

II-291 - INATIVAÇÃO BACTERIANA DE ESGOTOS SANITÁRIOS PELA AÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR**Anita Maria Fernandes⁽¹⁾**Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Campo Mourão.**Márcia Aparecida de Oliveira Seco**Bióloga pela Faculdade Integrado de Campo Mourão. Geógrafa pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá. Doutoranda em Análise Ambiental pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Docente da Coordenação de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão (UTFPR).**Fernando Hermes Passig**Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão (UTFPR). Diretor de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão (UTFPR).**Elizabeth Satsuki Sekine**Bióloga pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Doutor em Zootecnia (2011) pela Universidade Estadual de Maringá. Docente da Coordenação de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão (UTFPR).**Karina Querne de Carvalho**Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão (UTFPR). Coordenadora do curso de Especialização em Gerenciamento e Auditoria Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão (UTFPR).**Endereço⁽¹⁾:** Rodovia BR 369, km 0,5, caixa postal 271 – Campo Mourão - PR - CEP: 87301-006 - Brasil - Tel: (44) 3518-1400 - e-mail: nitinha_ni23@hotmail.com**RESUMO**

O lançamento de esgotos sanitários sem tratamento prévio pode afetar a saúde, segurança e bem-estar da população devido à presença de patógenos presentes nesses efluentes que causam doenças de veiculação hídrica. Assim é importante implantar processos que promovam a inativação desses microrganismos. A *Solar Water Disinfection* (SODIS) é uma técnica de tratamento que vem sendo aplicada em países em desenvolvimento com o objetivo de promover a desinfecção por radiação solar. O objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade da utilização da radiação solar na desinfecção dos esgotos sanitários gerados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão, pelo método *Solar Water Disinfection* (SODIS). Para isso, foram testados dois aparatos experimentais, sendo um concentrador solar proposto pelo Instituto Mexicano de Tecnologia da Água (IMTA) e uma telha de amianto. Nos aparatos experimentais, foram afixadas 4 garrafas *pet* com volumes de 2 L cada, sendo uma garrafa transparente, uma garrafa pintada de preto e uma garrafa pintada na metade de preto. As garrafas, contendo esgotos sanitários, foram expostas à radiação solar durante 6 h. Medidas de temperatura foram realizadas a cada hora no interior das garrafas. Exames microbiológicos foram realizados para determinação da presença de coliformes termotolerantes e determinação do Número Mais Provável de microrganismos presentes nas amostras. Os resultados indicaram diminuição do NMP de *E. coli* de 11.000 nas amostras de esgoto bruto para 36 nas amostras de efluente tratado na garrafa preta no concentrador solar.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminação, Desinfecção, Patógenos, SODIS.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial e tecnológico acarretam no uso de recursos naturais em grande escala. Esse aumento da utilização dos recursos naturais é, muitas vezes, um fator negativo para o meio ambiente, pois acarreta no lançamento de poluentes sem qualquer tratamento prévio, o que causa contaminação dos corpos hídricos.

Embora a Lei nº. 5.318 que estabelece a Política Nacional de Saneamento (BRASIL, 1967) de 26 de setembro de 1967 compreenda o conjunto de diretrizes administrativas e técnicas destinadas a fixar a ação governamental no campo do saneamento básico, há ainda 45% da população brasileira sem acesso a rede coletora de esgotos sanitários e 72% sem acesso a tratamento de esgotos de acordo com dados do Instituto Brasileiro Geografia e Estatística do ano de 2008 (IBGE, 2008).

Em sua composição, os esgotos sanitários possuem carboidratos, proteínas, lipídeos, material inerte, fenóis e microrganismos patogênicos, dentre outros (JORDÃO E PESSOA, 1995). Essas microrganismos são encontrados principalmente no intestino humano e de animais de sangue quente, tais como coliformes totais e fecais, *Escherichia coli*, *Streptococos fecais* e *Esterococos fecais*.

Segundo Sperling (1996), as bactérias do grupo coliforme são utilizadas como indicadores de contaminação fecal, ou seja, indicam possível contaminação por fezes, e apresentam potencialidade para transmitir doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, disenteria, leptospirose, cólera, dentre outras.

Dentre essas doenças a diarreia mata cerca de 1,8 milhões de pessoas por ano principalmente nos países em desenvolvimento, sendo que desse total 90% são crianças com idade inferior a cinco anos de acordo com dados da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2005)¹ *apud* FLEURY (2006).

Assim é imprescindível implantar processos de tratamento de esgotos sanitários para minimizar os impactos causados quando os mesmos são lançados no ambiente, principalmente em comunidades carentes.

Uma técnica de tratamento que vem sendo aplicada em países em desenvolvimento como tecnologia para o tratamento microbiológico é a desinfecção por radiação solar, denominada *Solar Water Disinfection* (SODIS). Na técnica *Solar Water Disinfection* (SODIS), desenvolvida na Suíça no ano de 1991, ocorre a inativação dos microrganismos por radiação solar, com baixo custo e utilização do sol como fonte de energia e calor.

Em 2000, o Instituto Mexicano de Tecnologia da Água (IMTA) desenvolveu um concentrador solar composto de uma base e quatro aletas de madeira revestidas com papel alumínio com capacidade para armazenamento de três garrafas de *pet* com volume de 2 L (cada).

Porém poucos estudos ainda são reportados na literatura com aplicação dessa técnica. Fleury (2006) observou a efetividade da *Solar Water Disinfection* (SODIS) nos esgotos sanitários gerados em comunidades nos estados de Pernambuco e Ceará. A autora notou inativação total da *E. coli* em 100% das amostras das garrafas no concentrador solar e em 67% das garrafas sem o uso do concentrador solar para os dias de céu claro. Para os coliformes totais apenas 67% das garrafas com concentrador solar alcançaram inativação total e nenhuma garrafa sem concentrador solar obteve inativação total. Estes resultados indicam que concentrador solar aumenta 88% de *Micrococcus luteus* e 75% de *Corynebacterium propinquum*, mesmo após a utilização do *Solar Water Disinfection* em algumas amostras de água. A autora observou ainda a inativação do microrganismo *E. coli*.

Dentro desse contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do método *Solar Water Disinfection* (SODIS) na desinfecção dos esgotos sanitários gerados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão.

¹ WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 2004. Water, Sanitation and Hygiene links to Health Facts and Figures, 2004.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram confeccionados dois aparatos experimentais, sendo: aparato 1 – composto por uma telha de amianto fixada sobre uma estrutura de madeira formando ângulo de aproximadamente 45° com a horizontal (Figura 1a). Na parte superior da telha foram apoiadas 4 garrafas *pet* de 2 L, sendo duas garrafas transparentes, uma garrafa pintada pela metade com tinta preta e outra garrafa totalmente pintada de tinta preta. Uma garrafa transparente foi afixada na telha para medição constante da temperatura e posterior comparação com as medições obtidas nas demais garrafas. Esse aparato experimental foi instalado sobre a casa de gás do bloco C do *campus* e mantido em temperatura ambiente; aparato 2 - Concentrador Solar - composto por uma base de madeira de 55 cm x 55 cm e quatro aletas planas de madeira de 35 cm x 35 cm. A base e as aletas foram revestidas com papel alumínio para aumentar a eficiência do *Solar Water Disinfection* (SODIS) (Figura 1b). Além disso, foram confeccionados oito triângulos de madeira de 8,5 cm x 15 cm x 17,5 cm (cada) para dar inclinação de 60° com a horizontal para as aletas. No interior do concentrador solar foram afixadas 4 garrafas *pet* de 2 L com as mesmas características das garrafas do aparato 1.



Figura 1. Aparato Experimental: a) Telha de amianto; b) Concentrador solar

O procedimento experimental foi dividido em duas etapas com o mesmo objetivo geral, ou seja, avaliar a eficiência na remoção de microrganismos patógenos pelos aparatos experimentais telha de amianto (etapa I) com duração de um mês e realização de 2 campanhas e concentrador solar (etapa II) com duração de três meses e realização de 5 campanhas.

As coletas de amostras dos esgotos sanitários gerados no *campus* foram feitas em um recipiente plástico de 5 L nas duas etapas. Os efluentes foram coletados de uma caixa de passagem existente ao lado do bloco C no *campus* que contemplam esgotos sanitários e resíduos descartados nas pias dos laboratórios. Após as coletas, as amostras de efluente foram homogeneizadas e utilizadas no enchimento das garrafas *pet*.

Nas etapas I e II, a medição da temperatura foi feita em intervalos de uma hora em período total de seis horas nas duas etapas. Ao final desse período, as garrafas *pet* foram retiradas da telha e do concentrador e encaminhadas ao laboratório de Saneamento existente no *campus* para realização dos exames microbiológicos para determinação de coliformes.

Uma quinta garrafa (transparente) foi armazenada em geladeira para manutenção da qualidade dos esgotos sanitários e para possibilitar comparação posterior com os resultados obtidos nas outras amostras mantidas na radiação solar.

Para determinação de coliformes nas amostras dos esgotos sanitários coletados no *campus* foram realizados testes presuntivo e confirmativo de acordo com metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton *et al.*, 2005).

Primeiramente, foi realizado o teste presuntivo para determinar a presença ou não de coliformes nas amostras dos esgotos sanitários. Para realização desse teste, foi necessário diluir 10 mL de cada amostra coletada em 90 mL de solução salina peptonada (10^{-1}). Dessa amostra diluída, foi retirada alíquota de 10 mL, a qual foi adicionada a 90 mL de solução salina peptonada até obter-se diluição de 10^{-2} . O mesmo procedimento foi

efetuado com adição de 1 mL de solução salina peptonada onde foi diluído o esgoto. Esta diluição foi realizada em tubos de ensaios em triplicata até obter-se diluição de 10^{-7} .

Após cada diluição, 1 mL de cada amostra diluída foi pipetado em 5 tubos contendo caldo *Lauryl Tryptose Broth* a fim de obter resultados que pudessem ser comparados àqueles reportados na tabela de NMP de coliformes reportada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON *et al.*, 2005).

Logo após o teste presuntivo realizou o teste confirmativo no qual foi realizada transferência de uma alíquota de cada tubo positivo por uma alça de platina para tubos contendo caldo lactosado bile verde brilhante e tubos de Durham. Esses tubos foram incubados a 35 °C por 48 h e após esse período foram feitas verificações dos tubos que apresentaram bolhas de gás (método dos tubos múltiplos).

Com os resultados obtidos nos testes, foi realizada determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes em cada 100 mL de amostra dos esgotos sanitários de acordo com a fórmula de Thomas descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON *et al.*, 2005).

Dos tubos positivos do teste confirmativo foram inoculadas alíquotas em estrias, de forma a obter colônias isoladas, em placas *Petri* contendo meio ágar *LES Endo* ou *Mac Conkey* para o Teste Completo a temperatura de 35 °C por 24 h.

Foram escolhidas colônias típicas bem isoladas em meio *Mac Conkey* com coloração avermelhada. De cada placa, foi feita inoculação de uma ou mais colônias típicas em ágar nutriente inclinado em caldo *lauryl triptose* com tubos de Durham previamente autoclavados. Após essa etapa, os tubos inoculados foram incubados por 24 h a temperatura de 35 °C. Após esse período foi feita contagem de tubos positivos do caldo.

Para verificar a presença de coliformes fecais, após a leitura do teste presuntivo, foi transferida uma porção de cada tubo positivo para tubos contendo *Caldo Escherichia coli (EC)* para saber se tem a presença de coliformes termotolerantes, e tubos de Durham previamente autoclavados com alça de platina. Os tubos contendo o caldo *EC* foram incubados por 24 h a temperatura de 44,5 °C. Após esse período foi feita contagem dos tubos positivos que continham bolhas de gás e utilizada a tabela de NMP e a fórmula de Thomas para identificar se houve diminuição dos microrganismos de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON *et al.*, 2005).

RESULTADOS

As temperaturas alcançadas no interior das garrafas *pet* nos dois perfis realizados na telha de amianto e no concentrador solar são apresentadas na Figura 2.

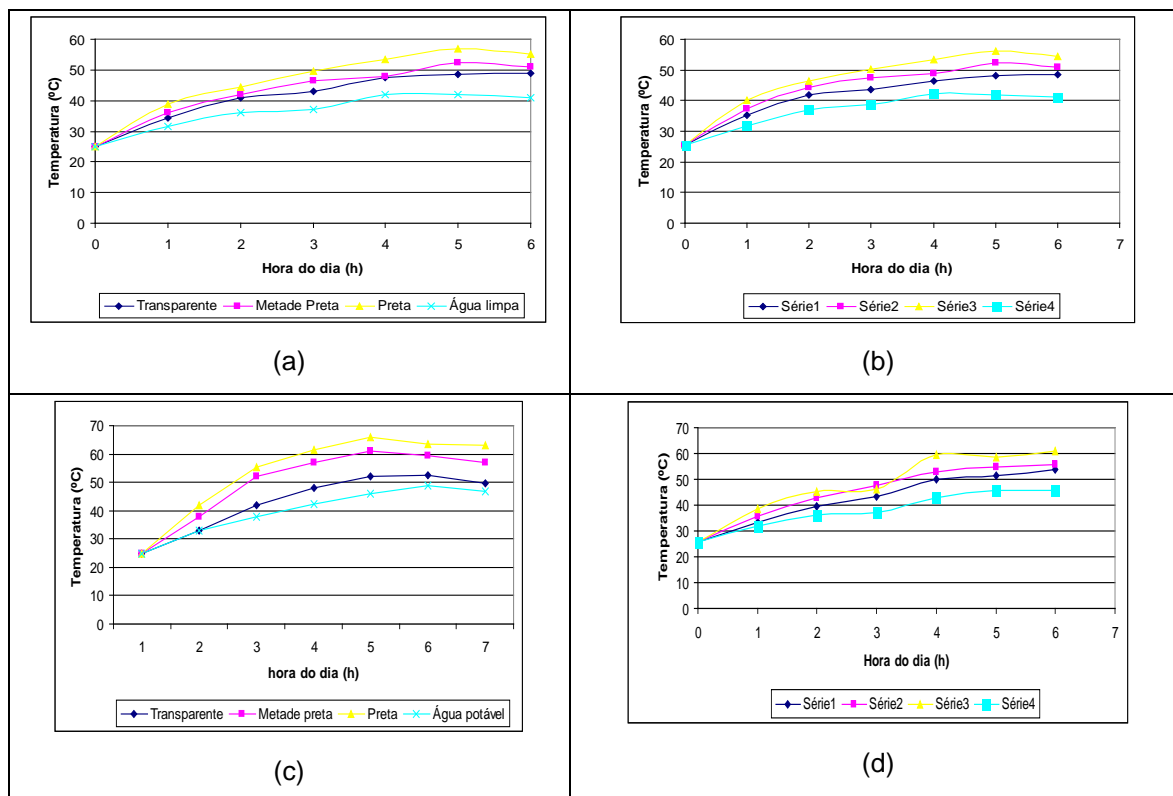


Figura 2. Variação da temperatura nas garrafas *pet*: no aparato 1 - a) perfil 1; b) perfil 2; no aparato 2 - c) perfil 1; d) perfil 2.

Na Figura 2a e Figura 2b foi possível verificar aumento da temperatura em todas as garrafas *pet* após 5 h do início da exposição solar. A temperatura média resultou em 54,5 °C para a garrafa preta, seguida de 51 °C para a garrafa metade preta e 48,5 °C para a garrafa transparente.

Pela Figura 2c e Figura 2d é possível observar a variação da temperatura pelo tempo em cada perfil para as quatro garrafas do concentrador solar. As médias das temperaturas dos perfis resultaram em 61 °C para a garrafa preta, 56 °C para a garrafa pintada pela metade com tinta preta e 54 °C para a garrafa transparente com 6 h de exposição solar.

Os resultados obtidos nos perfis realizados na telha de amianto e no concentrador solar são apresentados na Tabela 1.

No aparato 1 (telha de amianto), é possível notar pela Tabela 1 que houve remoção do microrganismo *E. Coli* na garrafa de cor preta em relação à garrafa contendo esgoto que não foi submetida à exposição solar. O Número Mais Provável de microrganismos verificado de 11.000 NMP/100 mL na garrafa sem exposição solar reduziu para 30 NMP/100 mL e 36 NMP/100 mL na garrafa preta nos perfis 1 e 2.

No aparato 2 (concentrador solar), é possível observar redução do número de microrganismos termotolerantes de 11.000 NMP/100 mL na amostra de esgoto bruto para 36 NMP/100 mL na amostra de esgoto tratado na garrafa preta submetida à exposição da radiação solar no perfil 2.

Os resultados mostraram eficiência do método com 6 h de exposição à luz solar no período de maior radiação solar das 11:00 h às 14:00 h. Em geral, observou-se que quanto maior a temperatura do ambiente e consequentemente a temperatura dentro das garrafas *pet*, mais eficiente à inativação dos microrganismos.

Em alguns perfis, pode ser verificado que as garrafas pintadas com tinta preta servem como incubadora para o crescimento dos microrganismos, pois em as temperaturas não foram tão elevadas sendo 45° à temperatura ideal para seu crescimento, onde condições climáticas interferiram nos resultados. Santamaría *et al.* (2007) verificou que os resultados nas garrafas de controle mostraram a importância da luz solar no processo de

desinfecção: houve aumento de coliformes termotolerantes e *E. coli*, indicando que as garrafas escuras funcionaram como reatores fechados de cultivo, sob condições ótimas de temperatura (máxima de 36 °C) para o crescimento microbiano.

Através das temperaturas alcançadas no aparato 2 (Concentrador Solar), pode se considerar processo de pasteurização (SOPAS), não obtendo o crescimento de bactérias do grupo coliformes totais nem *E.Coli* em algumas amostras.

Tabela 1: Resultados de NMP de coliformes das coletas realizadas na telha de amianto e no concentrador solar (100 mL da amostra)

Caldo	Lauryl Triptose				Bile Verde Brillante				EC			
Aparato	B	T	M	P	B	T	M	P	B	T	M	P
1 Perfil 1	10 ⁻² 3-3-3 >11.00 0	10 ⁻² 3-1-0 430	10 ⁻³ 3-3-2 11.000	10 ⁻² 3-0-0 230	10 ⁻³ 3-3-2 11.000	10 ⁻² 1-1-0 74	0 <30	10 ⁻² 3-0-0 230	10 ⁻² 3-1-0 430	10 ⁻² 3-0-0 230	10 ⁻² 3-1-0 430	0 <30
1 Perfil 2	10 ⁻² 3-3-3 >11.00 0	10 ⁻² 3-3-3 >11.00 0	10 ⁻² 3-3-3 >11.00 0	10 ⁻² 3-3-3 >11.000	-	-	-	-	10 ⁻² 3-3-3 11.000	10 ⁻² 1-1-0 74	0 <30	10 ⁻² 1-0-0 36
2 Perfil 1	10 ⁻² 3-0-0 230	10 ⁻² 3-1-0 430	10 ⁻³ 3-3-2 11.000	10 ⁻² 0-1-0 30	10 ⁻² 3-3-3 >11.000	10 ⁻³ 3-3-2 11.000	10 ⁻² 3-1-0 430	0 <30	10 ⁻² 3-3-2 11.000	10 ⁻² 3-1-0 430	10 ⁻² 0-1-0 30	0 <30
2 Perfil 2	10 ⁻² 3-3-3 >11.00 0	10 ⁻² 3-3-3 >11.00 0	10 ⁻² 3-3-3 >11.00 0	10 ⁻² 3-3-3 >11.000	10 ⁻³ 3-3-2 11.000	-	-	-	10 ⁻² 3-3-2 11.000	10 ⁻² 3-1-0 430	10 ⁻² 1-1-0 74	10 ⁻² 1-0-0 36

Legenda: B – Bruto; T – Transparente; M – Metade; P – Preto.

*Nota: 10⁻² – Diluição da amostra; 3-3-3 – NMP (Número Mais Provável) reportada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton et al., 2005); >11.000 – número de microrganismos/100 mL da amostra obtidos na tabela, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton et al., 2005).

CONCLUSÕES

Foi possível concluir que houve aumento da temperatura do esgoto sanitário no concentrador solar de (52 °C) na garrafa transparente para (66 °C) na garrafa pintada totalmente de preto, para os dias de céu claro. As temperaturas médias do esgoto nas garrafas para qualquer tempo de exposição, no geral, foram maiores para os dias de menor nebulosidade, ou seja, sem a presença de nuvens no céu, onde as temperaturas alcançadas no decorrer das horas não sofreram alteração, onde Com o uso do concentrador solar a temperatura média alcançada foi de 64 °C com 6 h de exposição solar da garrafa *pet* preta, 58 °C para garrafa pintada pela metade e 57 °C para garrafa transparente, indicando que mais nuvens no céu podem resultar em temperaturas baixas do esgoto.

O concentrador solar aumentou a eficiência da inativação, uma vez que para os dias de céu claro houve redução do número de microrganismos termotolerantes de 11.000 na amostra de esgoto bruto para 36 na amostra de esgoto tratado na garrafa preta, onde alcançou inativação do *E. coli* em algumas amostras do efluente após análises realizadas em laboratório.

Com a telha de amianto também ocorreu redução dos microrganismos termotolerantes presentes no efluente, observando pelos resultados obtidos que na garrafa sem tratamento o NMP foi de 11.000 e na garrafa preta o valor caiu para 30, tendo uma redução significativa de microrganismos termotolerantes, através das análises realizadas com EC, pois na garrafa preta a radiação solar é mais intensa para os dias com céu claro, ou seja, sem a presença de nuvens no céu.

Foi possível concluir que o método *Solar Water Disinfection* com utilização do concentrador solar e da telha de amianto foram eficientes na inativação do microrganismo *Escherichia coli*, com diminuição considerável nas garrafas de cor preta quando expostos a temperatura elevadas acima de 60 °C. Porém mais estudos ainda devem ser realizados para aprimoramento da técnica do SODIS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Msc. Marcelo Nunes de Jesús (técnico responsável) pelo apoio durante o desenvolvimento do trabalho e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão, pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. Resolução nº 274. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2000.
2. EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. (ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 2005.
3. FLEURY, C. E. G. **Inativação Bacteriana da Água por Meio da Desinfecção Solar**. 2006. 117p. Tese de Pós Graduação. Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia – GO, 2006.
4. IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. <http://www.ibge.gov.br/home>. Acessado em 01 de julho de 2010.
5. IMTA - **Instituto Mexicano de Tecnologia da Água**. Disponível em: <http://www.imta.gob.mx/>. Acessado em 29 de outubro de 2009.
6. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), 3º ed, 1995, 681p.
7. SANTAMARIA, A. *et al.* **Uso de Luz Solar (SODIS E SOPAS) para Desinfecção de Águas de Consumo Humano. Aplicação em comunidades Rurais**. 24º congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte/MG – 02 á 07 de Setembro de 2007.
8. SPERLING, V. M. **Introdução a Qualidade das águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2º edição. Volume 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 1996.