



Desempenho do sistema SODIS associado a *Moringa oleífera* e Tanino no tratamento de água de abastecimento

The performance of the SODIS system associated with *Moringa oleifera* and tannin in the treatment of supply water

Rennan Soares Ferreira¹, Higor Aparecido Nunes de Oliveira², Karine Zucco Salton³, Edilaine Regina Pereira⁴

RESUMO

Atividades humanas contaminam e degradam a qualidade da água, aumentando a dispersão de doenças de veiculação hídrica. O estudo avaliou a eficácia da desinfecção solar da água através do sistema SODIS (Solar Water Disinfection). O método utilizou garrafas pintadas pela metade (PR) comparativamente a não pintadas (BR), coagulantes extraídos da semente de *Moringa oleífera* (C1) e o Tanino (C2) para comparação dos resultados. O pH não apresentou variações. C1 apresentou maior condutividade elétrica que C2. Para turbidez, foram obtidos resultados superiores a 98% de remoção para cor aparente eficiência superior a 9%. Após exposição solar, as garrafas PR atingiram temperaturas de até 80,5°C (T2PR1) e 80,2°C (T1PR2), eliminando completamente os coliformes termotolerantes. A *Moringa oleífera* superou o Tanino como coagulante com ambos removendo 100% dos coliformes termotolerantes pós-desinfecção. As garrafas PR aqueceram mais rapidamente e alcançaram temperaturas mais elevadas em comparação com as BR. O estudo concluiu que o SODIS, especialmente com o uso de garrafas PR e o coagulante extraído da semente de *Moringa oleífera* é um método eficaz para desinfecção da água.

PALAVRAS-CHAVE: Água; Coliformes termotolerantes; coagulantes orgânicos

ABSTRACT

Human activities contaminate and degrade water quality, increasing the spread of waterborne diseases. The study evaluated the effectiveness of solar water disinfection using the SODIS (Solar Water Disinfection) system. The method used half-painted bottles (PR) compared to unpainted bottles (BR), coagulants extracted from *Moringa oleifera* seeds (C1) and tannin (C2) to compare the results. The pH did not vary. C1 showed higher electrical conductivity than C2. For turbidity, results showed removal of greater than 98% with apparent color efficiency greater than 9%. After sun exposure, the PR bottles reached temperatures of up to 80.5°C (T2PR1) and 80.2°C (T1PR2), completely eliminating thermotolerant coliforms. *Moringa oleifera* outperformed tannin as a coagulant, with both removing 100% of thermotolerant coliforms post-disinfection. The PR bottles heated more quickly and reached higher temperatures compared to the BR bottles. The study concluded that SODIS, especially when using PR bottles and coagulant extracted from *Moringa oleifera* seeds, is an effective method for water disinfection.

KEYWORDS: Water; Thermotolerant coliforms; Organic coagulants

¹ Bolsista da Capes. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: rennanf@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0863328394822932

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: higornuns@gmail.com. ID Lattes: 6036323705914647

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: karynesalton@gmail.com. ID Lattes: 5518921244894684

⁴ Docente no Curso/Departamento/Programa. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: edilaineperreira@utfpr.edu.br. ID Lattes: 9513984462191983.



INTRODUÇÃO

A água é vital para a vida, mas sua exploração intensa ao longo dos séculos levou à preocupação com os recursos hídricos finitos. O reconhecimento do acesso à água tratada segundo a ONU reflete a importância de garantir água segura e saneamento básico para todos, considerando a interligação com a qualidade de vida e os direitos fundamentais (MAIA, 2013).

De acordo com Tundisi (2006), várias atividades humanas acabam contaminando e degradando a qualidade das águas superficiais, causando efeitos diretos e indiretos, como a eutrofização, aumento do material em suspensão, acidificação e aumento da incidência e dispersão de doenças de veiculação hídrica. Em relação ao último, a Portaria GM/MS 888/2021 estabelece que sejam determinados a ausência em 100 mL de *Escherichia coli* e coliformes totais (BRASIL, 2021).

O sistema de desinfecção solar da água via sistema SODIS (Solar Water Disinfection) é uma forma para complementar o tratamento de água de modo a tornar a água potável para o consumo humano, eliminando agentes patológicos como vírus, bactérias e protozoários, através da radiação e aumento da temperatura da água. Conforme Meierhofer e Wegelin (2002), a radiação infravermelha de ondas longas é absorvida pela água, aquecendo-a, e isso pode eliminar microrganismos sensíveis ao calor.

Esta pesquisa visa avaliar a eficácia da desinfecção de água com o método solar SODIS após o tratamento com coagulantes orgânicos extraídos da semente de *Moringa oleífera* e Tanino, para fornecer água segura para consumo humano.

METODOLOGIA

O experimento ocorreu no Laboratório de Recursos Hídricos da UTFPR, com água de abastecimento coletada do Ribeirão Jacutinga, Classe II, em Ibiporã, Paraná. Dois coagulantes foram empregados no tratamento de água, sendo um extraído da semente de *Moringa oleífera* (C1) e o outro o Tanino (C2). Para C1, 10 g de sementes foram triturados com 1M de NaCl em 1 L de água destilada e a concentração definida em 2 mL.L⁻¹ de acordo com Cazu (2019). C2 foi preparado com 1 mL do composto diluído em 1 L de água destilada e a concentração de 2 mL.L⁻¹.

O experimento foi conduzido em um equipamento Jar-Test, usando 4 jarros graduados, cada um contendo 2 litros de água de estudo e, seguindo as adaptações de Theodoro (2018), o processo incluiu 3 minutos de mistura rápida (coagulação) a 150 rpm, seguidos de 10 minutos de floculação a 15 rpm, antes do início da sedimentação. Após a sedimentação que durou 30 minutos, realizou-se a filtração em filtros de areia constituídos em provetas graduadas com uma camada de não tecido geotêxtil de 500g.m⁻² na base, seguida por duas camadas de areia de 7,5 cm cada, com granulometrias de 0 a 0,425 mm (G1) e 0,425 a 0,850 mm (G2), conforme Vizibelli et al. (2019).

Após a filtragem, a água foi transferida para garrafas PET de 500 mL, pintadas pela metade com tinta preta resistente ao calor (PR) e outras sem pintura (BR), para avaliar a desinfecção em condições de aumento de temperatura. Foram criados conjuntos (C1 e C2) em garrafas BR e PR, explorando diferentes condições de desinfecção sendo os tratamentos T1BR1, T1BR2, T1PR1, T1PR2, T2BR1, T2BR2, T2PR e, T2PR2 onde R foram as repetições.

Para desinfecção solar (SODIS), concentradores solares (Figura 1), de madeira e com garrafas BR e PR, inclinados a 22° e cobertos com papel alumínio foram usados para desinfecção. Eles foram posicionados ao Norte para expor garrafas diretamente à luz solar das 10:55h às 14:15h, em um dia claro com temperaturas de 33°C e 19,4°C. A temperatura da água nas garrafas foi medida a cada 20 minutos usando termômetros espeto.

Figura 1 – Execução do SODIS



Fonte: Elaborado pelos autores

O experimento foi realizado em duplicata, abrangendo análises de pH, condutividade elétrica, cor aparente, turbidez e avaliação microbiológica através de placas de Petrifilm 3M para *E.coli* e coliformes totais. Análises estatísticas foram conduzidas no software R, com nível de significância de 5%, empregando o teste ANOVA e, quando necessário, o teste de Tukey para detectar diferenças significativas nos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A água analisada apresentou pH 7,31, condutividade elétrica 84,3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, cor aparente 382 mgPtCOL^{-1} e turbidez 249 NTU.

Ao comparar os resultados de pH no ensaio com o da amostra bruta, tem-se que C1 apresentou maior variação em relação a C2, entretanto, os valores decaíram com o tempo de sedimentação, atingindo o valor mínimo de 6,47 e máximo de 7,54 em T1BR1 durante o ensaio. Na etapa pós-SODIS o pH se manteve entre 6 e 7, valores dentro do limite estabelecidos pela Portaria GM/MS N° 888 de 4 de maio de 2021 que é entre 6 e 9 (BRASIL, 2021).

Com relação a condutividade elétrica, os valores de C1 atingiram valores superiores a C2, devido a adição de NaCl no preparo do coagulante, atingindo valores superiores a 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Após a filtração, C1 reduziu para menos de 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, entretanto, após o SODIS a condutividade aumentou novamente em 100% das amostras.

As Figuras 2 e 3 apresentam a remoção de turbidez e cor aparente, respectivamente, durante todo o ensaio. De acordo com a Figura 2, após a filtração, ambos os tratamentos alcançaram quase 100% de remoção, sendo o menor valor em T2PR1, com 98,8% de remoção, ainda indicando eficácia. No entanto, C1 manteve valores expressivos durante todo o experimento, alinhando-se com resultados semelhantes obtidos por Theodoro et al. (2017), porém inferiores aos relatados por Bicudo et al. (2017) em seus testes com Tanino e *Moringa oleifera*. Na etapa pós-SODIS, as eficiências de remoção aumentaram ligeiramente em relação à fase pós-filtro, atingindo mais de 98% em ambos os tratamentos.



Isso é consistente com estudos de Aquinaga & Medeiros (2022), que alcançaram remoção máxima de 78%, e com as descobertas de Cazu et al. (2019) que obtiveram remoções acima de 96% usando apenas *Moringa oleifera*.

Figura 2 – Eficiência de remoção de turbidez.

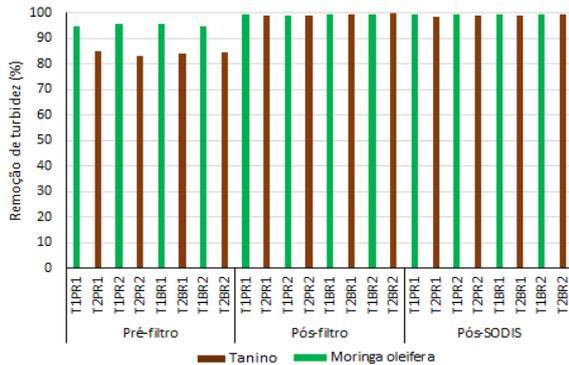
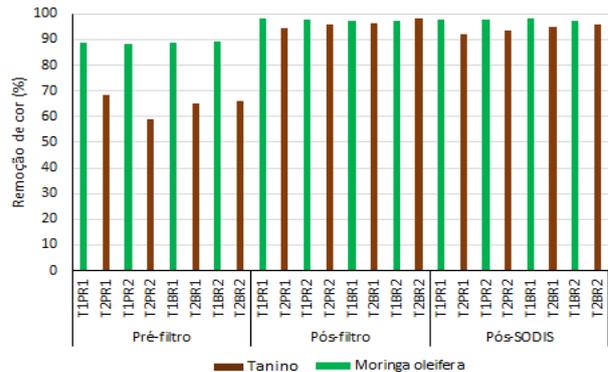


Figura 3 – Eficiência de remoção de cor aparente.



Fonte: Autoria Própria

Nota: T1BR: *Moringa oleifera* na garrafa sem pintura; T1PR: *Moringa oleifera* na garrafa 50% pintada; T2BR: Tanino na garrafa sem pintura; T2PR: Tanino na garrafa 50% pintada.

Fonte: Autoria Própria

Nota: T1BR: *Moringa oleifera* na garrafa sem pintura; T1PR: *Moringa oleifera* na garrafa 50% pintada; T2BR: Tanino na garrafa sem pintura; T2PR: Tanino na garrafa 50% pintada.

Analisando a Figura 3, após a filtração, a eficiência aumentou em ambos os tratamentos, removendo 98,2% em T1PR1 e 98,5% em T2BR2. Siqueira et al. (2019) obtiveram eficiências de remoção de cor aparente de até 95,6% para tanino e 75,8% para *Moringa oleifera*, enquanto Cazu (2022) alcançou remoções acima de 88% após a filtração e até 98% em garrafas sem aplicação de tinta após a desinfecção.

Na etapa pós-SODIS a remoção de cor aparente apresentou ligeiras variações, mas ambos os tratamentos mantiveram eficiência superior a 90%.

As análises estatísticas dos parâmetros de turbidez e cor aparente na etapa pós-SODIS foram conduzidas por meio da técnica de análise de variância (ANOVA), conforme demonstrado nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Análise de variância ANOVA para turbidez na etapa pós-SODIS.

| | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc | Valor-p |
|------------------|----|---------|----|--------|---------|-----------|
| Tratamento | 1 | 0,61051 | 5 | 6,5113 | 0,06319 | 0,8297023 |
| Bloco | 1 | 0,18911 | 3 | 2,0169 | 0,22858 | |
| Tratamento*Bloco | 1 | 0,20801 | 4 | 2,2185 | 0,21061 | |
| Resíduo | 4 | 0,37505 | 2 | | | |
| Total | 7 | 1,38269 | 1 | | | |

Fonte: Autoria Própria

Tabela 2 – Análise estatística ANOVA para cor aparente na etapa pós-SODIS.

| | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc | Valor-p |
|------------------|----|---------|----|--------|-----------|-----------|
| Tratamento | 1 | 16,5600 | 3 | 86,935 | 0,0007365 | 0,9712807 |
| Bloco | 1 | 2,1945 | 4 | 11,521 | 0,0274239 | |
| Tratamento*Bloco | 1 | 2,7730 | 5 | 14,557 | 0,0188522 | |
| Resíduo | 4 | 0,7620 | 2 | | | |
| Total | 7 | 22,2895 | 1 | | | |

Fonte: Autoria Própria

Analisa-se a partir das tabelas que apenas a cor aparente apresentou diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos na etapa pós-SODIS, devido ao valor $Pr > Fc = 0,007$, sendo menor que 0,05 de significância, tendo de acordo com o teste de Tukey as garrafas PR com melhor desempenho.

Quando analisadas as temperaturas da desinfecção, C1 e C2 apresentaram melhor desempenho nas garrafas PR, que alcançaram maiores temperatura, superando 80°C após 3 horas de exposição, destacando ainda o tempo de 40 minutos para alcançar a temperatura de 50°C, enquanto as garrafas BR levaram 1 hora e 40 minutos para alcançar temperaturas similares e atingiram temperatura máxima de 62,4°C. Evidencia-se que todas as garrafas permaneceram ao menos 1 hora de exposição em temperaturas superiores a 55°C.

Foram analisadas as placas de Petrifilm da marca 3M, onde identificou-se a presença de coliformes totais (Figura 4) e constatou-se uma média de 121 UFC.mL⁻¹, entretanto, bactérias do grupo *E. coli* não foram encontradas.

Figura 4– Análises de *E. coli* e coliformes totais da amostra bruta em Petrifilm 3M.



Fonte: Autoria Própria

Após a desinfecção por SODIS, percebe-se que o método foi eficiente e o tempo de 3 horas e 20 minutos foi suficiente para a remoção completa de 100% de coliformes totais. Percebe-se também que mesmo as garrafas PR alcançando temperaturas superiores a BR, ambos os tratamentos eliminaram completamente os microrganismos.

CONCLUSÕES

A pesquisa investigou a combinação de coagulantes orgânicos para desinfecção solar via SODIS revelando uma inibição de 100% no crescimento de *E. coli* e coliformes totais, com C1 superior a C2. Garrafas PR atingiram mais rapidamente a temperatura de inibição, superando 80°C devido ao concentrador solar. No entanto, as garrafas BR, embora tenham levado mais tempo para aquecer, também foram eficazes. A utilização de concentrador solar com garrafas PET pintadas de preto e *Moringa oleifera* demonstrou os melhores resultados, mesmo com menor exposição solar do que na literatura.

Agradecimentos

Agradeço à UTFPR pelo ambiente proporcionado para esta pesquisa e A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro via bolsa de iniciação científica.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.



REFERÊNCIAS

- AQUINAGA, V. K.; DE MEDEIROS, G. A. Desempenho de estrutura para o tratamento de água de origem pluvial baseada no método SODIS. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 13, n. 2, p. 104-116, 2022
- BICUDO, B. R. ; PEREIRA, E.R. ; VIZIBELLI, D. ; RIBEIRO, T. ; JANZ, F. J. L. . Ação dos Coagulantes Tanino, *Moringa oleifera* e Cloreto Férrico Associados a Filtração Direta no Tratamento de Água em corpos Lóticos na Região Sul do Brasil. In: III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia, 2017, BRAGANÇA. III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia, 2017. p. 131-134.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, 7 de maio 2021. Seção 1, página 126. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 20 de abr. 2023.
- CAZU, D. C.; PEREIRA, E. R.; PATERNIANI, J. E. S.; JANZ, F. J. L.; VIZIBELLI, D.; NUNES, A. S.; RIBEIRO, T. Sistema SODIS para desinfecção de água. *Braz. J. of Develop. Curitiba*, v. 5, n. 12, p. 21479-21492, mar. 2022.
- CAZU, D. C. Tratamento de água por sistema sodis com utilização de *Moringa oleifera*. Tese (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.
- MAIA, I. L. B. O acesso à água potável como direito humano fundamental no direito brasileiro. *Revista do CEPEJ*, [S. l.], n. 20, 2018. Disponível em: < <https://periodicos.ufba.br/index.php/CEPEJ/article/view/27165> > . Acesso em: 18 abr. 2023.
- MEIERHOFER, R.; WEGELIN, M. SODIS Manual: Guidance on solar water disinfection. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology. 88p., 2002.
- SIQUEIRA, A. P. da S.; DA SILVA, C. N.; REZENDE, L. C. S. H.; MILANI, R. G.; YAMAGUCHI, N. U. Análise da performance dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 15 n. 27; p. 18. 2018.
- THEODORO, J.D. P. Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.
- THEODORO, J. D. P.; MELO, J. M.; ZEMIANI, A.; OLIVEIRA, B. A. M.; CASTRO, R. De S.; GOES, H. H. D. Clareamento de águas provenientes de sistema lenticos com uso dos coagulantes orgânico *Moringa oleifera* e Tanino (Tanfloc SG): estudo de caso no lago Igapó II em Londrina-Pr. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade. Belo Horizonte – MG. 2017.
- VIZIBELLI, D.; PEREIRA, E. R.; JANZ, F. J. L.; RIBEIRO, T.; BORGES, J. C. A. Não tecido geotêxtil agulhado aplicado como material de leito filtrante em água pré-tratada com coagulantes orgânicos. *Braz. J. of Develop. Curitiba*, v. 5, n. 12, p. 31320-31331, dez. 2019.
- TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão dos recursos hídricos. *REVISTA USP*, São Paulo, n. 70, p. 28, 2006. Disponível em: < <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i70p24-35>>. Acesso em: 18 abr. 2023.