



DESTILADORES SOLAR PARA DESINFECÇÃO DE ÁGUAS

Kênia Kelly Freitas Sarmiento¹
Vanessa Rosales Bezerra²
José Everton Soares de Souza³
Carlos Antônio Pereira de Lima⁴
Keila Machado de Medeiros⁵

INTRODUÇÃO

A água é essencial para o suprimento de alimentos do mundo, para a produção de energia, incluindo bioenergia e energia hidrelétrica, e para o resfriamento de sistemas industriais de energia. A água já é escassa em muitas regiões do mundo e pode apresentar uma situação crítica, à medida que a sociedade tenta simultaneamente mitigar e se adaptar às mudanças climáticas (KIM et al., 2017).

A escassez e a falta de água potável são os desafios mais sérios do século XXI. Atualmente, um terço da população mundial vive em países com estresse hídrico, por volta de 2025, esse número poderá subir para dois terços. Além da escassez, a qualidade da água continua sendo uma grande ameaça à saúde e ao bem-estar humano. Nos países em desenvolvimento, existem mais de 1 bilhão de pessoas que não têm acesso a água tratada, resultando na principal causa da maioria das doenças diarreicas e da mortalidade de mais de 2 milhões de crianças por ano (CONNOR et al., 2019).

Para isso, existem diversas opções para se realizar a dessalinização da água e a escolha do tipo de dessalinizador depende de considerações econômicas e ambientais. A destilação, originalmente desenvolvida para fins industriais, é a técnica mais simples e comum, cujos componentes presentes na água são separados pela aplicação de calor. Resultando na separação entre a água e as substâncias inorgânicas, além dos microrganismos patogênicos (ISENMANN, 2018).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo investigar a eficiência de diversos destiladores solar para a desinfecção de águas.

¹ Mestranda do Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, kenia.sarmento@aluno.uepb.edu.br;

² Doutorando do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - PB, rosalesuepb@gmail.com;

³ Mestrando do Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, everton_g3@hotmail.com;

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB - PB, caplima@uepb.edu.br; Professor da UEPB – PB;

⁵ Professor orientador: Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grade - UFCG, keilamedeiros@ufrb.edu.br.



METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

Para a elaboração deste trabalho utilizou-se inicialmente a leitura de livros didáticos referentes ao tema abordado, além de artigos científicos específicos dentro da temática publicada nos últimos anos, buscando um embasamento teórico, conhecendo melhor a relação entre os tipos de destiladores solar, dando um direcionamento para serem aplicados na desinfecção de águas contaminadas por microorganismos patogênicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

McGuigan et al. (2006) avaliaram a desinfecção solar da água (SODIS) contaminada experimentalmente para inativar oocistos de *Cryptosporidium parvum* e cistos de *Giardia muris*. As suspensões de oocistos e cistos foram expostas a simulações de irradiação solar global de 830 W.m^{-2} para diferentes tempos de exposição e temperatura constante de $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Os cistos de *Giardia muris* foram completamente eliminados dentro do período de 4 horas. Os resultados mostraram que cistos de *G. muris* e oocistos de *C. parvum* foram completamente anulados após exposições ao SODIS em lote de 4 e 10 h, respectivamente. Portanto, o SODIS é uma tecnologia apropriada de tratamento de água para uso doméstico, por contaminação patogênica (bactéria e protozoário) natural ou provocada pelo homem.

Polo-Lopez et al. (2011) estudaram reatores de tubo de vidro de baixo custo em conjunto com a tecnologia de coletor concentrador parabólico composto (CPC), para aumentar significativamente a eficiência da desinfecção solar. O reator foi testado usando *Escherichia coli* como patógeno encontrado na água de um poço natural. O reator aprimorado diminuiu o tempo de exposição necessário para atingir a dose letal de UV-A, em comparação com um sistema CPC. A dose letal de UV-A foi duplicada para evitar a necessidade de um período de inativação, reduzindo significativamente o tempo total de tratamento com SODIS. Usando este reator, o SODIS pode ser utilizado automaticamente a um custo acessível, com tempo de exposição reduzido e intervenção mínima do usuário.

Dessie et al. (2014) analisaram a eficiência da desinfecção solar usando diferentes parâmetros da água como tecnologia de tratamento de água doméstica de baixo custo. A inativação dos microrganismos foi testada usando o coliforme termo tolerante (conhecido por coliforme fecal). O experimento SODIS foi realizado em 2 NTU de turbidez, pH 7 e diferentes temperaturas da água e intensidades solares, usando garrafas de plástico transparentes pintada de preto com diferentes volumes de água. Os resultados mostraram que a taxa de inativação microbiana em relação à profundidade da água, turbidez, tipo e cor do



recipiente, intensidade de luz foi eficiente. O crescimento bacteriano não foi observado após a desinfecção solar. Ajustando os parâmetros, ocorreu à completa e irreversível inativação do coliforme fecal em um tempo de exposição inferior a quatro horas nas áreas onde a irradiância solar foi cerca de $3,99 \text{ KW.m}^{-2}$.

Figueredo-Fernández et al. (2017) propuseram uma equação para estimar a dose letal de UV, de acordo com a radiação que realmente atingiu a água. A equação foi empregada para discutir a desinfecção solar de *Cepas de enterococos* que é evidenciada nas águas residuais usando vários dispositivos SODIS. Foram utilizados três sacos plásticos e uma garrafa de polietilenotereftalato (PET) típica. Doses de radiação UVA-B (280-400 nm) e UV-A (315-400 nm) foram utilizadas para a desinfecção de *Enterococos*. Os experimentos de campo superaram os resultados de desinfecção obtidos em laboratório, devido às condições de irradiância mais altas encontradas. Portanto, foi constatado que o tempo de exposição solar necessário para uma aplicação segura do método SODIS pode ser estimado com a utilização de medições simples e versáteis para várias condições de irradiância, transmitância UV da água e o tipo de dispositivo SODIS.

Nascimento et al. (2018) construíram um destilador solar em escala piloto para verificar a eficiência do equipamento na desinfecção de água. A destilação natural da água pode destruir e/ou inativar microorganismos que são sensíveis ao calor e a radiação UV-A. Este método foi utilizado para fornecer água potável em navios e para dessalinização de água salobra. A verificação da eficiência do equipamento foi baseada na determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*), bem como no número do ácido desoxirribonucléico (DNA) do adenovírus humano tipo 5 (HAdV-5) em amostras de água antes e após a destilação. Os resultados demonstraram que houve 100% de remoção de coliformes totais e *E. coli* 99,98% de remoção do HAdV-5 após a destilação, estando de acordo com o padrão microbiológico de potabilidade determinado pela legislação vigente.

Strauss et al. (2018) analisaram a eficiência de 2 sistemas SODIS-CPC. A água da chuva colhida no telhado foi exposta à luz solar direta em um reator de vidro de borossilicato por um período de 8 horas. A água da chuva não tratada e tratada com SODIS foi analisada por alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos. As concentrações de ânion e cátion permaneceram dentro das diretrizes de água potável. As contagens de *Escherichia coli*, *Legionella* e *Pseudomonasspp* viáveis foram reduzidas para abaixo do limite de detecção em todas as amostras colhidas nos 2 sistemas. Os sistemas SODIS-CPC melhoraram a qualidade da água da chuva colhida, podendo ser utilizada para fins domésticos.



Ayoub e Malaeb (2019) avaliaram a eficiência da inativação bacteriana de reatores solares construídos com diferentes materiais. A constante da taxa de foto inativação (K) foi usada como base para analisar os diferentes reatores. O tipo de contaminante, material do reator, temperatura, tamanho do reator e configuração do reator afetaram o processo SODIS. Entre os contaminantes investigados, *E.coli* ATCC 25922 mostrou menor resistência a foto inativação UV-A, seguida de *E.coli* S22 e coliforme total como mais resistente. Borosilicato e quartzo foram os materiais que revelaram ter maior transmissão de radiação em comparação com o vidro marrom testado.

Kvam e Benner (2020) investigaram o mecanismo de foto inativação bacteriana por meio de um protótipo de LED com espectro UV-A (365 nm). A partir dos resultados obtidos, foi visto que as bactérias forçadas à dormência metabólica por dessecação tornaram-se hipersensibilizadas aos efeitos da radiação UV, permitindo assim uma foto inativação significativa inferior à exposição humana. Portanto, esses resultados comprovaram o mecanismo e potencial da aplicação da radiação do espectro UV-A para fins de desinfecção bacteriana.

Martínez-García et al. (2020) analisaram um foto reator solar baseado em espelhos no formato V como alternativa ao CPC em escala piloto. Para este estudo, foram utilizadas cepas de *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella enteritidis* e *Pseudomonas aeruginosa*, patógenos que são comumente encontrados no armazenamento de água de chuva. Os melhores resultados foram obtidos com a calha no formato V em condição estática, em que ocorreu uma redução para todas as bactérias. Esses resultados mostram um excelente desempenho da calha em V para esta aplicação, além disso, a mesma é de baixo custo de produção do que o CPC e permite tratar quantidades maiores (66% a mais) de água na mesma área de coleta e no mesmo tempo de tratamento.

Parsa et al. (2020) estudaram o desempenho de dois dessalinizadores solares baseados em nano fluidos, expostos a uma altitude em torno de 4000 m. Ao nano fluido foi adicionado 0,04% em peso de prata, devido a sua excelente propriedade óptica, alta condutividade térmica e características antibacterianas. A água produzida nessas condições, a partir de sistemas coletados em garrafas plásticas transparentes expostas a luz solar, durante 8 h de experimento, foi vantajosa para o sistema SODIS. A maior eficiência instantânea de energia e exergia foram obtidas com o nano fluido em 55,98% e 9,27%, respectivamente. Além disso, a eficiência energética e exergia geral do sistema carregado com nano fluido em comparação com o sistema sem nano fluido melhorou em cerca de 110% e 196%, respectivamente.



Finalmente, a exposição da água destilada sob a radiação solar do SODIS, usando nano partículas de prata, para a aplicação antibacteriana e melhoria na transferência de calor/massa, resultou na obtenção de uma água mais saudável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água, recurso natural renovável, bem de uso comum e essencial à vida no nosso planeta, apresenta um ciclo que sustenta a biodiversidade e mantém os ecossistemas, as populações e as comunidades nos ambientes terrestres e aquáticos. Para preservar esse bem comum, os resultados indicaram que a aplicação do SODIS pode desempenhar um papel significativo no fornecimento de água potável nas comunidades rurais dos países em desenvolvimento, onde existe radiação solar em abundância. Ainda, foi observado por meio do destilador solar, que foi possível cessar o crescimento bacteriano após a desinfecção solar, cujas pesquisas apontaram que ajustando os parâmetros, ocorreu à completa e irreversível inativação dos coliformes fecais. Portanto, foi constatado que os destiladores solar foi bastante eficaz para o tratamento de águas contaminadas com microorganismos patogênicos.

Palavras-chave: Destilador solar, Água contaminada, Desinfecção bacteriana, Potabilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

AYOUB, G. M.; MALAEB, L. Solar Water Disinfection: UV Radiation Transmittance of Various Solar Reactor Tubes. **Energy Procedia**, v. 157, p. 498-511, 2019.

CONNOR, R.; UHLENBROOK, S.; KONCAGÜL, E. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019**. Não deixar ninguém para trás. Recuperado de World Water Assessment Programme WWAP, UN-Water: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303_por, 2019.

DESSIE, A.; ALEMAYEHU, E.; MEKONEN, S.; LEGESSE, W.; KLOOS, H.; AMBELU, A. Solar disinfection: an approach for low-cost household water treatment technology in Southwestern Ethiopia. **Journal of Environmental Health Sciences & Engineering**, v. 12, n. 25, p. 1-6, 2014.

FIGUEREDO-FERNÁNDEZ, M.; GUTIÉRREZ-ALFARO, S.; ACEVEDO-MERINO, A.; MANZANO, M. A. Estimating lethal dose of solar radiation for enterococcus inactivation



through radiation reaching the water layer. Application to Solar Water Disinfection (SODIS). **Solar Energy**, v. 158, p. 303-310, 2017.

ISENMANN, A. F. **Operações Unitárias na Indústria Química**. 3^a edição, Timóteo, MG Edição do Autor, 2018.

KVAM E.; BENNER, K. Mechanistic insights into UV-A mediated bacterial disinfection via endogenous photosensitizers. **Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology**, v. 209, p. 1-10, 2020.

KIM, S. H.; HEJAZI, M.; LIU, L.; CALVIN, K.; CLARKE, L.; EDMONDS, J.; DAVIES, E. Balancing global water availability and use at basin scale in an integrated assessment model. **Climatic Change**, v. 136, p. 217-231, 2017.

MARTÍNEZ-GARCÍA, A.; VINCENT, M.; RUBIOLO, V.; DOMINGOS, M.; CANELA, M. C.; OLLER, I.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; POLO-LÓPEZ, M. I. Assessment of a pilot solar V-troughreactor for solar water disinfection. **Chemical Engineering Journal**, v. 399, p. 1-8, 2020.

MCGUIGAN, K. G. Elimination of water pathogens with solar radiation using and automated sequential batch CPR Reactor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 196, p. 16-21, 2011.

NASCIMENTO, F. T.; NASCIMENTO, C. A.; SPILKI, F. R.; STAGGEMEIER, R.; LAUER JÚNIOR, C. M. Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human consumption. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 4, p. 1-12, 2018.

PARSA, S. M.; RAHBAR, A.; KOLEINI, M. H.; JAVADI, Y. D.; AFRAND, M.; ROSTAMI, S.; AMIDPOUR, M. First approach on nanofluid-based solar still in high altitude for water desalination and solar water disinfection (SODIS). **Desalination**, v. 491, p. 1-20, 2020.

POLO-LOPEZ, M. I.; FERNANDEZ-IBANEZ, P.; UBOMBA-JASWA, E.; NAVNTOFT, C.; GARCIA-FERNANDEZ, I.; DUNLOP, P. S. M.; SCHMIDT, M.; BYRNE, J. A.; MCGUIGAN, K. G. Elimination of water pathogens with solar radiation using and automated sequential batch CPR Reactor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 196, p. 16-21, 2011.

STRAUSS, A.; REYNEKE, B.; WASO, M.; KHAN, W. Compound parabolic collector solar disinfection system for the treatment of harvested rainwater. **Environmental Science Water Research & Technology**, v. 4, p. 976-991, 2018.