



AQUA SOLIS – SISTEMA SOLAR DE PURIFICAÇÃO DE ÁGUAS

Maria Clara Moreira Bonfim¹, Raimundo Nonato Lima Júnior (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Campus Crateús
– CE

e-mail: maria.clara.moreira03@aluno.ifce.edu.br

Recebido em: 15/05/2024 – Aprovado em: 15/06/2024 – Publicado em: 30/06/2024

DOI: 10.18677/EnciBio_2024B3

RESUMO

Sistemas solares de purificação de água de baixo custo são estratégias fundamentais para promover o acesso universal a água de qualidade para milhões de famílias ao redor do mundo. Nesta perspectiva, o objetivo geral do presente trabalho foi desenvolver um sistema solar de tratamento de águas salinas de baixo custo que possa ser utilizado por famílias que necessitam de fontes alternativas de abastecimento como poços, cacimbas e cacimbões. A versão atual do equipamento proposto (diário de prototipagem), apresenta quatro compartimentos interligados: (I) uma câmara de aquecimento solar, (II) um condensador de alumínio, (III) uma torre heliotérmica e (IV) um sistema de remineralização. Todas as partes que compõem o protótipo, denominado AQUA SOLIS, foram montadas com materiais tipicamente encontrados na construção civil ou de fácil aquisição no mercado varejista. A ideia central da proposta é permitir que um usuário qualquer possa construir seu próprio sistema solar de tratamento de águas salinas, conforme manual de montagem (manual de montagem). Os resultados obtidos até o presente momento mostram uma redução média de 95% da condutividade elétrica da água tratada e uma taxa de produção mínima de aproximadamente 0,4L água tratada/L água salgada/12h. A eficiência da remoção de microrganismos, mensurada pelos ensaios da ausência/presença de coliformes totais e fecais, mostrou uma redução de 100% de todos os coliformes após 48h de funcionamento do protótipo, sendo mais efetiva em dias de forte insolação. A indução dos sucessivos ciclos de aquecimento solar e resfriamento noturno podem explicar os fenômenos físico-químicos e biológicos responsáveis pelo tratamento contínuo da água contida no sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Dessalinização solar, Tratamento de água, Prototipagem, Pasteurização solar.

AGUA SOLIS- SOLAR WATER PURIFICATION SYSTEM

ABSTRACT

Low-cost solar water purification systems are fundamental strategies to promote universal access to quality water for millions of families around the world. From this perspective, the general objective of this work was to develop a low-cost solar saline water treatment system that can be used by families who need alternative sources of supply such as wells, waterholes and waterholes. The current version of the proposed equipment (prototyping diary) features four interconnected compartments: (I) a solar heating chamber, (II) an aluminum condenser, (III) a heliothermal tower and (IV) a remineralization system. All parts that make up the prototype, called AQUA SOLIS, were assembled with materials typically found in construction or easily purchased on the retail market. The central idea of the proposal is to allow any user to build their own solar saline water treatment system, according to the assembly manual. The results obtained to date show an average reduction of 95% in the electrical conductivity of treated water and a minimum production rate of approximately 0.4L treated water/L salt water/12h. The efficiency of removing microorganisms, measured by testing the absence/presence of total and fecal coliforms, showed a 100% reduction in all coliforms after 48 hours of operation of the prototype, being more effective on days of strong sunlight. The induction of successive cycles of solar heating and nighttime cooling can explain the physicochemical and biological phenomena responsible for the continuous treatment of the water contained in the system.

KEYWORDS: Solar desalination, water treatment, prototyping, solar pasteurization.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental à vida. Ela está presente no planeta sob diversas formas, desde os oceanos até as geleiras das regiões polares. Cerca de 3% das reservas hídricas do planeta são de água doce, mas apenas uma pequena fração deste estoque é explorado para abastecimento público, pois encontram-se acessíveis em aquíferos e reservatórios superficiais (rios, riachos e açudes), além de apresentarem concentração de sais dissolvidos compatíveis com as tecnologias convencionais de potabilização de água (SOARES, 2004).

Com o crescimento da população mundial, o desenvolvimento industrial e a crescente poluição das fontes de água doce, tem-se visto cada vez mais um movimento de exploração das águas salgadas, salobras e salinas, mesmo com o grande desafio de promover a remoção de sólidos dissolvidos presentes em altas concentrações, o que as tornam, num primeiro momento, impróprias para consumo humano (FARIA *et al.*, 2015; LEITE, 2019).

O Brasil é um país continental e ensolarado que apresenta grande riqueza de reservas hídricas e uma extensa área de rios, lagos, açudes e aquíferos que em teoria seriam suficientes para abastecer toda a população nacional. No entanto, esta abundância de recursos hídricos não reflete a realidade de muitos países, pois cerca de 600 milhões de pessoas ainda não têm acesso a água perto de suas residências; estima-se que aproximadamente 10% da população mundial viva em condições de vulnerabilidade hídrica. Segundo a Organização Mundial de Saúde (ONU), em 2050, pode-se ter 25% da população mundial afetada pela escassez crônica ou recorrente de

água (FLORES, 2000; CANTELLE *et al.*, 2018; LEITE, 2019).

Uma alternativa utilizada por muitas famílias é a exploração de fontes hídricas subterrâneas, que muitas vezes apresentam água inadequada ao consumo humano e animal por conterem alta salinidade e microrganismos causadores de doenças de veiculação hídrica (SOARES, 2004). Os dessalinizadores que usam sistemas de osmose reversa para purificação da água ainda são tecnologias caras e geralmente empregadas para grandes volumes, o que os tornam inacessíveis a muitas famílias. Sistemas de purificação de água de baixo custo, que possam ser utilizados de modo descentralizado e sem demanda de energia elétrica são estratégias fundamentais para promover acesso a água de qualidade a todos e diminuir a incidência de doenças de veiculação hídrica, temas centrais dos 3º e 6º objetivos do desenvolvimento sustentável (ODSs) da agenda de 2030 da ONU, que são, respectivamente, saúde e bem-estar e água potável e saneamento (SOARES, 2004; CARVALHO *et al.* 2017).

OBJETIVO E QUESTÃO PROBLEMA

Neste contexto, o presente projeto nasceu de observações feitas no próprio ambiente escolar. Verificou-se que na instituição de ensino (IFCE *campus* Crateús), existe um poço com água de alta salinidade, que por consequência não pode ser explorada diretamente para o consumo humano. Esta situação é comum também na rotina de centenas de famílias do semiárido nordestino brasileiro.

A necessidade de água para as diversas atividades humanas diárias (ingestão, irrigação, higiene, dessedentação de animais, etc) tornou a exploração das fontes subterrâneas uma alternativa em rápida expansão, seja pelo avanço das tecnologias de perfuração, seja por disponibilizar grandes volumes de água para seus usuários. No entanto, nem sempre quantidade e qualidade de água andam juntas. Muitas vezes, as águas subterrâneas apresentam alta salinidade, o que limita seus múltiplos usos (SILVA, 2014). Após confirmar, através de sondagem em campo, a hipótese de que muitas famílias da região ainda exploram águas subterrâneas em seu cotidiano, buscou-se criar um método de tratamento que pudesse ser utilizado para potabilizar águas de alta salinidade, aproveitando a radiação solar disponível de forma abundante no estado do Ceará.

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver um sistema solar de tratamento de águas salinas de baixo custo e que possa ser utilizado por famílias que exploram fontes alternativas de abastecimento como poços, cacimbas e cacimbões; em paralelo, pretende-se ainda integrar conhecimentos multidisciplinares (Química, Biologia, Engenharia Sanitária e Ambiental, por exemplo) na busca por soluções para demandas reais da sociedade, atendendo ao que propõem os 3º e 6º objetivos de desenvolvimento sustentável (ODSs) da agenda de 2030 da ONU.

MATERIAIS E MÉTODOS

A montagem do equipamento proposto para o tratamento de água seguiu o esquema de prototipagem, que considera o desenho tridimensional das estruturas e a descrição, tanto quanto possível, dos detalhes de cada parte. Os desenhos foram feitos na plataforma Tinkercad (<https://www.tinkercad.com/>); o diário da prototipagem, que mostra a evolução das estruturas, pode ser acessado no link a seguir: diário de prototipagem.

O protótipo atual (e que está em fase de melhoramento e incremento tecnológico) foi construído utilizando-se materiais tipicamente encontrados na construção civil ou de fácil aquisição no mercado varejista, tais como tubos e mangueiras de PVC, placas de vidro transparente, estruturas de madeira, chapa de zinco, calhas de alumínio, frascos coletores, dentre outros. Após montagem, descrita em um manual elaborado pelos próprios autores (manual de montagem), o sistema foi alimentado diariamente com água salgada (3-4 L/dia) obtida em um poço localizado na cidade de Novo Oriente/CE/Brasil e exposto à radiação solar por períodos variáveis (4 à 10 h/dia). As amostras de água tratada foram coletadas em garrafas plásticas previamente higienizadas e armazenadas sob refrigeração a 4°C.

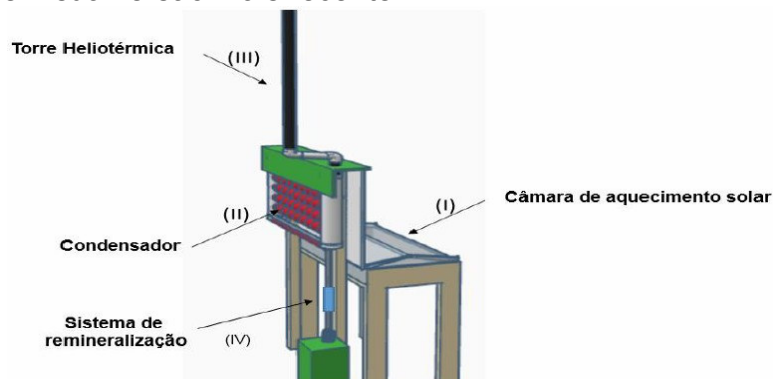
O protótipo em teste é composto por quatro compartimentos: (I) câmara de aquecimento solar, (II) sistema de condensação feito de latas de alumínio, (III) torre heliotérmica e (IV) um sistema de remineralização; a torre heliotérmica foi pensada para criar uma pressão negativa no sistema e favorecer a coleta de vapor de água oriunda da câmara de aquecimento solar e posterior condensação no compartimento II do protótipo.

A avaliação da qualidade da água obtida antes e após o tratamento foi determinada pela medição de condutividade elétrica (Condutivímetro TECNOPON - $\mu\text{S/cm}$), turbidez (Turbidímetro HACH - NTU), pH (Peagâmetro HANNA) e cor aparente (Comparação visual - uC). O controle de qualidade foi feito para amostras de água salgada bruta, bem como para cada amostra coletada ao longo de 13 dias de funcionamento do protótipo.

Cada parâmetro físico-químico avaliado tem sua importância no processo de monitoramento da qualidade da água. Condutividade elétrica está diretamente ligada à concentração de sólidos dissolvidos, em especial sais solúveis; este parâmetro está ligado, portanto, à eficiência da dessalinização solar. Cor aparente e turbidez tem relação com a presença de materiais em suspensão e dissolvidos que podem indicar a presença de sujidades e a necessidade de manutenções e limpezas no sistema. A medição do pH mostra se a água está com uma acidez compatível com os níveis adequados ao consumo humano (faixa entre 6 e 9) (BRASIL, 2021).

A segurança microbiológica da água produzida no protótipo foi analisada por meio da investigação da presença/ausência de coliformes totais e fecais, realizadas através do método do substrato cromogênico, conforme metodologia detalhada no Manual Prático de Análise de Águas da Fundação Nacional de Saúde (BRASIL, 2006). A investigação desenvolvida neste tópico é fundamental, pois o conceito de água potável deve levar em conta, tanto quanto possível, variáveis físico-químicas e biológicas. Pedagogicamente, constitui-se também como uma estratégia para explorar conceitos fundamentais das áreas de ciências biológicas e biomédicas, como a importância do conhecimento acerca de microrganismos e de doenças de veiculação hídrica. A Figura 1 mostra os detalhes da estrutura do protótipo.

FIGURA 1 – Detalhes dos compartimentos do protótipo em sua versão mais recente.



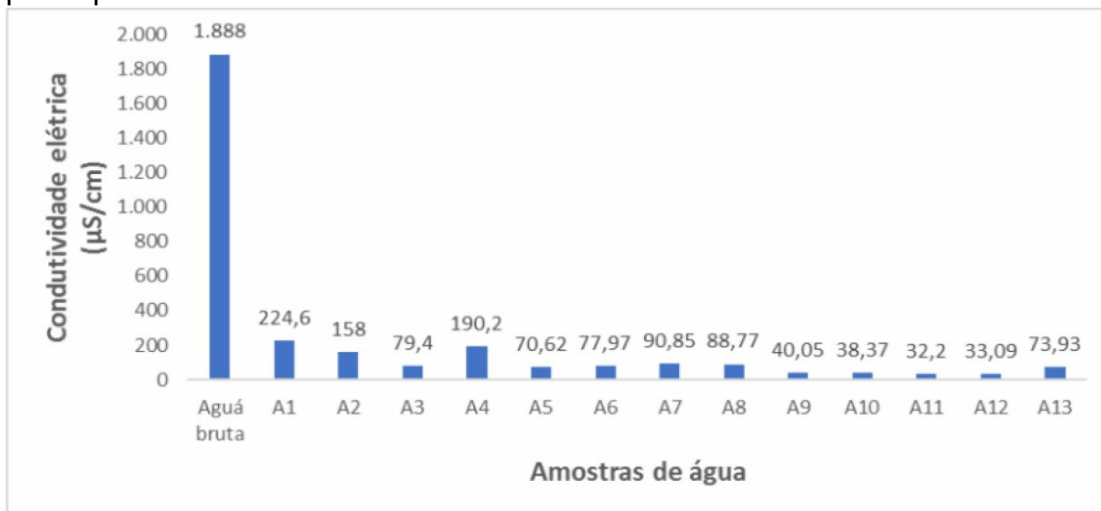
FONTE: Elaborado pelos autores (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

Análises físico-químicas mostraram uma redução média de 95% da condutividade elétrica da água tratada (este parâmetro está diretamente ligado à presença de sais na água), conforme mostrado no Gráfico 1.

GRÁFICO 1 – Variação da condutividade elétrica das amostras de água obtidas no protótipo.



FONTE: Elaborado pelos autores (2023).

A portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que regulamenta o padrão de potabilidade no Brasil, não referencia limites para este parâmetro, assim como o faz com turbidez, cor aparente, pH e coliformes (parâmetros listados a seguir). Nos Estados Unidos, a condutividade elétrica de águas potáveis situa-se na faixa de 50 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MACEDO, 2013). Ao comparar os valores de condutividade elétrica obtidos no presente estudo, vê-se que em nove dos 13 testes houve produção de água em

conformidade com a legislação americana.

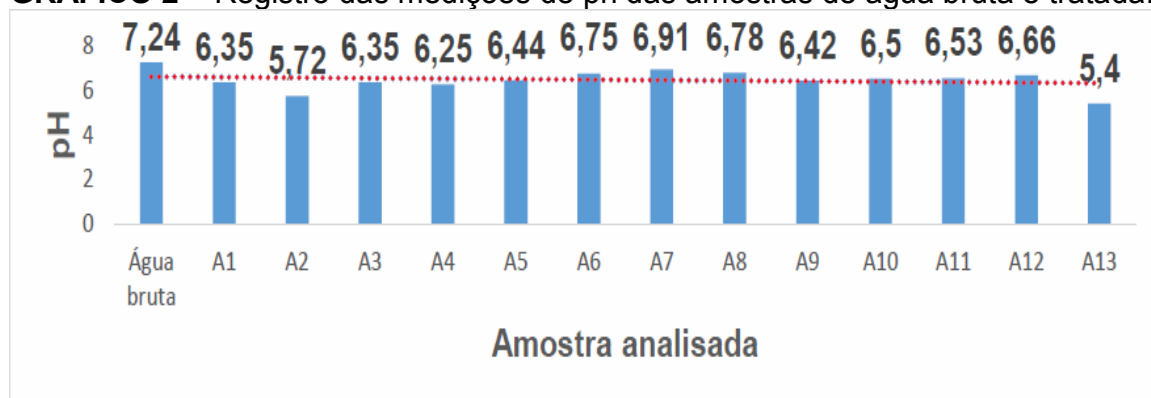
O conhecimento acerca da condutividade elétrica das águas permite estimar indiretamente a quantidade de sólidos totais dissolvidos (TDS), que quando em excesso podem deixar a água com sabor desagradável, além de oferecerem risco à saúde humana pelo acúmulo de sais no organismo, podendo acarretar, dentre outros, problemas renais e estomacais. Águas com elevada condutividade elétrica podem ainda contribuir para a corrosão de estruturas de metal (tubulações) e concreto armado (MACEDO, 2013).

➤

RESULTADO DAS ANÁLISES DE pH

As variações do pH das amostras de água são mostradas no Gráfico 2 a seguir.

GRÁFICO 2 – Registro das medições de pH das amostras de água bruta e tratada.



FONTE: Elaborado pelos autores (2023).

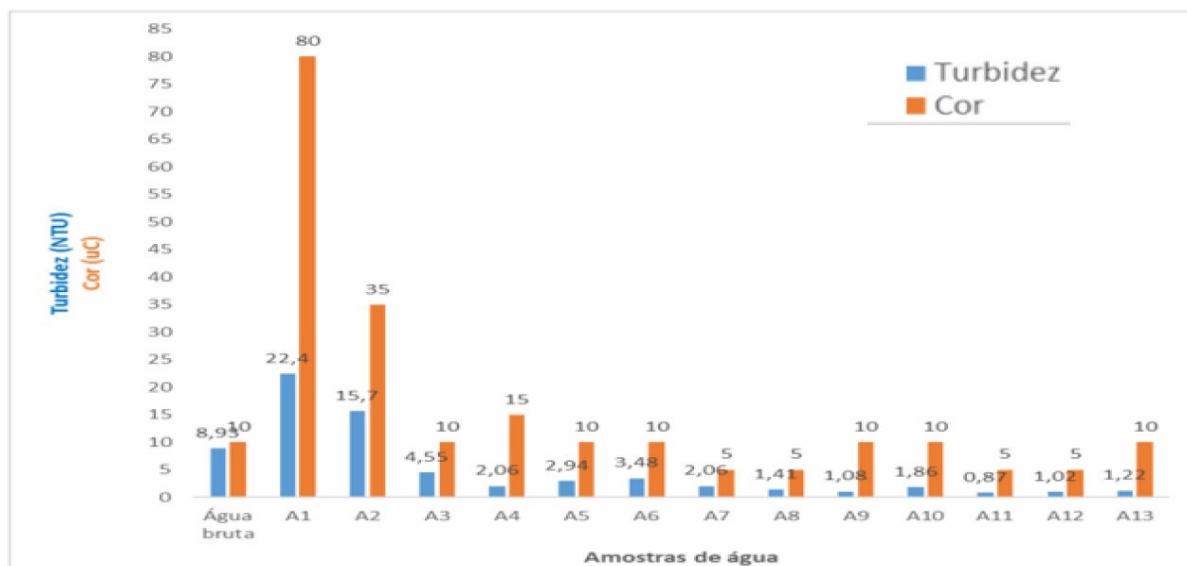
O pH médio das amostras analisadas foi de 6,39 (linha vermelha pontilhada), estando dentro dos valores aceitos pela legislação brasileira sobre vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2021) e muito próximos daqueles observados em águas classificadas como neutras (pH 7). Ao considerar o valor da água bruta (7,24), percebe-se uma pequena variação de pH, que é inferior a 1 unidade logarítmica, quando comparado ao valor médio encontrado. Percebe-se que os resultados das análises de pH do presente estudo corroboram dados obtidos em outros trabalhos envolvendo destilação solar, como aquele desenvolvido por Faria *et al.*, (2015).

➤

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COR E TURBIDEZ

Os resultados das análises de cor aparente e turbidez são mostrados no Gráfico 3. Pode-se notar uma redução menos intensa do que o observado para a condutividade elétrica. Acredita-se que estes dois parâmetros podem ser utilizados como indicadores da necessidade de limpeza e/ou manutenção do sistema, tendo em vista que o aumento na turbidez ocorre como consequência do surgimento de material em suspensão (sujeidades ou crostas salinas formadas nas partes internas do protótipo).

GRÁFICO 3 – Variação da turbidez e cor das amostras de água obtidas no protótipo.



FONTE: Elaborado pelos autores (2023).

➤ PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL

A produção diária também merece destaque, pois partindo de 4L de água salina, obtêm-se, em 48h, aproximadamente 1,7L de água tratada, correspondendo a uma taxa de produção de $0,4 \text{ L}_{\text{água tratada}} / \text{L}_{\text{água bruta}} / 12\text{h}$. Testes iniciais mostraram também que o protótipo mantém o processo de purificação de água mesmo em horários sem incidência direta da radiação solar, pois o sistema consegue reter parte do calor recebido durante as horas de insolação (ocorrência de evapo-condensação noturna). Estima-se que dois sistemas de tratamento sejam capazes de suprir as demandas hídricas diárias de uma pessoa de porte mediano, considerando apenas a ingestão direta da água, na proporção de 35 mL/kg corporal. Na atual taxa de produção, sugere-se que 6 sistemas abasteçam uma família de três membros.

➤ RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

A literatura mostra que alguns microrganismos patogênicos geralmente presentes nas águas são vulneráveis ao calor e à radiação ultravioleta (BRYANT *et al.*, 1992). Observou-se que os resultados bacteriológicos da água bruta (água do poço antes do tratamento) e das amostras de água tratada ratificam essas informações. A diminuição dos níveis de coliformes totais e fecais nas amostras de água bruta e tratada estão resumidas na Tabela 1.

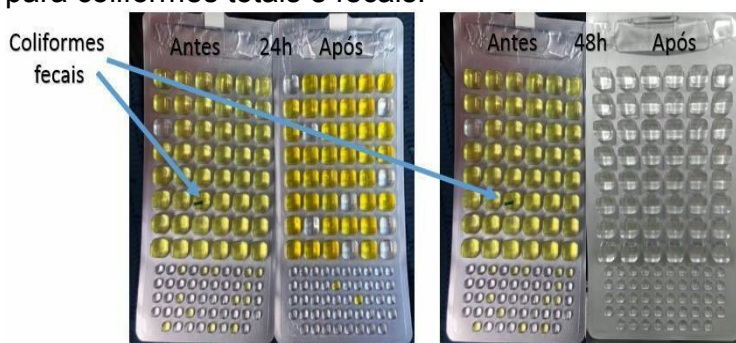
TABELA 1. Resultados da análise do número mais provável de coliformes totais e fecais por 100 ml (nmp/100ml) em amostras de água do poço e da água obtida no processo de tratamento no protótipo.

Amostras	Coliformes Totais	Coliformes Fecais
Água bruta	178,5 NMP/100mL	1 NMP/100mL
Água tratada – 24h	74,4 NMP/100mL	<1 NMP/100mL
Água tratada – 48h	0 (ZERO)	0 (ZERO)

FONTE: Elaborado pelos autores (2023).

Pode-se notar uma redução de coliformes totais em mais de 50% em 24h de funcionamento (178,5 NMP/100mL para 74,4 NMP/100mL) e ausência de coliformes fecais (<1 NMP/100mL) na amostra de água obtida do protótipo (água tratada). Em 48h, observa-se uma remoção de 100% de todos os coliformes (fecais e totais). A eliminação de coliformes fecais é de suma importância, pois a presença de apenas 1 NMP já é o bastante para indicar a presença de bactérias, como a *Escherichia coli*, responsável por infecções intestinais. A Figura 2 mostra, respectivamente, as imagens das cartelas de contagem bacteriológica após 24 e 48h de análise. Os sucessivos ciclos de aquecimento (durante o dia) e resfriamento (período noturno) promovem o processo de pasteurização solar, que é capaz de eliminar todos os microrganismos presentes na água em tratamento.

FIGURA 2. Resultados das análises bacteriológicas para coliformes totais e fecais.



FONTE: Elaborado pelos autores (2023).

ANÁLISE DO PROCESSO DE REMINERALIZAÇÃO

Os resultados mostraram que a remineralização ocorre de modo satisfatório; a condutividade elétrica da água tratada e remineralizada (utilizando-se uma resina a base de pedras minerais naturais obtidas de um bebedouro antigo da escola) apresenta-se na faixa de 100 a 388 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que são valores tipicamente encontrados para algumas marcas de águas minerais comercializadas na região, conforme mostra a Figura 3 a seguir.

FIGURA 3. Funcionamento do sistema de remineralização (à esquerda) e comparação dos resultados obtidos no processo.



FONTE: Elaborado pelos autores (2023).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos até o presente momento são promissores. O processo de dessalinização solar apresenta taxas médias de remoção de salinidade na faixa de 95%. Os sucessivos ciclos de aquecimento e resfriamento (dia e noite) são capazes de promover um processo de pasteurização da água. Esse fenômeno é fundamental na eliminação de microrganismos patogênicos causadores de doenças de veiculação hídrica, como a *Escherichia coli*. Busca-se ainda desenvolver alternativas técnicas que resultem na elevação do rendimento de produção de água tratada para uma taxa mínima de 0,5L/água tratada/L/água bruta/12h.

O processo de adequação da salinidade da água tratada ocorre de modo contínuo e sem necessidade de gasto de energia, à medida que água dessalinizada passa pelo módulo de remineralização (neste trabalho, foi usada uma resina antiga a base de pedras minerais naturais retirada de um bebedouro da escola). Esse processo é fundamental para deixar a água em condições osmóticas ideais para ser consumida por seres humanos e animais.

A facilidade de construção do equipamento (que pode ser comprovada através de consulta ao manual de montagem) mostra que ele pode ser uma importante ferramenta social para catalisar o acesso universal à água potável, além de ter potencial para gerar um importante modelo de negócio de grande relevância socioambiental.

Busca-se agora desenvolver uma estação de monitoramento da qualidade da água tratada, que terá como principais funções acompanhar as variações de condutividade elétrica, ligada diretamente à eficiência da dessalinização, e turbidez, que poderá mostrar a necessidade de limpeza ou correções técnicas/estruturais no sistema.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 2a ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 146 p.

BRASIL. **Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021**. Dispõe sobre os Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano e Seu Padrão de Potabilidade. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html

BRYANT, E. A., FULTON, G.P. e BUDD, G.C. (1992) **Desinfection alternatives for safe drinking water**. Van Nostrand Reinhold Ed., Nova York, EUA. 518p.

CANTELE, T.D.; LIMA, E.C.; BORGES, L.A.C. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1259, 28 dez/2018.

CARVALHO, A.A., NEVES, A.M., MACHADO, D.B., SILVA, E.C., PEREIRA, E.R. et al. Purificação de água através da destilação solar utilizando água salgada. **Esfera Acadêmica Tecnológica**, Vitória, v. 2, n. 1, p. 12-17, 2017.

FARIA, E.V., ARAÚJO, B.S.A., OLIVEIRA, L.C.C.B., LIMA, M.N., ALVES, I.F.B., et al. Desenvolvimento e construção de um destilador solar para dessalinização de água salgada em diferentes concentrações de sais. **Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados**, v. 2, n. 1, out/2015.

FLORES, J.O.M. **A crescente escassez de água no mundo**. Conjuntura Econômica, p. 32-35, mar/2000. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rce/article/view/32333/31132>

LEITE, W. U. **Destilação solar para fins de dessalinização: aplicação de materiais alternativos e tecnológicos para a produção mais eficiente de água potável**. 2019. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/27131>.

MACEDO, J.A.B. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-químicas e Microbiológicas**. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2013. 1056 p.

SILVA, M.C.C.; **Estudos sobre sistemas de destilação solar direta para potabilização de água**. 2014. 343 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2014.

SOARES, C.; **Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2004.