PROTÓTIPO DE DESSALINIZADOR SOLAR PARA OBTENÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL EM MEIO AO CENÁRIO DE ESCASSEZ HÍDRICA DO NORDESTE

Sarah Kelly Bertoldo de Freitas1
Jessé Lopes Procópio2
Bruna Tarciana Cavalcante Bezerra3
Roberto Lima de Albuquerque4

Resumo: *A problemática da seca no Nordeste é um cenário que afeta a qualidade de vida da população e gera dificuldades sociais. Além do baixo índice pluviométrico, a região apresenta os mais elevados valores médios anuais de temperatura do Brasil, destacando-se pelo seu potencial de radiação solar, o que facilita a abertura para mecanismos como sistemas de aquecimento de água que usufruem da energia solar como principal fonte. Diante disso, a dessalinização da água do mar e de poços apresenta-se como uma alternativa que permite não só a retirada dos sais, mas como também a promoção da qualidade da água, de forma a torná-la propícia ao consumo. Desse modo, o presente trabalho contempla o projeto detalhado e a construção de um dessalinizador solar com sistema de pré-aquecimento, de forma que busca analisar a viabilidade técnica, bem como a sua eficiência na produção de água potável. Os estudos foram desenvolvidos no período de outubro a novembro do ano de 2019 no Centro Universitário Fanor, onde obteve-se uma produção diária em torno de 2 L/dia. Através das análises físico-químicas das amostras coletadas no processo, verificou-se a redução de 99,95% na condutividade e 99,59% em sólidos totais dissolvidos, classificando-a como uma água doce e de boa qualidade. Por fim, pode-se concluir que o sistema foi capaz de promover o aquecimento e a dessalinização da água, no entanto, não é indicado para a produção de grandes volumes e/ou constante geração.*

Palavras-chave: *Dessalinizador solar. Pré-aquecimento. Eficiência. Água potável.*

Abstract: *The problem of drought in the Northeast is a scenario that affects the quality of life of the population and generates social difficulties. In addition to the low rainfall, the region has the highest annual average values of Brazil's temperature, standing out for its potential for solar radiation, factor that facilitates the opening for mechanisms such as water heating systems that use the solar energy as the major source. Thus, the availability of this resource is always a reason for big questions, especially in terms of legal nature and fundamental right, because despite its abundance on the planet, about 97% consists of salty water and is not viable for consumption, unless it goes through a system that can guarantee its potability. In view of these, the desalination of seawater presents as an alternative that allows not only the removal of salts but also the promotion of the water quality, to be appropriate to the consumption. Thus, the present work contemplates the detailed project and the construction of a solar desalination plant with a preheating system, which was proposed and evaluated the technical viability of using the prototype as well its efficiency in producing drinking water. Through the physicochemical analyzes of the samples collected, it was observed a reduction of 99.95% in conductivity and 99.59% in total dissolved solids, classifying it as a freshwater and of good quality. Finally, it can be concluded that the system was able to promote the heating and the water desalination, however, it is not indicated for the production of large volumes and/or constant generation.*
Keywords: *Solar desalination. Preheating. Efficiency. Drinking water.*

1 Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Unifanor Wyden. Bolsista do Programa de Iniciação Científica pela Unifanor Wyden. sarahkellybertoldo@gmail.com
2 Graduado em Engenharia Química pela Unifanor Wyden. jesseprocopio2010@gmail.com
3 Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Ceará. brunatarciana@unifanor.edu.br
4 Mestre em Química pela Universidade Federal do Ceará. roberto.albuquerque@unifanor.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida na Terra, sendo o maior constituinte dos fluidos dos seres vivos e estando presente na maioria dos ambientes. Suas características físicas e químicas possibilitam a transformação contínua desse recurso, de modo a ser encontrado no estado de vapor d'água, sólido ou líquido. Nesse sentido, a água pode desempenhar inúmeras funções, seja para o desenvolvimento de atividades nos diversos setores que fomentam a economia do país, seja para o próprio consumo humano.

Vale ressaltar que o Brasil é privilegiado quanto ao volume desse recurso. Mas, apesar dessa abundância, sua distribuição não é uniforme. A Agência Nacional de Águas (ANA) afirma que a bacia Amazônica é habitada por apenas 5% da população brasileira, porém abriga cerca de 80% da água disponível no país. Enquanto isso, apenas 20% está disponível para 95% da população nas demais regiões (ANA, 2018).

Agravando a baixa quantidade de água, destaca-se a problemática da seca. Na região do Nordeste, apresenta temperaturas elevadas durante todo o ano, baixos índices de precipitação e evaporação três vezes maior do que o índice pluviométrico (POLETTO, 2017); esse cenário afeta a qualidade de vida da população, já que a mesma necessita desse recurso, no mínimo, para o desenvolvimento de atividades simples, como para o próprio consumo humano. Em contrapartida, por apresentar os mais elevados valores médios anuais de temperatura do Brasil, a região se destaca pelo seu potencial de radiação solar, o que facilita a abertura para mecanismos como sistemas de aquecimento de água que usufruem da energia solar como principal fonte (FERRAZ, 2018).

De acordo com esse panorama, discussões permeiam não somente sobre quantidade, mas como também a qualidade desse bem escasso. Um monitoramento realizado pela Agência Nacional de Águas (2019) em vários pontos do Brasil, mostrou que o semiárido nordestino possui os valores de condutividade relativamente elevados em comparação às outras regiões. Este fato está relacionado não só às altas temperaturas e aos períodos de estiagem, mas como também a salinidade, que promovem o aumento da concentração de íons e, consequentemente, a elevada condutividade nestes mananciais (ANA, 2019).

Desse modo, uma alternativa encontrada para driblar a crise hídrica nas regiões semi-áridas é a dessalinização da água, que permite não só a retirada dos sais como também a promoção da qualidade da água, de forma a torná-la propícia ao consumo.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo a construção do protótipo de um dessalinizador solar com um sistema de pré-aquecimento, através de materiais acessíveis, bem como o estudo da viabilidade técnica e sua eficiência para a obtenção de água potável.

2 METODOLOGIA

De forma a desenvolver uma alternativa viável que fosse constituída com materiais de baixo custo e fácil acesso para a obtenção de água potável, as etapas de metodologia descrita a seguir foram admitidas.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Para a execução deste trabalho, foi realizado uma pesquisa bibliográfica e documental dos principais processos de dessalinização atualmente existentes, a fim de que fosse feita uma abordagem quanti-qualitativa. Quanto aos objetivos, caracteriza-se como explicativo, já que busca identificar fatores característicos de um método que contribuam para produção de água potável através da dessalinização da água.

2.2 PROJETO DETALHADO

Nesta etapa, foram definidas questões sobre configuração, dimensionamentos, materiais, métodos de produção, viabilidade econômica e técnica, dentre outros, considerando um processo de três etapas que correspondem respectivamente aos seguintes mecanismos: coletor solar, concentrador solar e dessalinizador solar.

Quanto ao coletor solar, é composto por uma mangueira de polietileno de cor preta, a qual possibilita o aquecimento da água que circula em seu interior através da transferência do calor provocado pela radiação solar. Já o concentrador solar baseia-se na reorientação da radiação solar através de uma placa de alumínio que possui alta refletividade, tendo como propósito a concentração dos raios solares para um receptor composto por um cano de cobre preto pelo

qual a água percorre para suprir a demanda de água quente no dessalinizador, que é basicamente constituído por uma câmara de fundo preto coberta por um vidro transparente inclinado.

O material utilizado como superfície refletora no Concentrador Solar foi a chapa de alumínio que possui as dimensões 2 m x 1 m x 0,5 mm. A escolha do ângulo de 70° tomou como base o estudo de Rolin *et al.* (2012), no qual afirma-se que esse é o mais adequado para protótipos quando se tratam de projetos de pequena escala.

Para o dimensionamento do concentrador solar, utilizou-se as seguintes equações (HALLIDAY, 2012):

$$R = \frac{f}{2} \quad (01)$$

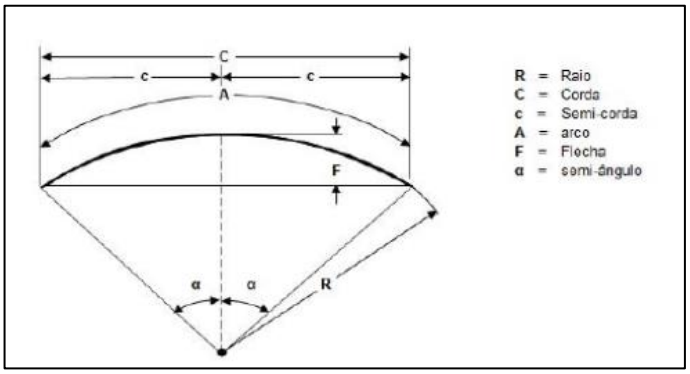
$$F = R - [R \,.cos\, (\frac{\alpha}{2})] \quad (02)$$

$$C = 2\,.R\,.sen\,(\frac{\alpha}{2}) \quad (03)$$

$$A = \frac{(\alpha.\pi.R)}{180^{\circ}} \quad (04)$$

As equações anteriores tomaram como base a Figura 1, na qual evidencia os aspectos principais para determinação das dimensões e ângulo.

Figura 1 - Raio, corda, flecha e ângulo de um arco de um círculo.



Fonte: Adaptado de Caldnazza (2016).

Desse modo, determinou-se o raio (R) a partir da Equação 4, no qual o arco (A) possui 1 m e 70° de abertura (α), obtendo R=0,8185 m.

Logo após, calculou-se o valor da corda (C), empregando raio (R) igual a 0,8185 m e o ângulo de abertura (α) 70°, com base na Equação 3. Diante disso, C= 0,9389 m.

Determinado C, calcula-se o valor da flecha (F) com a Equação 2, obtendo F= 0,148 m.

Para calcular o valor do foco do concentrador solar, substituiu-se o valor do Raio (R) encontrado na Equação 1, resultando em f = 1,6364 m.

2.3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Para a construção do coletor solar, utilizou-se um suporte de plástico para enrolar a mangueira. Neste processo, 70 metros de mangueira foram enrolados em forma de serpentina, sendo fixadas com suporte, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Coletor solar



Fonte: Autores (2019).

Para a montagem do concentrador solar, utilizou-se uma estrutura de madeira. Nesse sentido, a chapa de alumínio foi fixada no suporte e o tubo absorvedor foi encaixado na cavidade projetada, como evidencia a Figura 3.

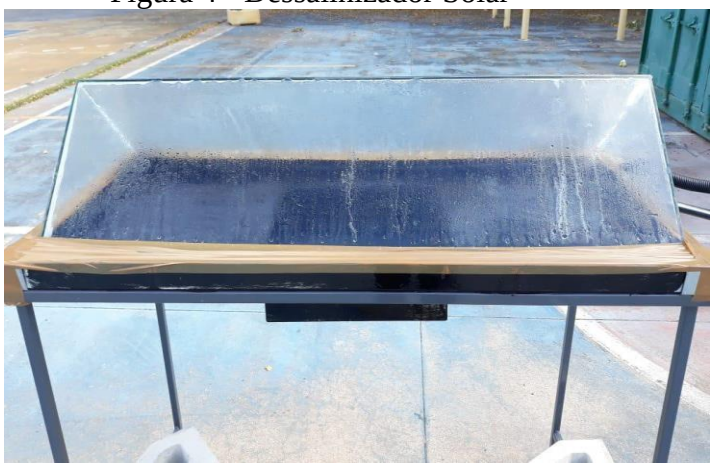
Figura 3 – Concentrador solar



Fonte: Autores (2019).

A Figura 4 mostra o dessalinizador solar que é constituído de vidro, calha e câmara de armazenamento de água. A confecção do vidro foi feita em uma vidraçaria de acordo com as dimensões de 45 cm de largura e 95 cm de comprimento; já a câmera, foi feita de um suporte de chapa galvanizada; e a calha de cano de PVC preto. Desse modo, o processo passou por soldagem, furações e pintura., tendo em vista a configuração do projeto detalhado.

Figura 4 - Dessalinizador Solar

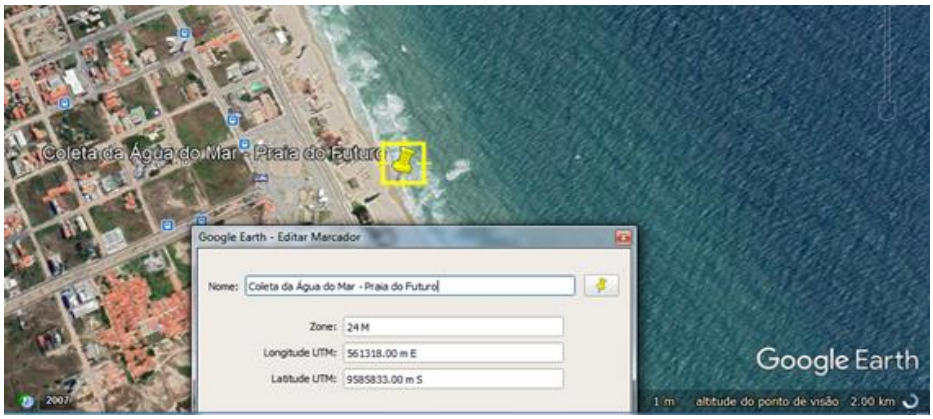


Fonte: Autores (2019)

2.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE ANALISADOS

Á água utilizada no processo foi coletada na Praia do Futuro, localizada a 1,770 Km de distância do local onde ocorre a dessalinização como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Localização da coleta da Água do Mar



Fonte: Google Earth, adaptado com trabalho de campo pelos autores (2019).

Com o processo já em funcionamento, coletou-se amostras da água antes de passar pelo sistema e após.

2.4.1 TESTES LABORATORIAIS

Para a realização das análises, seguiu-se o que é proposto pelo Art.22 da Portaria n° 2.914/11, a qual estabelece que as metodologias de análises devem atender a *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, bem como as normas publicadas pela *International Standartization Organization (ISO).*

A fim de analisar-se os parâmetros de qualidade do processo, as amostras foram submetidas aos seguintes testes realizados no laboratório do Centro Universitário Fanor: pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD) e salinidade.

Desse modo, os parâmetros físico-químicos foram analisados por meio da utilização de equipamentos específicos como condutivímetro, pHmetro e o refratômetro. Quanto aos sólidos totais dissolvidos, foi calculado através do fator de correlação e condutividade.

Após as análises dos parâmetros e a obtenção de dados, os resultados foram avaliados conforme os valores máximos permitidos pela legislação vigente e normas estabelecidas outrora citadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O dessalinizador em parceria com o sistema de pré-aquecimento foi instalado nas dependências do campus Dunas do Centro Universitário Fanor Wyden, localizado no estacionamento. Na fase de testes, optou-se por fixar o coletor solar acima de um *container* com o propósito de favorecer o desnível geométrico entre o mesmo e os demais complementos do sistema, bem como possibilitar de melhor forma o escoamento da vazão. De modo geral, foram analisados o sistema de pré-aquecimento e do dessalinizador solar, a viabilidade econômica da produção de água pelo mesmo e a qualidade da água produzida.

3.1 ANÁLISE DO SISTEMA DE PRÉ-AQUECIMENTO E DO DESSALINOZADOR SOLAR

A partir dos testes e estudos realizados, verificou-se que os materiais utilizados para a montagem do protótipo apresentaram propriedades térmicas dentro dos índices aceitáveis referente a absorção do calor, resistência e condutividade térmica. Nesse sentido, o coletor solar constituído de mangueira de polietileno de cor preta, permitiu a absorção de calor pela mesma de forma a ocasionar o aquecimento da água que circulava em seu interior, por meio da transferência do calor provocado pela radiação solar.

No que se refere ao concentrador solar, verificou-se a necessidade de colocar registros na instalação hidráulica para o controle do fluxo da água e também para o aproveitamento do potencial da concentração dos raios solares ao receptor, do qual constitui-se do cano de cobre preto pelo qual a água percorre para suprir a demanda de líquido quente no dessalinizador. Para tanto, optou-se por fechar os registros durante uma hora, antes da alimentação da bacia de evaporação.

No geral, o sistema de pré-aquecimento mostrou-se eficiente à alimentação da bacia de evaporação da água, constatando-se isso mediante avaliação do desempenho térmico a partir das medições e leituras das temperaturas realizadas ao longo do dia 18/11/2019. Como exposto na Tabela 2, a temperatura ambiente varia entre 30,1 e 37,9 °C e a de saída da água dessalinizada, de 40 a 54,5 °C.

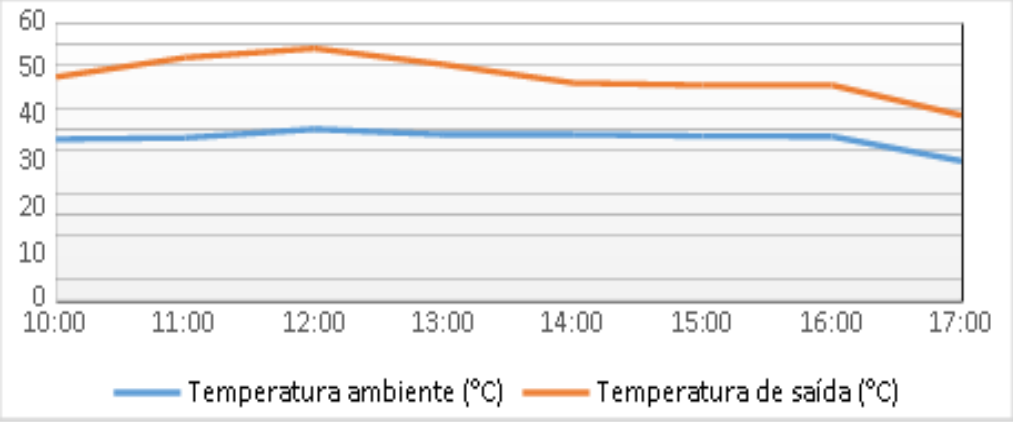
Tabela 2 – Medição diária, temperaturas e radiação do dia 18/11/2019.

Horário	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de saída da água dessalinizada (°C)
10:00	34,8	48,3
11:00	35,1	52,5
12:00	37,9	54,5
13:00	37,0	51,0
14:00	35,8	47
15:00	35,5	46,5
16:00	35,4	46,5
17:00	30,1	40
Média	**35,2**	**48,2**

Fonte: Autores (2019).

A Figura 7 evidencia os dados obtidos com relação ao comportamento das temperaturas; desse modo, observou-se uma variação característica já esperada para o sistema. No horário entre 10h00min às 12h00min, observou-se o aumento da temperatura até seu pico máximo do dia correspondente a 54,5 °C. Já no horário entre 13h00min e 17h00min, notou-se um declínio acentuado pelo qual resultou em 40 °C as 17h00min como a menor temperatura monitorada.

Figura 7– Gráfico do comportamento das temperaturas diárias monitoradas.



Fonte: Autores (2019).

Nesse sentido, a Tabela 3 mostra o resultado do monitoramento da quantidade diária de água dessalinizada entre os dias 11/11/19 e 18/11/19. Desse modo, notou-se uma variação de

950 mL/dia a 1350mL/dia de água produzida. Segundo Lopo (2010), projetos como esse apresentam comportamentos semelhantes, de modo que nebulosidades características das variações climáticas podem provocar bruscas variações no que se refere à temperatura e à produção de água dessalinizada.

Tabela 3 – Quantidade diária de água dessalinizada do dia 11/11 ao dia 18/11.

DATA	Água dessalinizada
11/11/2019	1020 mL
12/11/2019	1180 mL
13/11/2019	950 mL
14/11/2019	1350 mL
15/11/2019	1250 mL
16/11/2019	1100 mL
18/11/2019	1300 mL

Fonte: Autores (2019)

3.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DA ÁGUA PELO DESSALINIZADOR SOLAR

O mecanismo empregado foi construído com materiais simples e de fácil acesso, tendo como fator predominante em seu processo a energia solar, um recurso natural disponibilizado de forma gratuita e em abundância no Nordeste. De modo geral, o dessalinizador com o sistema de pré-aquecimento teve um custo de R$ 423,00 (quatrocentos e vinte e três reais).

De acordo com Luna (2016), o investimento num projeto de dessalinização é revestido com o passar dos anos, haja vista que com as condições ambientais adequadas, obtêm-se não apenas a qualidade do processo, mas também a economia com gastos para o consumo de água. Nesse sentido, dividindo-se o valor de investimento desse projeto pela quantidade de água produzida em um ano, considerando 300 dias de sol, têm-se aproximadamente R$ 1,05 por 1 L no primeiro ano, correspondendo a menos que a metade do valor de uma garrafa de água mineral de 1 L.

3.3 RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA

A eficiência do dessalinizador com pré-aquecedor pôde ser constatada através de análises físico-químicas das amostras que foram coletadas antes e após o processo de dessalinização da água do mar, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros analisados nas amostras

Parâmetro	**Amostra A (Água antes do processo)**	**Amostra B (Água após o processo)**
pH	8,1	7
Condutividade (µS/cm)	46.300	22,5
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	3.796,6	15,3
Teor de salinidade (‰)	36	0,0075

Fonte: Autores (2019).

Em suma, a condutividade da água se refere a capacidade de transmissão de correntes elétricas referentes a substâncias dissolvidas na água, de forma que se constitui como um importante parâmetro para classificação da qualidade da água (CORDEIRO, 2001). Nesse sentido, a amostra A e B apresentaram as diferenças significativas de 46.300 e 22,5 µS/cm, respectivamente.

Cordeiro (2001), tomando como base critérios de condutividade elétrica, classifica as águas em quatros tipos: salinidade baixa (C1), salinidade média (C2), salinidade alta (C3) e salinidade muito alta (C4), como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação da salinidade da água segundo a condutividade.

Classificação	**Condutividade (µS/cm)**
C1	<250
C2	Entre 250 e 750
C3	750 a 2.250
C4	>2.250

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2001).

Nesse sentido, a Amostra A, proveniente da água do mar, classifica-se como de salinidade muito alta (C4), não podendo ser utilizada para consumo humano. Já a Amostra B, que corresponde a água após o processo, classifica-se como potável por apresentar condutividade menor do que 50 μS/cm (CORDEIRO, 2001).

Em relação aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD), também se observou diferenças significativas, tendo a amostra A e B apresentado os valores de 3.796,6 e 15,3 mg/L respectivamente. De acordo com a Portaria nº 2.914 de 12/12/2001 do Ministério da Saúde, no que se refere aos valores permitidos para consumo humano, a água é classificada como doce de acordo com os valores típicos de STD de 0 a 500 mg/L e salgada com STD maior que 1.500mg/L. De acordo com isso, a amostra A se classifica como água salgada e a amostra B como água doce.

Quanto ao teor de salinidade, observou-se através do refratômetro, equipamento utilizado para a análise, um valor de 36‰ na amostra A. Em conformidade com a Resolução n° 357 do CONAMA, a água do mar é enquadrada como água salina por possuir um nível de salinidade igual ou maior que 30,00‰, o que comprova a classificação da amostra A. Para a classificação da amostra B como água doce, calculou-se a salinidade através da condutividade segundo a metodologia proposta pelo Methods for the Examination of Water and Wastewater no qual resultou no valor de 0,0075.

4 CONCLUSÃO

O objetivo de desenvolver um protótipo do dessalinizador com sistema de pré-aquecimento foi alcançado conforme projeto descritivo, resultando em uma estrutura de fácil alocação, simples montagem e baixo custo. Nesse sentido, os fatores mais relevantes acerca dos processos foram analisados, concluindo-se que as etapas apresentadas no presente trabalho são adequadas para a construção do projeto.

Em relação às temperaturas de saída da água dessalinizada, chegaram a ultrapassar 54,5 °C. Desse modo, quando comparado a outros métodos de dessalinização por destilação solar, o projeto apresenta resultados semelhantes aos demais estudados na literatura, já que o sistema chegou a produzir 1,3 L/d. Isto não se apresentou como um grande problema, entretanto, este método necessitará de melhorias para expandir sua aplicabilidade para a produção de água ao consumo humano.

Outro fator analisado foi a qualidade da água, na qual pôde ser constatada através de análises físico-químicas das amostras que foram coletadas antes e após o processo de dessalinização da água do mar, apresentando uma redução de 99,95% na condutividade e 99,59% em sólidos totais dissolvidos, classificando-a como uma água doce e de boa qualidade.

Desta forma, ficou demonstrado que o dessalinizador com sistema de pré-aquecimento é uma alternativa econômica e viável, dependendo da necessidade de demanda hídrica. Nesse sentido, o mecanismo pode apresentar aplicabilidade a famílias carentes em regiões interioranas, das quais sofrem com a agravante indisponibilidade de água de boa qualidade para o desenvolvimento de atividades simples, como para o próprio consumo humano.

Por fim, ficou claro que o mecanismo não produziu água dessalinizada em grandes volumes. No entanto, comprovou-se a partir da realização deste trabalho o grande potencial, bem como a importância do uso da destilação solar visando a produção de uma água doce e de boa qualidade com aplicabilidade em regiões como o do Nordeste, sendo economicamente viável e, consequentemente, na perspectiva futura, contribuindo para o processo contínuo da busca por melhor qualidade de vida do ser humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agencia Nacional de Águas**. Conjuntura 2018**. Brasília, 2018

APHA, AWWA, WEF. Métodos padrão para o exame de água e efluentes . 21 ed. Associação Americana de Saúde Pública, **American Water Works Association, Water Environment Federation**. 1009p .; Washington DC, 1999

BRASIL. **Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, DF, 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria **n.º 2.914, de 12 de Dezembro de 2011**. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília: SVS, 2011.

CALDNAZZA. 2016. Disponível em: < http://www.caldnazza.com/2012/02/arco-cordaflecha-e-angulo-de-um-arco.html#.V0OB4DUrLIV>. Acesso em: 05 mai. 2019.

CORDEIRO, G, G. **Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas).** Petrolina, PE: Embrapa SemiÁrido, 2001. 32 p.

DAN, M. D; CONCEIÇÃO, S. D. **Dessalinização, uma possível solução para atender a demanda de água do Norte do estado do Espírito Santo.** Trabalho de Conclusão de Curso. Vitória, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

FERRAZ, R. S. F.. SANTOS, B. L. M.. SILVA, P. L. C.. FERRAZ, R. S. F.. Custódio, A. G. **Análise comparativa do potencial de energia solar na região nordeste do Brasil x Alemanha.** Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2012 vol 4.

LOPO. A. B. **Desempenho de um sistema de aquecimento por coletor solar construído com material alternativo.** Dissertação, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil, 2010.

LUNA, F. M. **Desenvolvimento e testes de um dessalinizador solar com pré-aquecimento de água.** Dissertação de mestrado. João Pessoa, UFPB, 2016.

POLLETO, I. **Biomas do Brasil.** Brasília, Fórum Mudanças Climáticas, 2017.

ROLIM, M. M., FRAIDENRAIN N. E VILELA, O. de C. **Otimização de parâmetros constritivos de coletores parabólicos lineares.** Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.