaço confinado. Para garantir uma boa eficiência e as características anteriores, os principais requisitos para FTC solares foram identificados por Benoît (2014) e podem ser resumidos como se segue:

1. Faixa de temperatura de trabalho estendida e alta estabilidade térmica:  
Um baixo ponto de fusão é capaz de reduzir a exigência de rastreamento de calor (usado para evitar solidificação de FTC em tubos), e um elevado limite superior de temperatura permite a utilização de ciclos termodinâmicos eficientes.
2. Boas propriedades de transferência de calor:  
Uma alta condutividade térmica do FTC é desejada para aumentar o coeficiente de transferência de calor. A baixa viscosidade é benéfica para reduzir a queda de pressão e potência de bombeamento. Um calor específico alto permite o armazenamento térmico direto.
3. Baixa pressão de trabalho:  
Permite a utilização de paredes finas de tubo. Além de reduzir o gradiente de temperatura da parede.
4. Aspectos operacionais, tais como segurança e comportamento de corrosão:  
Propriedades de baixo risco e um bom material compatível são fortemente recomendados, a vantagem se estende economicamente resultando num baixo custo de manutenção. Este tópico portanto, tem papel principal na utilização de um FTC.

Para resumir, FTC deve ser cuidadosamente projetado para ter alta capacidade de calor específico, estabilidade térmica elevada, alta condutividade térmica e uma ampla faixa de temperatura operacional.

Ainda segundo Beinot (2014) A eficiência média anual de usinas CSP é, atualmente, aproximadamente 16% e é limitada principalmente pela temperatura do fluido de trabalho. Portanto, é essencial a utilização do fluido de trabalho mais apropriado à aplicação, a fim de minimizar os custos do receptor solar aumentando a eficiência do ciclo de conversão. Óleo orgânico, ar a pressão atmosférica, água e sais fundidos vêm sendo utilizados como fluidos para o trabalho de transferência de calor em usinas de Concentradores Solar Parabólicos. Alguns fluidos atuais e outros em desenvolvimento são listados por Beinot (2014) e encontram-se abaixo:

- Líquido fluido de transferência de calor;
- Gás de fluidos de transferência de calor;
- Água / vapor.
- Suspensões de partículas usadas como meios de transferência de calor.

Uma característica crítica do FTC é a sua capacidade de permuta de calor com uma parede. Isto pode ser materializado pelo coeficiente de transferência de calor  $h$ . A única maneira de determinar o coeficiente de transferência de calor  $h$  em um estudo teórico é por meio de uma correlação com número de Nusselt, como será realizado na sessão 5.

### 2.4 Tecnologias Solares de Termo Dessalinização

Fawzi Banat (2006) afirma que o uso da energia solar em processos de dessalinização térmica é uma das aplicações mais promissoras das energias renováveis. Além disso, Banat classifica dessalinização solar em direta e indireta; na dessalinização direta a utilização da energia solar produz um destilado diretamente no coletor solar, enquanto a indireta é realizada através da combinação de técnicas de dessalinização convencionais, tais como a dessalinização de vários estágios de flash (MSF), compressão de vapor (CV), osmose reversa (RO), destilação por membrana (MD) e eletrodialise, com coletores solares para geração de calor. Dessalinização solar direta, em comparação com as tecnologias indiretas, requer grandes áreas de terra e tem uma produtividade relativamente baixa. No entanto, é competitiva para as usinas de dessalinização indireta na produção em pequena escala devido ao seu custo relativamente baixo e simplicidade.

### 3. ESCOLHA DE MATERIAIS E METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO

#### 3.1. Calhas Receptoras

O material escolhido para fabricação das calhas receptoras foi metal reaproveitado de tambores de lixo. A escolha justifica-se devido ao fácil acesso, baixo custo e contribuição ecológica. A construção será feita retirando-se as tampas do tambor e fazendo um corte vertical, transformando-o em uma placa retangular parabólica. A concavidade obedecerá ao dimensionamento posterior realizado por um software. A superfície das calhas será revestida por uma tinta de alta refletividade com o objetivo de aumentar a transferência de calor por radiação.

Dois tambores serão transformados em placas e dispostos paralelamente para favorecer a circulação natural, conhecida como termo-sifão. Além disso, segundo Bezerra (2001), na montagem em paralelo não se verifica aumento de temperatura do óleo de um módulo do coletor para o seguinte, desde que todos sejam fabricados com as mesmas dimensões.

Para que o processo de termo-sifão de fato ocorra, Bezerra (2011) recomenda que o depósito de estocagem de água quente - a água em processo de ebulição e dessalinização - seja montado de forma que sua parte inferior esteja a 0,6 m de altura em relação à saída de água quente dos coletores. Esta disposição fará com que a coluna de água obtida exerça uma determinada pressão e juntamente com a diferença de temperatura da água do sistema, facilitem a circulação de água por termo-sifão.

#### 3.2. Tubo Absorvedor

O tubo absorvedor é por onde o fluido térmico escoar, absorvendo a energia refletida pela calha receptora. O mesmo deve estar localizado na linha focal da parábola, que por questões construtivas foi mantida a uma distância de 0,4 m, mantendo o tubo no interior da parábola e garantindo assim um maior fator de forma e absorção da radiação.

Aço comercial foi o material escolhido para fabricação do tubo absorvedor, considerou-se sua disponibilidade no mercado e eficiência em relação ao custo. O principal problema encontrado na construção de um dessalinizador é a perda de calor do sistema e, conseqüentemente, de energia. Para minimizar este empecilho o tubo é coberto por uma camada de tinta preta de alta absorvidade, além de revestido por outro tubo de vidro com o objetivo de aumentar a área de absorção e diminuir as perdas para o meio. O diâmetro do tubo é estimado a partir do volume de fluido térmico disponível, 6,2 litros. O tubo assume então, as seguintes dimensões: 20 mm de diâmetro e 5 metros de comprimento, envolto por um tubo de vidro de 30 mm de diâmetro.

#### 3.3. Fluido Térmico

Para a seleção do fluido térmico adequado, uma tabela com parâmetros como composição química, viscosidade cinemática, temperatura máxima de operação, densidade e grau de decomposição foi construída e analisada. O fluido térmico mais adequado e selecionado para aplicação foi o *Duratherm G*.

#### 3.4. Estrutura de Suporte

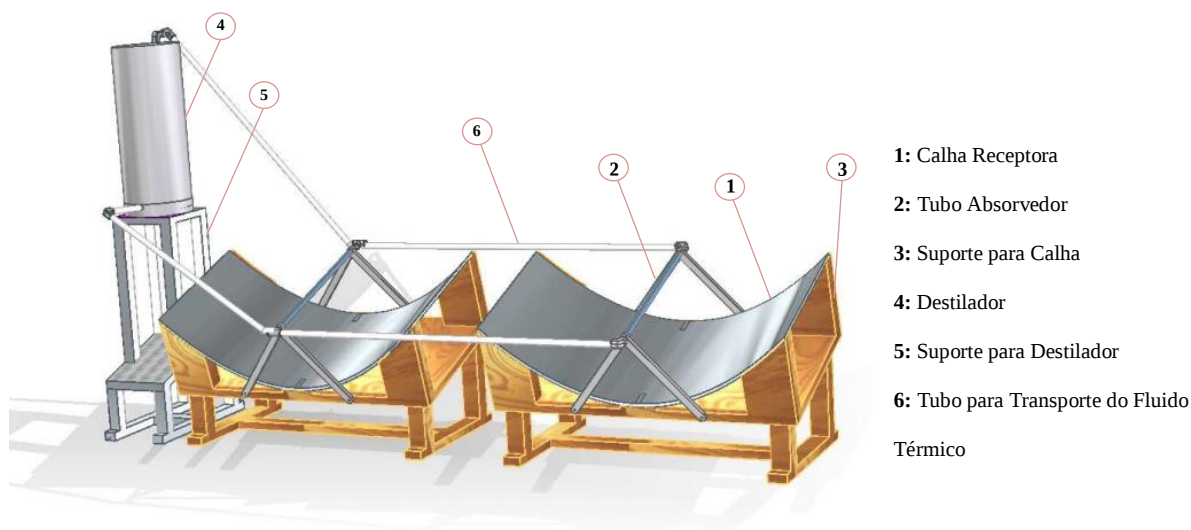
A estrutura foi projetada de modo a ser capaz de sustentar as placas, o tubo e obedecer a recomendação para favorecer a circulação natural. Bezerra (2001) afirma que a inclinação das placas deve obedecer a latitude local acrescida de 10 graus, contribuindo para que a calha receba o maior potencial de irradiação diário.

Na figura 1 estão apresentadas as placas (disposição em paralelo), o tubo absorvedor e a estrutura de suporte tanto das calhas como do destilador.

#### 3.5. Destilador

No destilador é onde a mudança de fase da água acontece e o processo de dessalinização de fato ocorre. O recipiente que compõe o destilador também tem como material aço comercial e é revestido por uma camada de isolante de fibra de vidro minimizando a perda de calor por condução e convecção. As dimensões do recipiente foram estimadas a partir do volume diário de água produzido pelo concentrador, a dimensão real foi estabelecida com consulta a catálogos de fabricantes, e fixadas em uma altura de 1 metro e diâmetro de 0,32 metros. A maior parte das perdas do sistema ocorre nessa etapa, devido as dimensões do recipiente, essas perdas assim como a espessura crítica de isolante que se deve considerar para esta aplicação, são calculadas na sessão 5.

No destilador é também onde ficam depositados os dejetos acumulados após a mudança de fase da água, por isso, o mesmo possui uma tampa inferior removível, para despejo do sal precipitado.

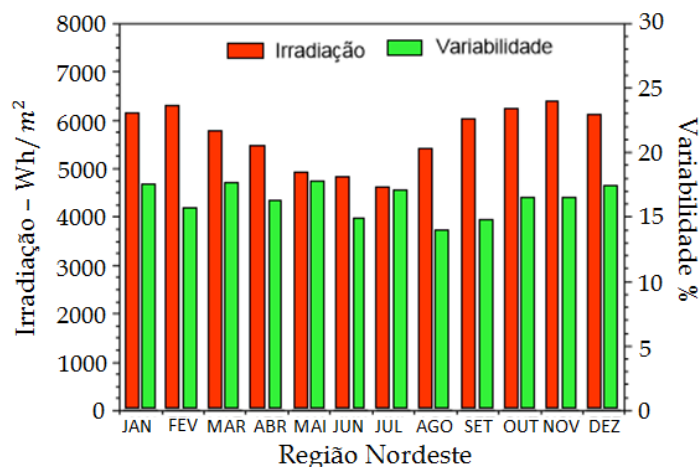


**Figura 1:** esquema ilustrativo do dessalinizador solar proposto e seus componentes.

#### 4. DADOS METEOROLÓGICOS

O Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa disponibiliza dados como Insolação e velocidade média dos ventos, além de dados pluviométricos. As informações são organizadas por região, podendo ser obtidas num fluxo de medição de horas, dias ou meses. Para este trabalho foram usados os dados de Insolação (horas) e Velocidade (m/s), num fluxo de meses durante o período de 01/01/2015 a 01/01/2016.

O gráfico a seguir, retirado do Atlas de Irradiação Solar do Brasil apresenta os valores mensais detalhados da irradiação média mensal e regional do ano de 1998 e a variabilidade da irradiação média diária para a região Nordeste com uma média calculada de 720 W/m<sup>2</sup>, sendo confirmados posteriormente por Cometta (2006) que afirma que a irradiação média no Brasil está em torno de 700 W/m<sup>2</sup>.



**Figura 2:** irradiação média mensal e variabilidade da irradiação média diária para a região Nordeste.

Para transformar os valores de irradiação apresentados na figura 2 em unidade W/m<sup>2</sup>, a média dos valores (5762,5 Wh/m<sup>2</sup>) é dividida pelo valor de Insolação média (8h) da região.

$$I = \frac{5762,5}{8} = 720,31 \text{ W/m}^2$$

#### 5. DIMENSIONAMENTO

Segundo Brito (1985) o consumo de água por pessoa por dia para fins domésticos é disposto como segue:

- Água para beber - - - - - 02 litros
- Alimentos e cozinha - - - 06 litros
- Lavagens de utensílios - - 09 litros
- Lavagem de roupas - - - - 15 litros
- Abluções diárias - - - - - 05 litros

- Banho de chuveiro - - - - -30 litros
  - Aparelhos sanitários - - - -10 litros
- Totalizando 77 litros diários por pessoa.

O.B.S.: Os dados acima se referem a casas que não utilizam bacia sanitária com caixa de descarga. Levando em consideração que os usos diários mais relevantes em relação a dessalinização, são:

- Água para beber - - - - -02 litros
- Alimentos e cozinha - - - -06 litros

Estimando cinco pessoas em média numa casa do Agreste brasileiro, o total diário por casa passa a ser 40 litros.

Na seção 5.1 serão apresentados os cálculos para dimensionamento do sistema e previsão da capacidade de destilação diária.

### 5.1. Cálculo da Potência absorvida

Souza Filho (2008) após análise do fluxo de energia de um concentrador solar parabólico, chegou a equação 1 para o cálculo da potência máxima absorvida:

$$P_{abs} = I * A * \rho * F * \alpha \quad (1)$$

Onde,

I = Irradiação solar no ambiente (W/m<sup>2</sup>);

A = Área útil do concentrador (m<sup>2</sup>);

$\rho$  = Refletividade do receptor (%);

F = Fração da radiação que chega ao tubo absorvedor (%)

$\alpha$  = Absortividade do absorvedor

#### 5.1.1 Considerações

- Condições em regime estacionário;
- Transferência de Calor unidimensional na direção radial;
- Propriedades constantes do isolante;
- Resistência de contato na parede do tubo desprezível;
- Toda a radiação incidente sobre a superfície parabólica será refletida sobre o tubo receptor ( $\rho = 1$ );
- A absorvidade para tinta preta é de 0,85.
- Perdas por radiação desprezíveis.

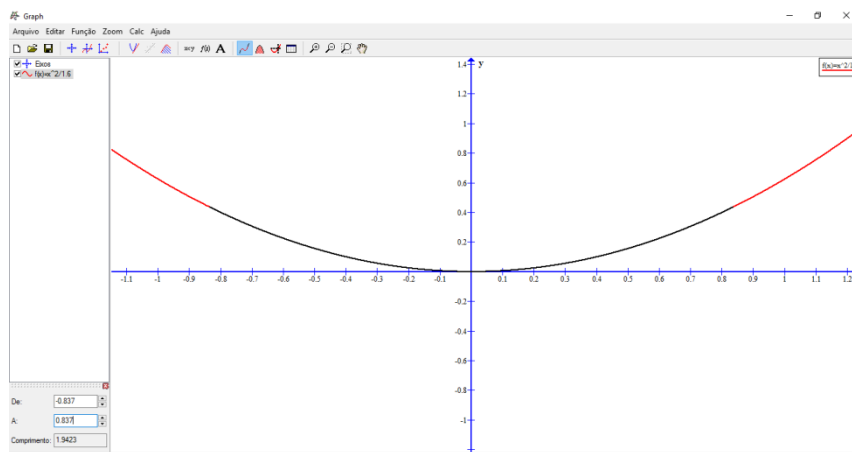
#### 5.1.2. Cálculo da área útil

Para calcular a área útil do concentrador – que não receberá sombras da própria calha durante o dia – o Software *Graph* foi utilizado. Considerando as dimensões do tambor: 1,94 m x 0,90 m, para uma altura do ponto focal 0,40 m em relação à base da calha, a equação 2 descreve geometricamente a parábola em planos cartesianos e através dela, a área útil é encontrada:

$$y = \frac{x^2}{4*f} \quad (2)$$

Onde,

f = distância focal.



**Figura 3:** dimensionamento da concavidade parabólica.

Como é possível observar na figura 3, o fim da parábola (linha preta) corresponde aos pontos -0,837 e 0,873 no eixo x. A área projetada sem sombras passa a ter então as seguintes dimensões: 1,674m x 0,90m. Resultando numa área útil (projetada), de 1,53 m<sup>2</sup>.

### 5.1.3. Estimativa do fator de forma

O fator de forma foi estimado em  $F = 0,8651$  levando em consideração o estudo experimental realizado por Silva (2009) e fazendo as devidas adaptações.

A seguir é possível calcular, então, a Potência Perdida conforme a eq. (1):

$$P_{abs} = I * 2A * \rho * F * \alpha$$

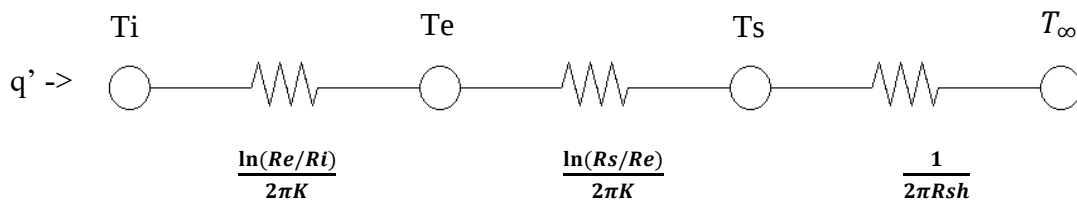
$$P_{abs} = 720,31. 2. 1,53 .1 .0,8651.1$$

$$P_{abs} = 1906,8089 \text{ W}$$

A área foi duplicada, já que o sistema é formado por duas calhas paralelas.

### 5.2. Cálculo da Potência Perdida

Para analisar o problema da potência perdida será utilizada a abordagem de rede de resistências condutivas e convectivas. Como há mudança de fase dentro do tubo interno, o coeficiente convectivo é relativamente alto, portanto, é possível considerar a temperatura do infinito dentro do tubo igual a temperatura na parede do tubo interior. O circuito térmico análogo é o seguinte:



Onde  $q'$  representa o fluxo de calor de dentro para fora do tubo (potência perdida) e para esta abordagem pode ser calculado através da equação 4;  $T_i$  a temperatura da parede interior do tubo interno,  $T_e$  a temperatura da parede exterior do tubo interno,  $T_s$  temperatura da superfície do Tubo e  $T_\infty$  a temperatura do ar fora do tubo.

$$P_{per} = q' = \frac{T_i - T_\infty}{R_{tot}} \quad (4)$$

$R_{tot}$ : resistência total, soma das resistências em série.

Algumas grandezas necessitam ser calculadas para determinar o valor da potência perdida:

#### 5.2.1. Estimativa de h do meio externo

A única maneira de calcular o valor do coeficiente convectivo ( $h$ ) é através de uma correlação com o número de Nusselt. Para selecionar a correlação mais adequada é necessário conhecer as faixas nas quais se encontram os números de Reynolds e Prandtl do escoamento. O que é possível através das equações 5 e 6.

$$Re = \frac{VD}{\vartheta} \quad (5)$$

Onde,

$V$  = velocidade (m/s)

$D$  = diâmetro (m)

$\vartheta$  = viscosidade cinemática (m<sup>2</sup>/s)

Visando um volume de 80l para o destilador, o mesmo assumiu as dimensões comerciais de 1m de altura e 0,32 m de diâmetro.

O valor da velocidade foi estimado em 5 m/s a partir de uma média das medições durante o ano de 2015 nas cidades do Agreste Pernambucano realizado pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP).

Segundo Incropera (2014, apêndice A) a 300 K o ar assume um valor de viscosidade cinemática de  $15,89 \cdot 10^{-6}$  e número de Prandtl Pr de 0,707.

Resolvendo para os valores anteriores, temos:

$$Re = 100692,2593$$

A correlação empírica proposta por Hilpert, amplamente usada para  $Pr \geq 0,7$ , é aplicável:

$$Nu = \frac{h.D}{k} = C \cdot Re^m \cdot Pr^{1/3} \quad (6)$$

Onde,

Nu = número de Nusselt.

h = coeficiente convectivo.

Re = número de Reynolds.

Pr = número de Prandtl.

C e m = constantes

k = constante térmica - 0,263 W/m.K (Incropera – Apêndice A)

Segundo a Tabela 7.2 do Incropera, para a faixa do Número de Reynolds entre 40000 e 400000, as constantes C e m assumem os valores de 0,027 e 0,805, respectivamente.

Logo,

$$Nu = \frac{h \cdot 0,32}{0,026} = 256,2017, \text{ então } h = 20,81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Para determinar o diâmetro total do reservatório de água salgada, é preciso considerar a espessura de isolante usada para minimizar a troca térmica com o meio. Segundo Incropera (2014) a equação 7 relaciona, para esta aplicação, o valor de raio crítico com coeficiente convectivo.

$$R_{cr} \equiv \frac{k}{h} \quad (7)$$

$$\text{Logo, } R_{cr} = 0,01263$$

“Como  $R > R_{cr}$ , qualquer adição de isolante aumenta a resistência total e, portanto, diminui a perda de calor. Este comportamento é desejável para o escoamento através de uma tubulação, onde o isolante é adicionado para reduzir a perda de calor para a vizinhança.” (Incropera, 2014)

A partir da eq. (4)

$$P_{per} = q' = \frac{T_i - T_\infty}{R_{tot}}$$

$$P_{per} = 145,61 \text{ W}$$

Além disso, há perdas por convecção e radiação ao longo do tubo absorvedor (as perdas por condução são insignificantes devido a camada de isolante, e podem ser desconsideradas), esta parcela foi estimada de acordo com as dimensões e temperatura do mesmo em 150 W.

O valor das perdas precisa ser dobrado, devido a existência de duas calhas, logo  $P_{pert} = 591,22 \text{ W}$ .

### 5.2.2. Balanço Energético

O balanço energético é determinado através da equação 8 que relaciona a potência útil com as potências absorvida e perdida.

$$P_{ut} = P_{abs} - P_{per} \quad (8)$$

Onde,

$P_{ut}$  = Potência Útil;

$P_{abs}$  = Potência absorvida;

$P_{per}$  = Potência perdida;

$$P_{ut} = 1906,8089 - 591,22$$

$$P_{ut} = 1315,5889 \text{ W}$$

### 5.3. Volume de água dessalinizada

A primeira Lei da termodinâmica é aplicada através da equação 9.

$$\Delta E_{sistema} = E_e - E_s \quad (9)$$

Onde,

$\Delta E_{sistema}$  : variação de energia do sistema

$E_e$  : energia que entra

$E_s$ : energia que sai

Hipóteses Simplificadoras:

- Sistema em regime permanente (Variação da energia com o tempo em cada ponto do volume de controle,  $dE/dt = 0$ )
- Energias Cinética e Potencial nulas;

Após a aplicação das hipóteses simplificadoras, a equação 9 resulta na equação 10.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (10)$$

Q: Potência útil;

M: massa de água dessalinizada;

$C_p$ : Calor específico da água;

$\Delta T$ : variação de temperatura;

Aplicando os valores calculados anteriormente, conclui-se que uma massa de água de 43, 85 kg, resultando num volume de aproximadamente 43, 85 l, o suficiente para suprir as necessidades básicas de uma casa com cinco moradores.

## 6. PREPARAÇÃO PARA CONSUMO DA ÁGUA DESTILADA

Durante o processo de purificação, todos os minerais são retirados da água e se depositam no destilador, por este motivo, a água dessalinizada ainda não está pronta para o consumo e precisa passar por um processo de reposição de minerais para reequilibrar a salinidade. Outra alternativa seria misturar a água destilada a água mineral.

## 7. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O presente trabalho possibilitou o estudo da viabilidade de uma alternativa para a utilização de água com altos níveis de salinidade no setor Rural do Agreste de Pernambuco. Constatou-se que a disponibilidade de potencial energético solar da região é suficiente para alimentar um dessalinizador térmico solar composto por duas calhas receptoras de área 1,53 m<sup>2</sup> cada, com capacidade de destilar 43,85 litros de água diários, com potência necessária para aquecer a água até 110 °C, atendendo as necessidades básicas de uma família composta por 5 integrantes.

Além disso, o sistema reaproveita tambores de lixo para fabricação das calhas responsáveis por refletir a radiação até o armazenador, diminuindo custos e contribuindo para a diminuição de resíduos no meio ambiente. Este estudo deixa sua contribuição acadêmica na área para trabalhos, com a proposta de desenvolvimento de um sistema automatizado para movimentação das calhas na direção do sol.

## 8. REFERÊNCIAS

- Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>
- Bezerra, A. M., 2001, “Aplicações Térmicas da energia Solar”, 4 ed. João Pessoa: Editora Universitária.
- Cirilo, A. J., Montenegro, S.M. e Campos, J.N., “A questão da água no semiárido brasileiro”, Cap 5, p. 81.
- Cometta, E. “Energia Solar: Utilização e Empregos Práticos”. São Paulo: Hemus, 2005.
- Costa, M.R. 2009. “Qualidade e sustentabilidade hídrica: avaliação de estratégias e políticas de convivência com o semi-árido.” Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., 2014, “Fundamentos de Transferência de Calor e Massa”, 7 ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Instituto Nacional de Meteorologia, 1998, “Atlas de Irradiação Solar do Brasil”, Distrito Federal.
- Qiblawey, M., Banat, F., 2006, “Solar thermal desalination Technologies”, Elseiver.
- Rebouças, Aldo da C., 1997, “Água na Região Nordeste: Desperdício e Escassez”, Dossiê do Nordeste I, São Paulo.
- Silva, Marco Andre e Martins, José Henrique, 2012, “Análise Experimental de Um Sistema Formado Por Painel Fotovoltaico E Concentrador Parabólico Composto”, São Paulo.
- Souza Filho, José Ribeiro, 2008, “Projeto, Construção e Levantamento de Desempenho de um Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico com Mecanismo Automático de Rastreamento Solar”, Rio Grande do Norte.

## 9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

### DEVELOPMENT OF A SOLAR THERMAL DESALINATOR FOR USING IN AGRESTE RURAL OF PERNAMBUCO

Luana Meyrelles da Silva, luanameyrelles9@gmail.com<sup>1</sup>

Felipe Vilar da Silva, felipe.vilar@caruaru.ifpe.edu.br<sup>2</sup>

Hugo Augusto Marinho Moreira, hugo\_1biro@hotmail.com<sup>3</sup>

Aluscka Aretuza Vieira a Silva, aluscka@hotmail.com<sup>4</sup>

<sup>1234</sup>IFPE, Distrito Industria III - Estr. do Alto do Moura, Caruaru - PE, 55040-120

**Abstract.** *This article aims to use the sun as sustainable and economic energy source for supplying a water desalination system in agreste of Pernambuco. The development of concentrator solar parabolic is analyzed, purposing the energetic efficiency increase of the process. Basically, the concentrator is constituted by reflecting plate, an absorber tube with a thermal industrial fluid, and a support device. Its building steps, as the thermal fluid selection, concentrator project and material, is going to be analyzed throughout this article. The process is based on converged the reflected light in a concave mirror surface of the concentrator in a focal line directed to the absorber tube. Then, radiation is transformed into thermal energy as latent heat, or fluid sensitive. Posteriorly, the solar energy converted by the tube into thermal energy cannot be consumed due to higher levels of salt. This concentrator is design for desalinating a daily and reasonable amount of water to consumption, according to local sunlight average data, which are available at BDMEP( Meteorological Data Bank for Education and Research). It aims to benefit the needy population, who are vulnerable to water shortage.*

**Keywords:** *desalinator, solar concentrator, solar energy.*