

Uso da radiação solar na desinfecção microbiológica da água de uma cisterna de uso doméstico¹

Daniel Rodrigues da Silva²; Weliton Eduardo Lima de Araújo³

¹ Artigo apresentado à Faculdade de Engenharia Ambiental como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental, Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade de Rio Verde - UniRV, 2014.

² Aluno de Graduação, Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade de Rio Verde - UniRV, 2014. E-mail: daniel.rodrigues13@gmail.com

³ Orientador, Professor Msc da Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade de Rio Verde - UniRV, 2014. E-mail: wambiental@gmail.com

Resumo: Manter a qualidade da água a ser consumida pela população é de suma importância para evitar surtos de doenças de veiculação hídrica. Nesse âmbito o presente trabalho tem como objetivo determinar a eficácia do tratamento por SODIS (desinfecção por radiação solar) em água bruta coletada de uma cisterna, alocada em uma residência, que fornece água para consumo dos moradores. Foram utilizadas garrafas PET transparentes para realização do experimento, composto por 3 repetições e 3 tratamentos, com 3 amostras por repetição. As amostras com 600 ml de água foram extraídas diretamente da cisterna e foram submetidas a períodos de exposição à radiação solar de 0h, 2h e 4h utilizando concentrador solar para maximizar os efeitos da radiação. Para verificar o nível de desinfecção das amostras coletadas, foram submetidos a ensaios de quantificação de Coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli*. Os resultados obtidos indicaram um desempenho bastante satisfatório da inativação dos microrganismos após o período de exposição de 4 horas, em comparação à amostra padrão.

Palavras-chave: concentrador solar, Coliformes, SODIS

Abstract: Maintain the quality of water to be consumed by the population is of paramount importance to prevent outbreaks of waterborne diseases. In this context, the present study aims to determine the effectiveness of the SODIS treatment (solar disinfection) in raw water collected from a cistern, allocated in a residence, which provides water for their residents. Were used PET bottles, transparent, for realization of the experiment, consisting of 3 repetitions and 3 treatments, with 3 samples per repetition. Samples with 600 ml of water were extracted directly from the cistern this have undergone to periods of exposure to solar radiation during 0h, 2h and 4h using solar concentrator to maximize the effects of radiation. To verify the level of disinfection of samples collected, have undergone tests for quantification of total coliforms, fecal coliforms and *Escherichia coli*. The results indicated a very satisfactory performance of the inactivation of microorganisms after the exposure period of 4h, as compared to the standard sample.

Key-words: Solar Concentrator, Coliforms, SODIS

INTRODUÇÃO

A superfície da Terra é constituída por 70% de água, bem natural necessário para a manutenção da vida e indispensável para as atividades antrópicas. Entretanto apenas uma pequena fatia dessa quantidade é considerada consumível, 2,5% de água doce, sendo ela distribuída, cerca de 68,9% em geleiras, calotas polares e montanhas; 30% em águas subterrâneas; 0,9% contido em umidade do solo e pântanos, e apenas 0,3% constitui lagos e rios (SHIKLOMANOV & RODDA, 2003 apud SOUZA et al 2009)

O Brasil é um país privilegiado nesse quesito, possui o maior potencial hídrico da Terra, 1.488.000 m³/s (TUNDISI, 2003 apud BARROS & LUCAS, 2013) detém 12% de toda a água doce do planeta e 28% das Américas, além de possuir em seu território os aquíferos Alter do Chão e Guarani (SILVA, 2012), os maiores da atualidade. Com toda essa capacidade deve-se atentar constantemente à qualidade dessa água contra riscos que possa degradar essa característica. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2008) no Brasil cerca de 28 mil pessoas morrem todos os anos por contaminação da água ou falta de tratamento adequado, esse número em países mais pobres podem chegar a 2 milhões de mortes por ano (CAUBET, 2006). Portanto o fornecimento de água de má qualidade e falta de saneamento constituem-se uma grande ameaça à vida da população que a consome.

Nesse sentido, a portaria do Ministério da Saúde, nº 2.914 de 2011 (BRASIL, 2011) dispõe sobre os parâmetros de qualidade da água ofertada ao consumo humano. Tais valores norteadores devem ser alcançados pelas empresas de saneamento a fim de evitar que a água chegue em má qualidade para consumo, podendo ocasionar surtos de doenças de veiculação hídrica, originadas por microrganismos patogênicos transmitidos pela rota fecal-oral de animais e humanos (VON SPERLING, 2005), ou seja, as fezes de indivíduos infectados em contato com a água pode contaminar os demais indivíduos que a consumirem.

No Brasil, os dados apontam a precariedade das condições de saneamento básico, segundo o IBGE em 2012, apenas 70,3% dos domicílios urbanos brasileiros tinham acesso a saneamento adequado, destacando-se negativamente as regiões Norte e Nordeste onde 93,5% dos domicílios não tem esgotamento sanitário, bem como água tratada. Apesar do crescimento do país, e as constantes intervenções do poder público

para tentar melhorar o saneamento básico, uma grande parte da população não tem acesso a água tratada sendo necessário o uso meios alternativos para a captação e armazenamento de águas em que destaca-se as cisternas, tanto no meio urbano quanto rural (SILVA et al.,2005), contudo, o uso de cisternas não garante que a água está livre de microrganismos patogênicos, além de grandes riscos de contaminação pois tanto a sua instalação, armazenamento e manuseio quando inadequados ocasionam em contaminação e conseqüentemente possibilita o a ocorrência de doenças (ANECCHINI, 2005).

Todavia, devido a grande dificuldade na implementação de sistemas de tratamento tanto quanto mão de obra para operá-lo, principalmente em regiões em desenvolvimento, faz-se necessário recorrer a métodos e tecnologias alternativas para o tratamento dessa água. Dessas alternativas, destaca-se o uso da radiação solar, também conhecida como SODIS (*Solar disinfection*), recomendado pela ONU para tratamento da água para domicílios familiares, por tratar-se de um sistema simples, bastante viável financeiramente, eficiente, não gera resíduos e que é utilizado em mais de 15 países da África, Ásia e América Latina (SODIS, 2013).

Porém, mesmo com seu baixo custo, não é uma metodologia costumeiramente utilizada no Brasil, por ser um método com certo nível de complexidade, trabalhoso e que necessita-se de estudos específicos para sua realização. Nesse âmbito, objetivou-se avaliar a desinfecção microbiológica da água, coletada de uma cisterna, para consumo humano através do uso de radiação solar (infravermelha e ultravioleta) e verificar a relação da desinfecção com o aumento da temperatura da amostra.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento consistiu em remover os agente patógenos da água armazenando-a em garrafas PET transparentes e posteriormente deixando expostas à radiação solar, sendo essa radiação infravermelha e radiação ultravioleta, com auxílio do concentrador solar, verificando a evolução da desinfecção durante o tempo de exposição.

As amostras de água bruta utilizadas neste experimento, foram coletadas de uma cisterna em uma residência, constituída por 4 indivíduos no grupo familiar, no bairro Jardim América no município de Rio Verde - GO, contudo, a família consome alternadamente a água extraída da cisterna e da rede pública de abastecimento, Figura 1.

A água coletada foi bombeada diretamente da cisterna e distribuída em 18 garrafas PET de 600ml, transparentes, reutilizados. Utilizou-se garrafas PET pois devido a seus estabilizantes que impedem qualquer deformação do material e também por não sofrer alterações químicas quando expostas à radiação ultravioleta. (JACOMINI, 2004). A radiação infravermelha é responsável pela elevação da temperatura da água tal elevação que após 50°C auxilia a desinfecção da água por um método conhecido como SOPAS (Pasteurização por energia solar) e evita o recrescimento bacteriano. (RODRIGUES, 2011), enquanto a radiação ultravioleta penetra e danifica a célula impedindo os microrganismos de metabolizar e se reproduzir (MELÉNDEZ, 2011). Não foi necessário nenhum processo de filtração da água coletada.



Figura 1: Cisterna utilizada na extração de água para as amostras.

Neste trabalho optou-se pelo uso de recipientes com volume de 600ml, para viabilizar o transporte a longa distancia das amostras acondicionadas em caixas com isolamento térmico, conforme orientação do laboratório responsável de que as amostras não poderiam ser violadas após tratamento a fim de não comprometer os resultados. Assim, a fim de evitar qualquer contaminação às amostras por algum resíduo ou material, os recipientes de 600ml foram previamente preparados através de lavagem com sabão neutro, o uso de ácido acético e posterior esterilização.

O experimento foi realizado em três dias distintos, consecutivos com sol intenso durante o período. A coleta das amostras nos três dias foram realizadas às 08h00min, a

água foi coletada diretamente nas garrafas de 600ml enchendo cerca de 3/4 cada, e sendo posteriormente fechadas, acondicionadas em refrigeração até o local onde fora executado o experimento, conforme Figura 2.



Figura 2: Amostras de água coletadas da cisterna, em garrafas PET.

A 1ª repetição foi realizada dia 05/11/2014, e a 2ª repetição em 06/11/2014, a 3ª repetição 07/11/2014. Foram utilizadas três garrafas de água bruta para cada tratamento (tempo de exposição à radiação solar) sendo os mesmos: 0h (Sem exposição), 2h (11h00min às 13h00min) e 4h (10h00min às 14h00min) totalizando assim 9 garrafas por repetição. Utilizando como ponto de partida para os tratamentos o ponto de maior incidência solar (12h00min), conforme Figura 3.

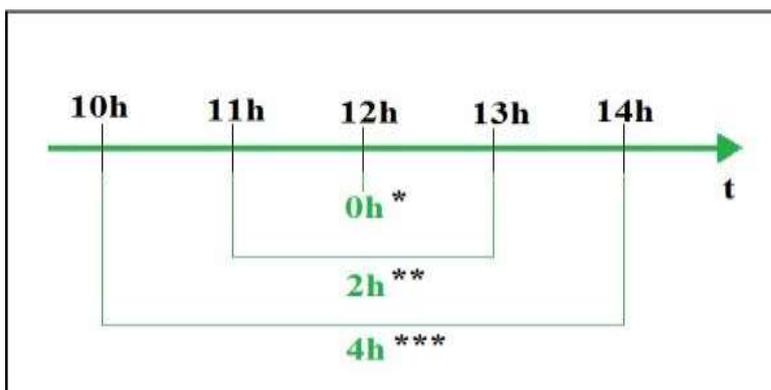


Figura 3: Esquema do período de exposição das amostras para cada tratamento, em concentradores solares. * 1º Tratamento (Sem exposição). ** 2º Tratamento. ***3º Tratamento.

As amostras foram expostas à radiação solar com início às 11h cumprindo os 3 tratamentos, com 3 amostras por tratamento, para garantir maior confiabilidade científica aos valores obtidos, totalizando 27 amostras no ensaio. Para intensificar os

efeitos da radiação solar nas amostras, conforme proposto pelo Instituto Mexicano de Tecnologia da Água (IMTA), foram construídos concentradores de raios solares feitos de madeira e revestido por papel alumínio (HERRERA, 2003), cada concentrador possui 55cm de comprimento por 40cm de largura e 12ms de altura, as garrafas foram acondicionadas dentro dos concentradores paralelamente ao chão, cuja função é captar a luz solar numa área relativamente grande e concentrá-la numa área menor, de maneira que nesta ocorra um aumento de temperatura (MMA, 2014), conforme Figura 4.



Figura 4: Execução do experimento: garrafas expostas à radiação solar com o uso de concentrador solar.

Durante o período de exposição, foram aferidas as temperaturas das amostras, a cada hora, através de um termômetro à laser infravermelho fornecido pela Faculdade de Engenharia Ambiental da Universidade de Rio Verde (UNIRV), Verificando os dados nota-se um natural aumento gradativo da temperatura ao longo do tempo de exposição ao sol.

Ao término do experimento, as amostras foram retiradas e resfriadas, com auxílio de caixa com gelo e água, a fim de atingir a temperatura de 4°C, que seria mantida durante todo o transporte, acondicionadas em uma caixa com isolamento térmico sendo enviadas ao laboratório respeitando o prazo limite para análises microbiológicas conforme instrução da ANA e CETESB (2012).

As análises foram realizadas pelo Laboratório Microlab Ambiental situado em Goiânia - GO, utilizaram a contagem por Unidade Formadora de Colônia (UFC) em 100mL de amostra, pela metodologia de *Pour Plate* de acordo com as técnicas

recomendadas pelo *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater*. (APHA; AWWA; WEF, 2012). Na análise estatística utilizou-se a Análise de Variância e Teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o experimento com o uso do termômetro, observou-se as temperaturas das amostras a cada hora, Tabela 1.

Tabela 1 - Detalhamento do aumento da temperatura das amostras expostas à radiação solar em relação ao tempo.

Tempo (h)	Temperatura (°C)		
	1° Tratamento 05/11	2° Tratamento 06/11	3° Tratamento 07/11
1	42,3	42,1	42,0
2	45,2	44,9	44,8
3	49,1	48,9	49,0
4	51,4	51,1	50,9
Média	47,0	46,75	46,68

Durante a exposição das amostras à radiação solar as temperaturas aferidas a cada hora apresentaram uma temperatura média de 46,8°C com máxima de 51,4°C.

Determinou-se a média dos valores da quantidade de Unidades Formadora de Colônia (UFC) de Coliformes Totais, Termotolerantes e *Escherichia coli* das amostras analisadas detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos da presença de *Escherichia Coli*, coliformes totais e termotolerantes das amostras ensaiadas.

Período de Exposição	0 horas			2 horas			4 horas		
	Média de *UFC/100mL			Média de *UFC/100mL			Média de *UFC/100mL		
Repetição	Col. Tot. ¹	Col. Term. ²	E. Coli ³	Col. Tot.	Col. Term.	E. Coli	Col. Tot.	Col. Term.	E. Coli
Rep. 1	245,5	94,5	<1,0	112,5	59,5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Rep. 2	<208,0	72,0	<1,0	<144,0	<21,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Rep. 3	<227,0	<83,5	<1,0	<128,5	<40,5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

*UFC: Unidade Formadora de Colônia, ¹Coliformes Totais, ²Coliformes Termotolerantes, ³*Escherichia coli*.

Conforme os valores obtidos, possibilitou observar uma redução da quantidade de colônias após o período de exposição ao tratamento. Observa-se uma significativa

diferença entre os tratamentos de 0h, 2h e 4h tanto para Coliformes Totais quanto Termotolerantes, exceto para *E. coli* que apresentou quantidades muito reduzidas desde o tratamento de 0 hora.

Foram realizadas representações gráficas do comportamento das médias observadas em cada parâmetro durante as repetições analisadas, conforme Figuras 6, 7 e 8.

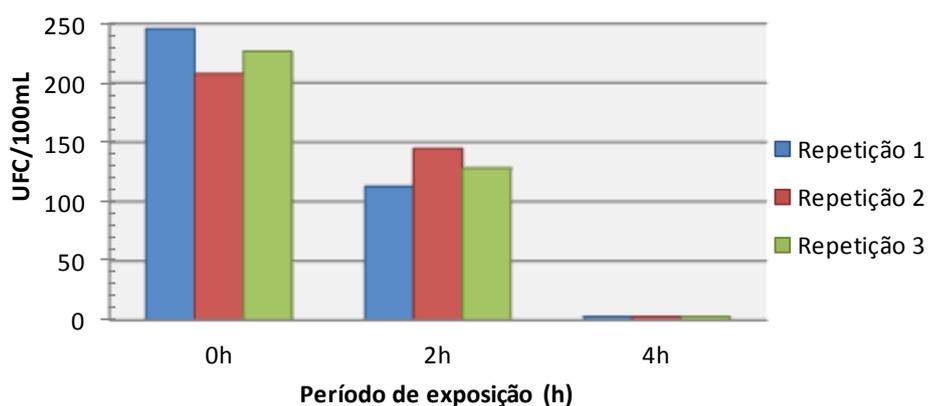


Figura 6: Representação gráfica dos valores obtidos na determinação da presença de Coliformes Totais nas repetições realizadas.

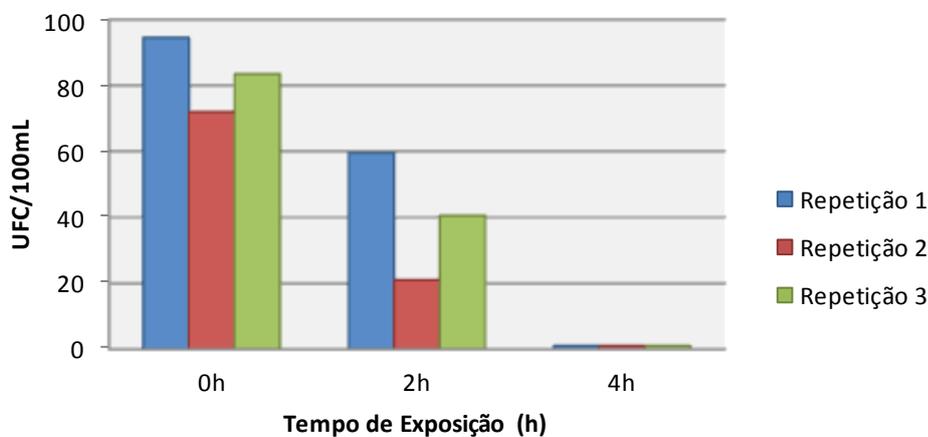


Figura 7: Representação gráfica dos valores obtidos na determinação da presença de Coliformes Termotolerantes nas repetições realizadas.

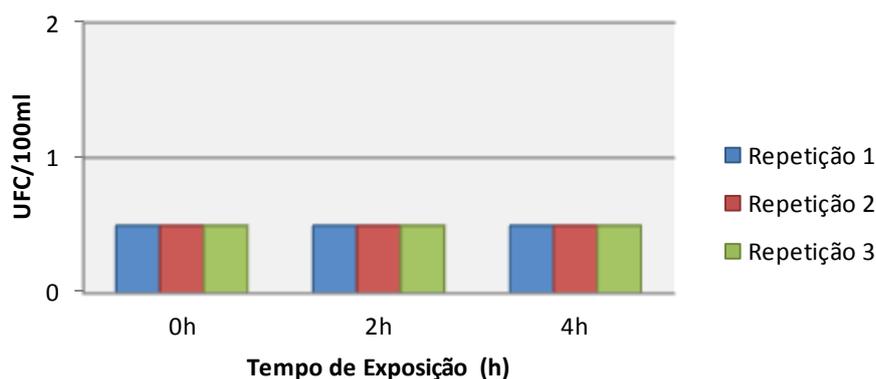


Figura 8 : Representação gráfica dos valores obtidos na determinação da presença de *E. coli* nas repetições realizadas.

Baseando-se nos resultados demonstrados anteriormente nos gráficos, percebe-se uma grande diferença para Coliformes Totais em todos os tratamentos, sendo a diferença mais evidente no tratamento de 4 horas onde somente a partir deste período de exposição a desinfecção das amostras pode ser considerada satisfatória, importante salientar que a temperatura das amostras só esteve próxima a 50°C após 3 horas de exposição, e ultrapassando com 4 horas de exposição, essa temperatura auxilia a desinfecção bacteriológica da água através da pasteurização, segundo Wegelin (1994) apud Paterniani e Silva (2004).

Os resultados para Coliformes Termotolerantes apresentaram similaridades à variável anterior, foi verificado uma redução gradual dos tratamentos de 0 hora e 2 horas e uma maior diferenciação no tratamento de 4 horas, onde novamente a desinfecção só foi satisfatória após este.

Esse comportamento não condiz com Damas, Araújo e Rezende (2013), onde os resultados obtidos, através da metodologia de tubos múltiplos e contagem do Número Mais Provável (NMP), já se mostravam satisfatórios no tratamento de 2 horas e afirmaram que os demais tratamentos (4 horas e 6 horas) serviriam apenas para lapidar os resultados. Em contrapartida, os resultados de Oliveira (2013) não se apresentaram satisfatórios para tratamento de 2 horas de exposição, utilizando a mesma metodologia supracitada, onde ocorreu a inativação das bactérias apenas após 4 horas de exposição.

Nesse intuito Moreira e Paterniani (2005) citaram que em suas análises das amostras com 2 horas com tratamento, ocorreu um recrescimento dos microrganismos 24h após à exposição SODIS, de quantidades até superiores para Coliformes e *E. coli* dando indícios de que caso o tempo de exposição não for o adequado pode ocorrer um significativo recrescimento bacteriano caso a água não for consumida brevemente.

Os resultados para *E. coli* não apresentaram variações significantes durante todos os tratamentos, entretanto os resultados de Moreira e Paterniani (2005) foram bastantes eficientes, onde mostraram completa inativação após 4 horas de tratamento.

Em referência a avaliação estatística de análise de variância, a mesma demonstrou uma relação significativa para os valores obtidos em ambas as variáveis estudadas (coliformes termotolerantes e coliformes totais), obtendo-se valores da relação $Pr > F_c$ inferiores a 0,05 em ambos os casos.

O teste de Tukey demonstrou que não houve um comportamento de variação entre os tratamentos 0h e 2h, sendo apontada apenas uma variação de comportamento entre os tratamentos citados anteriormente e o de 4h, tanto para Coliformes Termotolerantes quanto para Coliformes Totais.

CONCLUSÃO

- 1 O método de desinfecção da água por radiação solar é eficaz.
- 2 As amostras apresentaram resultados satisfatórios após o tratamento de 4 horas de exposição.
- 3 O aumento da temperatura das amostras favoreceram a desinfecção da água
- 4 O método é bastante viável economicamente e pode ser utilizado para locais ausentes de água tratada.
- 5 Sugere-se para a continuidade dessa pesquisa avaliar outros microrganismos, bem como um possível recrescimento bacteriano algum tempo após a desinfecção.

REFERÊNCIAS

- ANNECCHINI, K. P. V., **Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2005.
- APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 22nd. Washington, D.C.: American Public Health Association, American Water Works Pollution Control Federation, 2012.
- BARROS, I. P.; LUCAS, A. A. T., **Doenças de veiculação hídrica na sub-bacia do rio Ganhamoroba, Maruim - Sergipe**. In VI Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe, 2013. Aracaju - SE
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria N° 2914 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2011.
- CAUBET, C.G. **A Água, a lei, a política**. Ministério do Meio Ambiente. Curitiba: Juruá, 2006.
- CETESB, ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Brasília: Agência Nacional das Águas, 2011. 325 p.
- DAMAS, A. P. S.; ARAÚJO, W. E. L.; REZENDE, M. P., **Desinfecção da água através da radiação solar**, Faculdade de Engenharia Ambiental; Universidade de Rio Verde, Rio Verde – Goiás, 2013.
- HERRERA, A. G., **Desinfección Solar Del Agua**, IMTA – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 2003.
- JACOMINI, M., **Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS): Inativação e Recrescimento Bacteriano**. Campinas – SP, 2004.
- MELÉNDEZ, G. S., **Desinfecção de efluente sanitário por radiação UV e gama: efeitos na inativação de Ovos de ascaris spp**. Belo Horizonte - MG, 2011.
- MOREIRA, M. J.; PATERNIANI, J. E. S., **Uso de garrafas PET e energia solar na desinfecção de águas em comunidades rurais**. Espírito Santo do Pinhal – SP, 2005.
- OLIVEIRA, C. S., **Avaliação da eficiência do método SODIS com e sem uso de concentrador solar para desinfecção de água de cisterna localizada na zona rural de Alagoa Nova – PB**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, 2014.
- PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M., **Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para**

concentração dos raios solares. Faculdade de Engenharia Civil; Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2004.

RODRIGUES, D.G., **Desinfecção da água por pasteurização solar (SOPAS) em comunidades rurais.** Campinas - SP, 2011.

SILVA, C. H. R. T., **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil,** Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado Federal, Brasília – DF, 2012.

SILVA, N; NETO, R.C; JUNQUEIRA, V.C. A; SILVEIRA, N.F.A. **Manual de métodos de análise microbiológica da água.** São Paulo: Varela, 2005.

SOUZA, L.B.; JÚNIOR, J.P.F.; VIEIRA, J.; GAVA, R., **Utilização das águas pluviais na área do campus do Arenito – UEM,PR.** In: VI Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar,. Maringá – PR, 2009.

VON SPERLING, M., **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental ; Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2005.

SITES CONSULTADOS:

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2012). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 06 de agosto de 2014.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2014). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>> Acesso em 09 de novembro de 2014.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (2008). Disponível em: <<http://www.opas.org.br/>> Acesso em 06 de Agosto de 2014.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2013). Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua/>> Acesso em 15 de agosto de 2014.

SODIS (2013). Disponível em: <http://www.sodis.ch/index_EN>. Acesso em 08 de novembro de 2014.