

DESINFECÇÃO DE ÁGUA DE POÇO POR RADIAÇÃO SOLAR (SODIS): UM ESTUDO NA REGIÃO SUL DO TOCANTINS



Revista
Desafios

Disinfection of water by solar radiation (sodis): a study in the south of Tocantins

Desinfección de agua de pozo por radiación solar (sodis): un estudio en la región sur del Tocantins

Grasiele Soares Cavallini^{*1}, Dayane Lira Barros da Silva Araujo², Jordan Gabriel Freitas Lima³

Artigo Original
Original Article
Artículo Original

¹Professora do Curso de Graduação em Química Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

²Discente do Curso de Graduação em Química Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

³Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

*Correspondência: Universidade Federal do Tocantins, Rua Badejós, Lote 7, Chácara 69/72, Zona Rural, Gurupi, Tocantins, Brasil. CEP: 77.402-970. e-mail grasiele@uft.edu.br

Artigo recebido em 20/07/2018 aprovado em 21/09/2018 publicado em 31/10/2018.

RESUMO

O processo de desinfecção de água por radiação solar denomina-se SODIS, proveniente da expressão em inglês “*solar disinfection*”, e atualmente, é utilizado em 20 países por mais de 2 milhões de pessoas por ser uma alternativa de tratamento de água de baixo custo. Este trabalho teve o objetivo de avaliar o potencial da região sul do estado Tocantins, a qual apresentou excelentes resultados mesmo com o tempo nublado e independente da utilização de concentrador solar. O estudo foi realizado no município de Gurupi, onde foi constatada incidência solar suficiente para a desinfecção de 100% de *E. coli* (1,477 log), em 4 horas de exposição solar, e de coliformes totais (4,041 log), em 6 horas de exposição solar em ensaios utilizando água de poço, com turbidez de 0,52NTU. Após este processo a água de poço estaria bacteriologicamente apta para atender os limites estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, que recomenda a ausência de coliformes totais e *E. coli* em 100 mL de água para consumo humano. Não foi observado recrescimento desses microrganismos em amostra tratadas após sua estocagem por até 66 horas na ausência de luz e a temperatura ambiente.

Palavras-chave: Tratamento de água SODIS, SODIS Gurupi, medidas de intensidade solar para SODIS.

ABSTRACT

The process of disinfection of water by solar radiation is called SODIS, and is currently used in 20 countries by more than 2 million people because it is a alternative treatment water of low-cost. This work had the objective of evaluating the potential of the southern region of Tocantins state, which presented excellent results even with cloudy weather and independent of the use of solar concentrator. The study was carried out in the municipality of Gurupi, where it was found sufficient solar incidence for the disinfection of 100% of *E. coli* (1.477 log), in 4 hours of solar exposure, and of total Coliforms (4.041 log) in 6 hours of exposure in well water trials, with turbidity of 0.52 NTU. After this process the well water would be bacteriologically suitable to meet the limits established by Ministry of Health Ordinance No. 2914, of December 12, 2011, which recommends the absence of total coliforms and *E. coli* in 100 mL of water for consumption human. Reconstitution of these microorganisms in treated sample was not observed after storage for up to 66 hours in the absence of light and at room temperature.

Keywords: SODIS water treatment, SODIS Gurupi, solar intensity measurements for SODIS.

RESUMEN

El proceso de desinfección de agua por radiación solar se denomina SODIS, proveniente de la expresión en inglés "solar disinfection", y actualmente, se utiliza en 20 países por más de 2 millones de personas por ser una alternativa de tratamiento de agua de bajo costo. Este trabajo tuvo el objetivo de evaluar el potencial de la región sur del estado Tocantins, la cual presentó excelentes resultados incluso con el tiempo nublado e independiente del uso de concentrador solar. El estudio fue realizado en el municipio de Gurupi, donde se constató una incidencia solar suficiente para la desinfección del 100% de *E. coli* (1,477 log), en 4 horas de exposición solar, y de Coliformes totales (4,041 log), en 6 horas de exposición solar en ensayos utilizando agua de pozo, con turbidez de 0,52NTU. Después de este proceso el agua de pozo estaría bacteriológicamente apta para atender los límites establecidos por la Ordenanza del Ministerio de Salud n° 2914, de 12 de diciembre de 2011, que recomienda la ausencia de coliformes totales y *E. coli* en 100 mL de agua para consumo humana. No se observó un retroceso de estos microorganismos en una muestra tratada después de su almacenamiento por hasta 66 horas en ausencia de luz ya temperatura ambiente.

Descriptor: Tratamiento de agua SODIS, SODIS Gurupi, medidas de intensidad solar para SODIS.

INTRODUÇÃO

O sistema de desinfecção solar consiste na exposição da água ao sol em recipientes que possibilitem a passagem da radiação, geralmente, garrafas PET. Tanto a radiação UVA quanto a radiação infravermelha são responsáveis pela desinfecção da água.

No trabalho de Oates e colaboradores (2003) são descritos três mecanismos para inativação dos microrganismos patogênicos: a) Quando o DNA absorve a radiação UVA, a multiplicação celular é afetada podendo causar mutação celular; b) Quando a matéria orgânica dissolvida absorve radiação UV, reações fotoquímicas podem induzir a formação de espécies altamente reativas como superóxido, peróxidos e radicais hidroxila que podem oxidar componentes da célula e prejudicar o microrganismo; e c) A água absorve fortemente a radiação infravermelha térmica e o aumento da temperatura para valores superiores ao tolerável causam desnaturação de proteínas, impedindo suas funções e, conseqüentemente, matam o microrganismo.

Então, a radiação UVA é germicida, enquanto que a radiação infravermelha eleva a temperatura da água promovendo a pasteurização (70 - 75°C). Um efeito sinérgico é observado na atuação das duas radiações simultaneamente (LUZI, 2016).

De acordo com o Guia de aplicações do SODIS (EAWAG / SANDEC, 2002), a água a uma temperatura de 30°C, necessita de 555 W.h/m² (radiações solares de comprimento de onda entre 350-450 nm, por 6 horas de meia-latidade do sol de verão de meio-dia) para alcançar uma redução de 3 log de coliformes fecais. Abaixo desta temperatura, somente a radiação UVA terá efeito. Se a temperatura da água chegar a 50°C, ocorre a combinação da radiação UVA e temperatura, e para a redução de 3 log de coliformes fecais são necessários apenas 140 W.h/m², equivalente a um tempo de exposição de apenas uma hora. Sabendo que diferentes quantidades de radiação são emitidas no globo terrestre, é necessário avaliar as eficiências de inativação do sistema SODIS de forma específica a cada região, e ainda, observar as variações decorrentes dos períodos do dia e das estações do ano, respeitando as peculiaridades climáticas da região.

A utilização do sistema SODIS é indicada para águas sem contaminação química, porém com contaminação microbiológica como: a) Bactéria: *E. coli*, *Vibrio cholerae*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhi*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella paratyphi*; b) Vírus: Bacteriophage f2, Rotavirus, *Encephalomyocarditis virus*; c) Fungos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Candida*, *Geotrichum* e d)

Protozoários: *Giardia* spp, *Cryptosporidium* spp (EAWAG / SANDEC, 2002).

A desinfecção solar não promove mudança físico-química da água, e a utilização de garrafas PET não liberam substâncias tóxicas, já que a interação entre o plástico e as radiações ocorrem na parte de fora da garrafa. A turbidez da água e garrafas riscadas contribuem para a redução da eficiência de desinfecção, no entanto, apenas águas com turbidez acima de 30 NTU não são adequadas para este tratamento (EAWAG / SANDEC, 2005 e MCGUIGAN, et al, 2012).

Conhecendo as vantagens e as condições necessárias para a implantação do sistema SODIS, neste trabalho foram realizados estudos quanto a utilização da radiação solar para desinfecção de água de poço no município de Gurupi, localizado na região sul do Estado do Tocantins. Avaliando este sistema em diferentes tempos de exposição ao sol e em dois períodos distintos do ano, a época de seca e de chuva. Também foram avaliadas a utilização de concentradores solares e a possibilidade de crescimento microbiano das amostras desinfetadas.

A abundância de dias ensolarados nesta região incentiva pesquisas que explorem esta característica que pode contribuir para o estabelecimento de métodos de tratamentos mais sustentáveis e viáveis, amenizando os problemas de saneamento com custo extremamente baixo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Escolha do poço de estudo e aplicação do sistema SODIS

Foram realizadas visitas e identificados poços possivelmente contaminados, ou seja, os que apresentavam fossas em distâncias inadequadas e que estavam destampados ou que apresentassem qualquer

outra irregularidade de construção. A partir dos registros destas visitas e autorização dos proprietários, um poço foi selecionado para o desenvolvimento da pesquisa.

Após a coleta da água do poço selecionado, os ensaios foram realizados em laboratório, utilizando garrafas PET de 2 litros e transparentes. As garrafas ficaram expostas à radiação solar na posição horizontal por 6 horas, sendo que a cada duas horas uma garrafa foi retirada para realização das análises microbiológicas (quantificação de *E. coli* e coliformes totais (CT)). A temperatura foi registrada a cada 15 minutos, assim como a intensidade da radiação solar.

A utilização do concentrador solar também foi avaliada e comparada com a eficiência obtida sem o concentrador.

Análise Microbiológica e Avaliação do crescimento microbiano

Para as análises microbiológicas foi utilizada a técnica da filtração em membranas, na qual são filtrados 100 mL da amostra, através de uma membrana de nitrato celulose, de 47 mm de diâmetro, estéril e com porosidade de 0,45 µm, sendo a mesma disposta em placas de Petri contendo o meio de cultura cromogênico, seletivo e diferencial para coliformes e incubadas à 36°C por 24h. Apenas a amostra bruta necessitou ser diluída. O método de análise microbiológica adotado segue a descrição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), designado como método 9222B.

O potencial de crescimento bacteriano foi avaliado nas amostras após 66 h de exposição ao sol. Após o ensaio de desinfecção a amostra foi armazenada em ambiente escuro à temperatura ambiente, depois disso a análise microbiológica foi realizada e o potencial de crescimento foi

determinado. O recrescimento foi avaliado somente no tempo de exposição solar com maior inativação (6 horas).

Monitoramento da radiação e temperatura

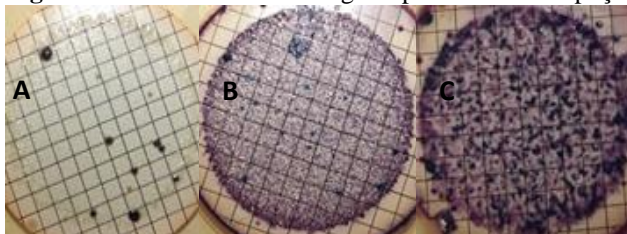
A radiação e a temperatura foram medidas com intervalo de 15 min. A intensidade da radiação solar foi medida por um radiômetro, modelo VLX-3W da marca Vilber Lourmat, com sensores para os comprimentos de 312nm e 365nm. A temperatura foi medida com um termômetro de mercúrio em duas garrafas (uma dentro e outra fora do concentrador), as quais foram utilizadas exclusivamente para monitoramento da temperatura para evitar contaminação das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Escolha da amostra para a aplicação do sistema SODIS

Analisou-se a água de três poços distintos para selecionar o local de coleta da água a ser desinfetada. Dentre as três amostras disponíveis, escolheu-se a amostra que apresentou uma maior quantidade de *E. Coli* e coliformes totais (amostra C). Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Análises microbiológicas para escolha do poço.



Pode-se observar que a amostra C, apresenta mais pontos azuis escuros, que correspondem a colônias de bactérias de *E. coli*, os pontos roxos correspondem a colônias de coliformes totais (CT).

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos em cada amostra.

Tabela 1 - Determinação de *E. coli* e coliformes totais das amostras de água de poço.

	Coliformes totais (UFC/100mL)	<i>E. coli</i> (UFC/100mL)
AMOSTRA A	8	<1
AMOSTRA B	4×10^3	22
AMOSTRA C	2×10^3	3×10^2

A Figura 2 apresenta uma foto do poço utilizado para o estudo, o qual corresponde a amostra C. Observa-se que o mesmo pode ter contaminação por água de chuva, tanto por infiltração pela tampa como pelo solo. O poço apresenta perfuração rasa de no máximo 6 metros.

Figura 2 - Poço utilizado na extração de água para os ensaios.



Aplicação do sistema SODIS

Após a seleção do poço foi feita a coleta da água em garrafas PET transparente de 2 litros para a realização dos ensaios. Foram utilizadas 11 garrafas, sendo que 5 ficaram expostas a radiação solar com o concentrador, outras 5 ficaram expostas a radiação sem concentrador conforme a Figura 3. E uma ficou armazenada, sob refrigeração, para realizar a análise microbiológica da amostra bruta. O ensaio foi realizado com tempo de exposição de 2, 4, 6 e 8 horas. Uma garrafa dentro do concentrador e outra fora foram utilizadas para monitoramento da temperatura,

portanto foram utilizadas as outras quatro para o ensaio de desinfecção.

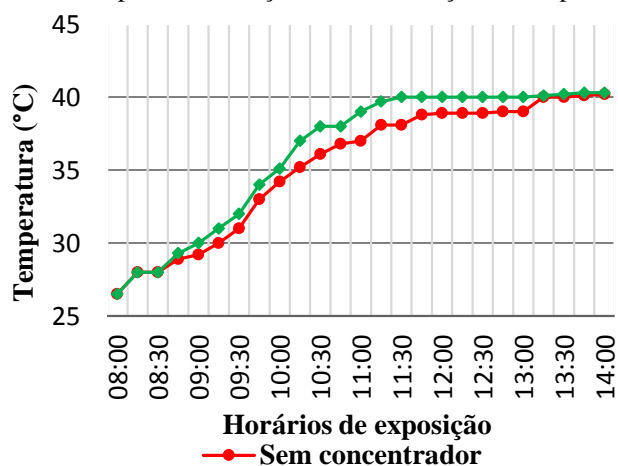
Figura 3: Amostras expostas ao sol com e sem o concentrador solar.



Monitoramento de temperatura

A Figura 4 apresenta o aumento da temperatura com e sem concentrador em relação ao tempo de exposição à radiação solar.

Figura 4 - Detalhamento do aumento da temperatura das amostras expostas à radiação solar em relação ao tempo.



No dia do ensaio o céu estava parcialmente nublado, no entanto, observou-se que a temperatura variou de 26,8°C até 40,5°C, onde a amostra dentro do concentrador teve um aumento de temperatura maior.

De acordo com o Guia de aplicações do SODIS (EAWAG / SANDEC, 2002), a radiação infravermelha, aumenta a temperatura da água, e é conhecida como pasteurização quando a temperatura da água é elevada a 70°C-75°C. O uso combinado da radiação UVA e a produção de calor, causa um efeito em conjunto que aumenta a eficiência do processo. A radiação infravermelha absorvida pela água é responsável pelo seu aquecimento.

Observou-se que a temperatura da água nas garrafas não atingiu a temperatura necessária para o efeito de pasteurização. No entanto, mesmo sem ter alcançado a temperatura necessária para a pasteurização, o efeito sinérgico da radiação UVA com o aumento da temperatura melhoram a eficiência do processo, como foi observado nos resultados a seguir.

Avaliação da eficiência da desinfecção solar

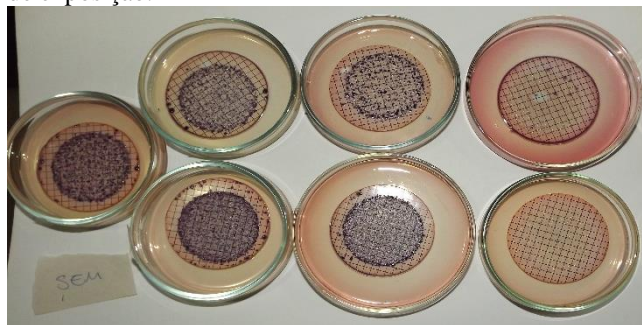
Após o processo de exposição das garrafas ao sol foram realizadas as análises microbiológicas para a determinação da eficiência do sistema SODIS. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2 - Resultados obtidos antes e depois dos ensaios de desinfecção.

Período de exposição	Sem concentrador		Com Concentrador	
	<i>E.coli</i> (UFC/10 0mL)	CT (UFC/10 0mL)	<i>E.coli</i> (UFC/10 0mL)	CT (UFC/10 0mL)
0 horas	30	11000	30	11000
2 horas	2	2000	9	1500
4 horas	<1	1700	<1	800
6 horas	<1	<1	<1	<1
8 horas	<1	<1	<1	<1

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que a partir de 2 horas de exposição já ocorreram inativações significativas. Com 4 horas de exposição ocorreu inativação completa de *E. coli* e com 6 horas de exposição ocorreu a inativação completa de coliformes totais, tanto dentro como fora do concentrador solar. Mesmo com o tempo nublado houve 100% de eficiência na inativação de *E. coli* e coliformes totais com 6 horas de exposição à radiação solar, como demonstra a Figura 5.

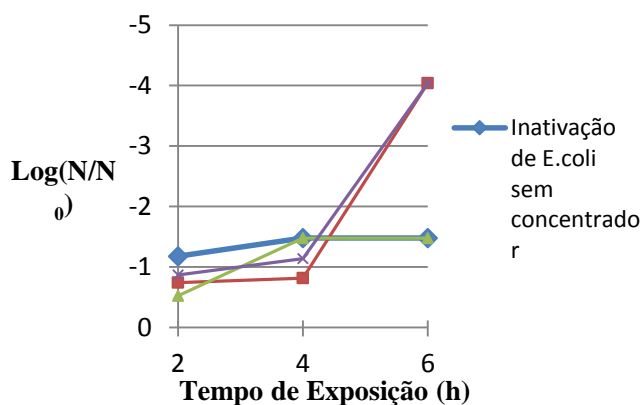
Figura 5 - Desinfecção das amostras com relação ao tempo de exposição.



A primeira placa corresponde a amostra bruta (antes da desinfecção). As três placas superiores correspondem ao ensaio com concentrador e as três inferiores fora do concentrador.

A Figura 6 apresenta os dados da Tabela 2 em unidades logarítmicas, devido a elevada quantidade de microrganismos presentes na água. A eficiência do sistema é apresentada como $\text{Log}(N/N_0)$, onde (N_0) representa o número de colônias antes da desinfecção e (N) o número de colônias depois da desinfecção solar.

Figura 6 - Inativação de *E. coli* e coliformes totais dentro e fora do concentrador.



Observou-se que com 4 horas exposição ocorreu uma inativação de 1,477 log de *E. coli* dentro e fora do concentrador e com 6 horas de exposição ocorreu a inativação de 4,041 log de coliformes totais dentro e fora do concentrador. Com 6 horas de exposição solar obteve-se 100% de inativação dos indicadores de contaminação avaliados.

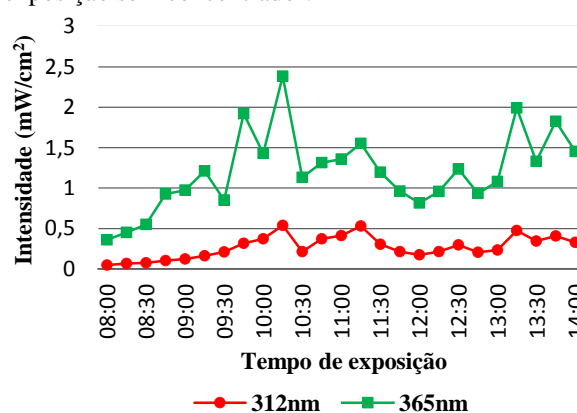
A avaliação do recrescimento bacteriano foi realizada com as amostras de 6 horas de exposição

solar. As amostras permaneceram no escuro e a temperatura ambiente durante 66 horas e depois foram realizadas as análises microbiológicas, sendo que as amostras não apresentaram recrescimento bacteriano.

Cálculos da dose de radiação solar sem concentrador

Os resultados obtidos durante o monitoramento da radiação solar no dia do ensaio de desinfecção são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Intensidades de radiação em função do tempo de exposição sem concentrador.



Analisando a Figura 7, pode-se observar uma grande variação na intensidade solar em função do tempo, com um pico máximo no tempo de 10h15min e outros picos elevados nos tempos de 09h45min, 11h15min, 13h15min e 13h45min. Logo após a curva alcançar o máximo, ela decai bruscamente, isso ocorreu, devido a presença de nuvens, as quais encobriram parcialmente o sol na maior parte do tempo, e somente no horário de 10h15min o sol ficou totalmente descoberto.

As amostras submetidas ao processo de desinfecção solar neste trabalho apresentaram turbidez de 0,52 NTU, ou seja, a influência do desvio da luz por partículas foi muito baixa. Vale ressaltar, que a garrafa na posição horizontal apresenta 10cm de diâmetro, sendo assim, utilizam-se equações matemáticas que extrapolam o valor absorvido em 1cm medido no espectrofotômetro e estimam o valor médio de

radiação no interior da garrafa. Por isso, depois que se fez a média de radiação emitida pelo sol, nos intervalos de tempo, aplicou-se estas médias de intensidade na Equação 1. Sendo assim, quanto maior a profundidade (lâmina de água) menor a radiação média no interior da garrafa.

$$I_w = \frac{I_0}{\alpha L} (1 - e^{-\alpha L}) \quad \text{Equação 1}$$

Onde: I_w = Intensidade média da radiação disponível para desinfecção (mW/cm²); I_0 = Intensidade da radiação emitida pela fonte (mW/cm²); L = Espessura da lâmina líquida exposta à radiação solar (cm); α = Coeficiente de absorção (absorbância x 2,303) (cm⁻¹); x = Espessura da cubeta utilizada na medida espectrofotométrica (cm).

A Tabela 3 apresenta uma comparação da intensidade que chega até a superfície da garrafa e a intensidade que está disponível para desinfecção, nos comprimentos de onda de 312 e 365nm.

Tabela 3 - Intensidade de radiação emitida (I_0) pela fonte e a Intensidade (I) média no interior da garrafa com água do poço.

Período de exposição	I_0	I	I_0	I
	(mWcm ⁻²) 312nm	(mWcm ⁻²) 312nm	(mWcm ⁻²) 365nm	(mWcm ⁻²) 365nm
08-10h (2h)	0,1630	0,1612	0,9639	0,9529
08-12h (4h)	0,2466	0,2438	1,1407	1,1276
08-14h (6h)	0,2691	0,2660	1,2079	1,1941

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 3, observa-se que a diferença das intensidades foi pequena, ocorrendo um decréscimo muito baixo, não muito significativo para diminuir a eficiência do processo, isso é justificado, principalmente, pela baixa turbidez. Porém, para que a dose represente um valor mais próximo possível do real este cálculo deve ser realizado e assim, o resultado obtido pode ser utilizado como referência para outros estudos.

Partindo dos dados obtidos, calculou-se a dose de radiação de cada tempo no tratamento sem o concentrador. A dose do ensaio com concentrador não

foi calculada, devido a impossibilidade de mensurar a radiação refletida. As doses de radiação solar, nos diferentes intervalos de exposição, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Dose da radiação em cada tempo de exposição.

Período de exposição	Dose (mW.h.cm ⁻²)	Dose (mW.h.cm ⁻²)	Log de remoção	
	312nm	365nm	<i>E. coli</i>	CT
08-10h (2h)	0,3224	1,9058	-1,176	-0,740
08-12h (4h)	0,9752	4,5104	-1,477	-0,811
08-14h (6h)	1,5960	7,1646	-1,477	-4,041

O cálculo da dose é importante, pois representa a exposição de um dado organismo à irradiação na faixa germicida. Sendo ela o produto da intensidade da radiação pelo tempo que as amostras ficaram expostas (DANIEL et al., 2001). Considerando o tempo de exposição solar de 6 horas, a dose mínima no comprimento de 312nm foi de 0,3224 mW.h.cm⁻² e a máxima foi de 1,5960 mW.h.cm⁻², já no comprimento de 365nm a mínima foi de 1,9058 mW.h.cm⁻² e a máxima foi de 7,1646 mW.h.cm⁻². A dose no tempo de 2 horas (08 às 10h) não foi suficiente para realizar uma completa eliminação, mas reduziu cerca de 1,176 e 0,740 logs de *E. coli* e Coliformes totais, respectivamente. No período de 08 às 12h da manhã obteve-se uma dose de 4,5104 mW.h.cm⁻² (em 365 nm), que se mostrou suficiente para inativar totalmente *E. coli*. O mesmo não ocorreu para CT que normalmente é mais resistente a desinfecção. No período de 08 às 14h a dose foi bem mais forte, reduzindo 1,477 de logs de *E. coli* e 4,041 logs de coliformes, talvez inativações maiores pudessem ser alcançadas, mas a desinfecção total da amostra limitou a quantificação precisa deste valor.

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que mesmo com o tempo nublado e independente da utilização de concentrador solar a região Sul do Estado do Tocantins apresentou incidência solar suficiente para a desinfecção de 100% de *E. coli* (1,477 log), em 4 horas de exposição solar, e de coliformes totais (4,041 log), em 6 horas de exposição solar da água de poço em estudo.

As doses de 1,5960 mW.h.cm⁻² (312nm) e 7,1646 mW.h.cm⁻² (365nm), apresentaram-se como doses suficientes para desinfecção da água do poço em estudo, e depois deste processo estaria bacteriologicamente apta para atender os limites estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde n° 2914, de 12 de dezembro de 2011, que recomenda a ausência de coliformes totais e *E. coli* em 100 mL de água. A eficiência da desinfecção de água de poço por radiação UV solar foi verificada com a inativação de 100% de *E. coli* e coliformes totais e o não recrescimento desses microrganismos em amostra tratadas e estocada por até 66 horas na ausência de luz e a temperatura ambiente.

AGRADECIMENTO

O desenvolvimento desta pesquisa contou com benefícios do Programa Institucional de Produtividade em Pesquisa da UFT (PROPESQ/UFT) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil. Agradecemos também a UNICENTRO pela colaboração.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

APHA / AWWA / WEF. Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. APHA (American Public Health Association) CD-ROM. USA, 1998.

DANIEL, L. A. (Coord.). Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. 1ª ed. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, ABES, 2001.

EAWAG (Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia da Água) / SANDEC Departamento de água e saneamento para países em desenvolvimento). Desinfecção Solar da água: Guia de aplicações do SODIS. 2002.

EAWAG/SANDEC. Training manual for SODIS promotion, Dübendorf, Suíça, p.1-88, 2005.

LUZI, S. SODIS manual: Guidance on solar water disinfection. Duebendorf: EAWAG, 2016.

MCGUIGAN, K. G.; CONRO, R. M.; MOSLER, H. J.; PREEZ, M.; UBOMBA-JASWA, E.; FERNANDEZ-IBANEZ, P. Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. J. Hazard. Mater., 2012, 29-46, 235.

OATES, P. M.; SHANAHAN, P.; POLZ, M. F. Solar disinfection (SODIS): simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti. *Water Research*, v. 37, p. 47-54, 2003.