



TRATAMENTO DA ÁGUA ARMAZENADA EM CISTERNAS UTILIZANDO RADIAÇÃO SOLAR

Marcos Brito Silva¹, Delfran Batista dos Santos², Gervásio Paulo da Silva³, Rafael Oliveira Batista⁴, Samuel de Carvalho Silva⁵

1. Biólogo, Especialista em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido pelo Instituto Federal Baiano (IF-Baiano), *Campus* Senhor do Bonfim, Bahia, Brasil
(markosbio@gmail.com)
2. Engenheiro Agrônomo, Doutor em Recursos Hídricos e Ambientais, Professor do IF-Baiano, Senhor do Bonfim, BA, Brasil
3. Biólogo, Doutor em Microbiologia Aplicada, Professor da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Senhor do Bonfim, BA, Brasil
4. Engenheiro Agrícola, Doutor em Engenharia Agrícola, Professor da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró, RN, Brasil
5. Biólogo, Doutorando em Biotecnologia pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, BA, Brasil

Recebido em: 01/09/2013 – Aprovado em: 30/10/2013 – Publicado em: 18/11/2013

RESUMO

A irregularidade pluviométrica aliada às altas temperaturas são características típicas no semiárido brasileiro. Entretanto, as alternativas de convivência sustentável ainda não são uma realidade constante neste contexto o que torna a água potável um recurso cada dia menos acessível aos seres vivos desta região. Uma das alternativas supracitadas é a construção de cisternas utilizadas para armazenar água pluvial captada dos telhados no período chuvoso. No entanto, a forma de captação e manejo da água pluvial altera suas características microbiológicas o que pode resultar em doenças de veiculação hídrica. Uma das soluções encontradas para minimizar tal problema foi a utilização da radiação solar no tratamento da água. O presente trabalho objetivou analisar a eficiência da radiação solar na inativação de coliformes totais e fecais em distintas condições climáticas da região de Senhor do Bonfim, Bahia. Foram feitas duas coletas de água de cisterna em dez casas do Assentamento Jiboia, Agrovila II, para verificar o nível de contaminação microbiológica da água pluvial armazenada. Após a análise, utilizando a técnica de Tubos Múltiplos, constatou-se a presença de coliformes totais e fecais, indicando não conformidade com a legislação vigente. Os ensaios realizados em dias nublados demonstraram ineficientes, pois o nível de radiação e a baixa temperatura, mesmo após oito horas de exposição, não foram suficientes para realizar a desinfecção da água pluvial. No entanto, em dias de céu aberto, a metodologia de desinfecção solar mostrou-se eficiente, pois, em apenas seis horas de exposição, a água analisada apresentou características microbiológicas recomendadas pela legislação.

PALAVRAS-CHAVE: Semiárido, radiação solar, desinfecção, coliformes.

TREATMENT OF WATER STORED IN CISTERNS USING SOLAR RADIATION

ABSTRACT

The irregularity of rainfall, combined with high temperatures, are typical in the Brazilian semiarid. However, the alternatives for sustainable living aren't yet a constant reality in this context which becomes drinking water a resource less and less accessible to life in this region. One of the alternatives mentioned above is the construction of cisterns used to store rainwater collected from the roofs in the rainy season. However, the way to capture and management the rainwater alters its microbiological characteristics which can result in waterborne diseases. One of the solutions to minimize this problem was the utilization of solar radiation for the treatment of water. This study aimed to analyze the efficiency of solar radiation on inactivation of total and fecal coliforms in different climatic conditions of the Senhor do Bonfim's region, Bahia. There were made two collections of cistern water in ten houses Settlement Jiboia, Agrovila II, to check the level of microbiological contamination of rainwater stored. After the analysis, using the Multiple Tubes technique, showed the presence of total and fecal coliforms, indicating non-compliance with current legislation. Tests performed on cloudy days showed itself inefficient, because the level of radiation and the low temperature, even after eight hours of exposure, weren't sufficient to carry out disinfection of rainwater. However, on days open, the methodology of solar disinfection was effective because, in just six hours of exposure, the water sample showed microbiological characteristics recommended by the legislation.

KEYWORDS: Semiarid, solar radiation, disinfection coliform.

INTRODUÇÃO

Uma das características mais marcantes da região semiárida do Brasil são as precipitações pluviométricas irregulares, geralmente com períodos de longa estiagem e baixos índices pluviométricos, o que agrava a situação da disponibilidade e qualidade da água utilizada pela população local, que se vê obrigada a utilizar fontes alternativas de armazenamento e abastecimento como cisternas, mas sem o devido cuidado com o processo de captação da água (ANA, 2011).

A água é um recurso natural essencial à vida e ao desenvolvimento das comunidades humanas, é direito de todos, independente do estágio de desenvolvimento ou condição sócio-econômica, devendo atender às necessidades humanas em seus diversos aspectos: fisiológicos, econômicos e domésticos (ONU, 1992). Entretanto, não basta que as populações apenas disponham de água, é necessário também que essa água apresente um padrão de qualidade recomendado pelo Ministério da Saúde. Água não potável, ou seja, contaminada de alguma forma por agentes patogênicos nocivos, pode colocar em perigo a saúde e comprometer o desenvolvimento das populações humanas (MATOS & SILVA, 2002).

Importante meio de transmissão de doenças, a água, quando contaminada por microrganismos, além de causar infecções intestinais humanas, pode ter participação em diversas patologias, a exemplo de meningites, intoxicações alimentares, infecções urinárias e pneumonia (TRABULSI & ALTERTHUM, 2005). A *Escherichia coli*, pertencente à família Enterobacteraceae, quando presente na água, indica que a mesma está contaminada por fezes (KONEMAN et al., 2001).

Alguns fatores fazem desse grupo, bactérias indicadoras de contaminação da água, a saber: maior capacidade de resistência à ação dos desinfetantes em relação aos microrganismos patogênicos; tempo de vida, maior do que o das bactérias patogênicas intestinais; já que são menos exigentes em termos nutricionais e capazes de se reproduzirem no ambiente aquático (BRASIL, 2011).

Apesar do desenvolvimento tecnológico e das tentativas do poder público para levar água tratada às comunidades rurais, ainda é possível observar um grande número de pessoas que não tem acesso à água potável sendo obrigado a utilizar o sistema de captação e armazenamento de água da chuva em cisternas (SILVA et al., 2005). Este fato pode ser comprovado em várias comunidades rurais da cidade de Senhor do Bonfim-BA, as quais utilizam água de reservatórios alternativos (cisternas) como única fonte de recurso hídrico para todas as atividades do cotidiano. Segundo ANECCHINI (2005), a instalação inadequada das cisternas e a má gestão na aquisição, armazenamento e manipulação desta água ocasiona sua contaminação e, conseqüentemente, a possibilidade de ocorrência de várias doenças nas comunidades.

Entretanto, existem diversas tecnologias que melhoram a qualidade da água. Uma alternativa simples e de baixo custo que pode ser utilizada para a desinfecção da água contaminada é a técnica SODIS (Solar Water Disinfection), técnica simples e de baixo custo que minimiza os impactos nocivos nas populações menos favorecidas em infraestrutura (SILVA, 2004). SODIS é um método de tratamento de água que utiliza a energia solar para melhorar sua qualidade microbiológica, pois elimina os patógenos causadores de enfermidades transmitidas pela água contaminada. É indicado para descontaminar pequenas quantidades de água destinadas ao consumo humano, podendo ser utilizada em escala doméstica (SILVA, 2006).

De acordo com a Secretaria de Saúde da cidade de Senhor do Bonfim (2012), comunidades rurais que não têm acesso à rede de abastecimento e que utilizam cisternas para armazenar água apresentam altos índices de doenças relacionadas à veiculação hídrica, com ênfase para a diarreia severa.

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a eficiência da desinfecção solar (SODIS) da água pluvial armazenada em cisternas nas diferentes condições climáticas de Senhor do Bonfim, Bahia.

MATERIAL E METODOS

Região de estudo

A pesquisa foi realizada no Assentamento Jiboia, Agrovila II, localizado no distrito da Missão do Sahy no município de Senhor do Bonfim, Bahia, no período de setembro a dezembro de 2011; a localidade faz parte do Piemonte da Chapada Diamantina, região onde predomina o clima semiárido, com vegetação típica da Caatinga (Figura 1).

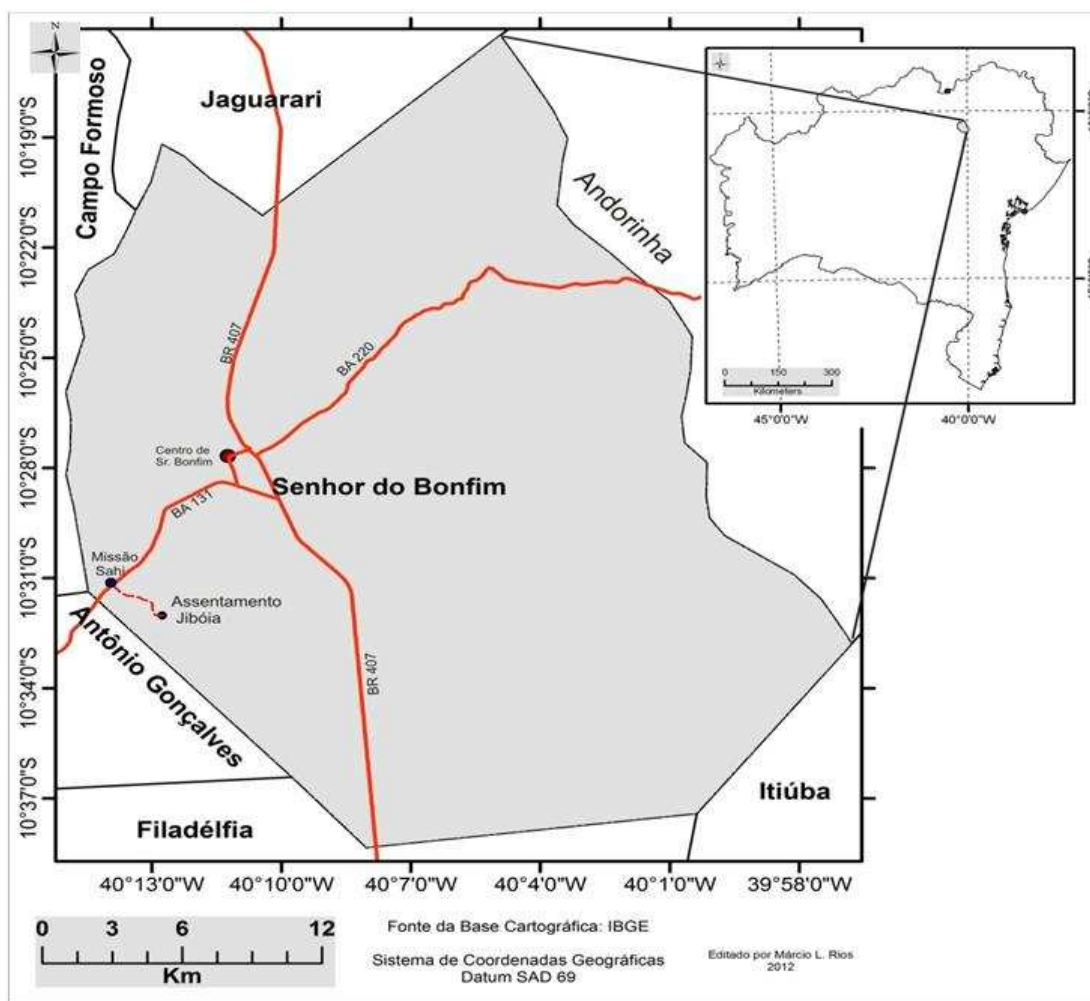


FIGURA 1. Mapa da microrregião de Senhor do Bonfim, Bahia (WIKIPÉDIA, 2011). Editado por RIOS, (2012).

Qualidade microbiológica da água

As coletas de água foram realizadas submergindo o frasco de diluição diretamente dentro da cisterna utilizadas como reservatórios em dez casas que pertencem ao Assentamento Jiboia, Agrovila II. Logo após a coleta, as dez amostras de 200 mL foram acondicionadas em uma caixa de isopor contendo gelo a uma temperatura de 4°C e transportadas ao Laboratório de Biotecnologia de Microrganismos do Departamento de Educação, *Campus VII*, da Universidade do Estado da Bahia, para as análises microbiológicas. Foi retirada uma alíquota de 100 mL de cada amostra para as análises dos parâmetros químicos que influenciam na desinfecção: turbidez, pH e oxigênio dissolvido.

As análises microbiológicas da água foram realizadas utilizando a técnica dos Tubos Múltiplos conforme os procedimentos metodológicos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2007), conforme determina a Portaria MS nº. 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

As amostras de água foram homogeneizadas através de agitação vigorosa, em seguida, com auxílio de uma micropipeta, foram retirados de cada uma 10 mL e transferidos para uma série de cinco tubos de cultura (18 x 200 mm), com tubos de Durham invertidos, contendo caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) em concentração

dupla. O mesmo procedimento foi realizado para 1,0 mL e 0,1 mL transferidos para outras duas séries de cinco tubos de cultura contendo caldo de LST em concentração simples e tubos de Durham invertidos. A solução dos tubos foi homogeneizada por meio de leve agitação e incubada em estufa a 35°C por 24 horas.

Após a incubação, os tubos de cultura que apresentaram gás dentro dos tubos de Durham foram considerados positivos para a presença de bactérias do grupo coliforme, sendo os resultados expressos de acordo com a tabela de determinação do Número Mais Provável (NMP). Os tubos negativos foram reencubados por um período de 24h para confirmar a não contaminação, sendo considerados positivos aqueles que apresentaram gás dentro do tubo de Durham (SIQUEIRA, 1995). Os tubos positivos foram repicados para o Caldo Bile Verde Brilhante 2% para teste confirmatório.

Para contagem de bactérias termotolerantes foi utilizado Caldo EC (Caldo *Escherichia coli*) oriundos dos tubos positivos para coliformes totais. Amostras do caldo (EC) foram mantidas em banho maria a 44,5°C entre 24-48 horas. Os resultados positivos foram aqueles que apresentaram turvação e gás no tubo de Durham (SIQUEIRA, 1995; TORTORA et al., 2005).

Avaliação da temperatura da água em diferentes tipos de garrafas PET

Para realizar a desinfecção da água foram utilizadas garrafas PET, pois são transparentes, não contêm substâncias nocivas à saúde humana, possuem baixo peso, são relativamente resistentes, não possuem gosto e são quimicamente estáveis (SODIS, 2011). Todos os recipientes foram previamente lavados com detergente e água sanitária e depois secos ao ar. Foram testados diferentes recipientes de garrafas PET: transparentes, com a metade inferior pintada de preto e transparente sobre chapas recobertas com papel alumínio (Figura 2). Todas as garrafas foram cheias com água, expostas ao ambiente (recomenda a exposição encima da cisterna ou do telhado) e monitoradas com um termômetro digital a cada 2h, iniciando a aferição às 8 horas da manhã e finalizando às 16 horas do mesmo dia. Desta forma, foi identificado o tipo de garrafa com maior capacidade de aumento de temperatura da água, tornando-se mais favorável à eliminação dos microrganismos. Este teste foi realizado em três dias consecutivos; o tipo que apresentou maior temperatura média foi escolhido para ser utilizado nos teste de aplicação da técnica SODIS.



FIGURA 2. Garrafas PET exposta ao ambiente para avaliação de temperatura.

Fonte: Marcos Brito Silva (2011)

Condução do experimento

Após a fase de avaliação da qualidade da água das 10 cisternas analisadas do assentamento e da avaliação da eficiência na absorção de calor nas garrafas, foram feitas coletas em três cisternas do assentamento em estudo, levando em consideração aquelas de maior nível de contaminação. Estas amostras foram misturadas para formar uma amostra única, que foi utilizada para encher as garrafas submetidas à aplicação da técnica SODIS.

Seis garrafas PET, pintadas na sua metade inferior de preto, foram utilizadas (Figura 3). Amostras foram coletadas nos seguintes tempos de exposição: 0 h – controle - (garrafa 01), 2 h (garrafa 02), 4h (garrafa 03), 6 h (garrafa 04), 8 h (garrafa 05) e 24 h (garrafa 06). Esta última permaneceu à sombra após as 8 horas de exposição, análise utilizada para verificar se houve reativação de microrganismos.



FIGURA 3. Aplicação da técnica SODIS com garrafas PET pintadas de preto na sua metade inferior.

Fonte: Marcos Brito Silva (2012)

Para as análises microbiológicas desta etapa foi utilizado o método APHA (1999), considerando, possuir a mesma eficiência do método utilizado anteriormente na avaliação da qualidade da água. A diferença desta análise está no teste presuntivo utilizando-se apenas uma diluição: foi inoculado cinco alíquotas de 20 mL da amostra de água em cinco tubos com 10 mL de LST em concentração tripla.

A exposição da água a radiação solar (técnica SODIS) foi realizado em duas repetições em dias de céu nublado (inverno) e em duas repetições em dias de céu aberto (verão). Em todos os períodos de tratamento monitoraram-se os valores das variáveis climáticas como radiação e temperatura. Os dados de radiação foram obtidos pela estação climatológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada no IF Baiano, *Campus* Senhor do Bonfim.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Monitoramento bacteriológico da água de cisternas

As análises bacteriológicas demonstraram contaminação em 100% das

amostras analisadas, indicando presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes na água das 10 cisternas estudadas. De acordo com CONTE et al., (2004), os coliformes termotolerantes (coliformes fecais) diferenciam-se dos coliformes totais por fermentarem lactose com produção de gás a uma temperatura de 44,5 +/- 0,2°C em 24 horas. A *Escherichia coli* é a principal representante do grupo termotolerante e o indicador mais específico de contaminação fecal utilizado pela ciência.

Os resultados das análises bacteriológicas são expressos na Tabela 1 e mostram que as densidades bacterianas nas amostras variaram de 26 a 1800 (NMP/100mL) para coliformes totais, e 17 a 1600 (NMP/100mL) para coliformes termotolerantes, apresentando contaminação muito elevada.

TABELA 1. Resultados em (NMP/100ml) do monitoramento bacteriológico da água de cisterna

Período	29/10/2011		27/11/2011	
Cisterna	Coliformes totais NMP/100mL	Coliformes termotolerantes NMP/100mL	Coliformes totais NMP/100mL	Coliformes termotolerantes NMP/100mL
C1	540	110	920	220
C2	1600	350	1600	540
C3	220	94	350	350
C4	49	17	920	920
C5	350	240	350	350
C6	79	240	350	170
C7	>1800	110	>1800	1600
C8	70	17	26	17
C9	>1800	79	>1800	140
C10	70	70	140	140

Os dados apresentados neste monitoramento corroboram com os resultados de trabalhos semelhantes desenvolvidos por BRITO et al. (2004) e SANTOS (2008) ao estudarem a água da chuva captada em cisternas do estado da Bahia, nos municípios de Juazeiro e Serrinha, respectivamente.

De acordo com a Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (MS) o padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano deve apresentar nas amostras de água ausência de coliformes totais e termotolerantes (*Escherichia coli*) em 100 mL de água, uma vez que a *Escherichia coli* é considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente (BRASIL, 2011), é facilmente isolada na água, possui identificação por técnicas simples, rápidas e econômicas. Além disso, seu coeficiente de mortalidade é

praticamente igual ao das bactérias patogênicas intestinais e aparece em grande número nas fezes dos animais endotérmicos (ROCHA, 1995; VASCONCELLOS et al., 2006). Os resultados de coliformes totais e coliformes termotolerantes obtidos nas cisternas pesquisadas (Tabela 1) comparados aos valores preconizados pela Portaria nº 2.914 de do MS demonstram que a água não é adequada para consumo humano.

Os resultados obtidos são preocupantes, visto que todas as cisternas mostraram-se contaminadas por coliformes totais e termotolerantes, apresentando valores elevados em praticamente todas as amostras. Destaca-se, portanto, a importância deste resultado uma vez que contaminantes como a *Escherichia coli* é indicador de eventual presença de organismos patogênicos na água, que podem acarretar doenças como: febre tifóide, febre paratífóide, desintéria bacilar, amebíase e cólera (KONEMAN et al, 2001), e constitui ainda a causa mais comum de infecção das vias urinárias, sendo responsável por cerca de 90% das primeiras infecções urinárias em mulheres jovens, além de provocar um alto índice de diarreia na população (SILVA, 2004).

A má qualidade da água da chuva captada nas cisternas do Assentamento Jibóia pode estar relacionada às práticas de captação, armazenamento, uso, manejo e gerenciamento adotado pelas famílias. Como por exemplo: não eliminar as primeiras águas das chuvas, não higienizar periodicamente a cisterna, não desinfetar a água captada, deixar a cisterna aberta, retirar água com vasilha sem a higiene adequada (mesmo que seja utilizada apenas para esse fim), bem como seu acondicionamento em locais impróprios, criar peixes nas cisternas e fornecer-lhes alimento, construir as cisternas próximas às áreas inadequadas como as fossas, não colocar telas nas tubulações e, em períodos de seca, abastecer com água de caminhões pipa (ANECHINI, 2005). Tais conclusões foram sugeridas por JAKUES et al. (2005) que ao avaliar a água de chuva, observaram que sem a interferência de superfície de coleta (telhado) a água apresentou-se isenta de coliformes termotolerantes. Porém, a presença desses microrganismos foi detectada nas amostras de água coletadas após passarem por telhados, indicando assim a provável contaminação por fezes de animais endotérmicos (aves, gatos, entre outros).

Influência dos parâmetros químicos para desinfecção da água

As amostras coletadas das cisternas para avaliação do nível de contaminação microbiológica também foram submetidas à análise de parâmetros químicos, pois segundo o guia de aplicação de SODIS estes fatores podem alterar a eficiência da técnica de desinfecção solar. Os níveis desta análise podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2. Valores dos parâmetros químicos apresentados nas amostras coletadas

Parâmetro	pH		Turbidez NTU		Oxigênio Dissolvido mg L ⁻¹	
	Coleta1	Coleta2	Coleta1	Coleta2	Coleta1	Coleta2
Cisterna						
C1	6,9	7,1	1,6	1,5	6,2	6,0
C2	7,7	7,3	0,8	0,8	6,4	6,5
C3	7,7	7,0	0,9	0,9	6,1	6,1
C4	7,8	7,6	0,8	0,8	6,2	6,3
C5	7,5	7,1	1,6	1,0	6,7	6,6
C6	7,7	7,3	0,8	0,9	6,4	6,4
C7	7,2	7,1	0,9	0,9	6,8	6,9
C8	7,1	7,6	1,2	1,1	6,2	6,2
C9	6,9	7,0	1,4	1,4	6,5	6,5
C10	7,8	7,5	1,5	1,3	6,4	6,3

A portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde determina que os valores de pH adequados da água para consumo humano devem estar entre 6,0-9,5 a mesma faixa considerada ideal para a proteção da vida aquática. As amostras analisadas apresentaram variação de pH entre 6,9 e 7,8, valores apropriados para o consumo humano, mas também ideais ao desenvolvimento de bactérias (TORTORA, 2005). Tal característica também valida a aplicação da técnica SODIS, que de acordo com SILVA (2004) não apresenta variação considerada relevante no pH da água após a desinfecção.

As amostras coletadas e analisadas apresentaram valor máximo de 6,9 mg L⁻¹ e valor mínimo de 6,0 mg L⁻¹ de oxigênio dissolvido. De acordo com MONTEIRO et al., (s.d.) a água submetida à desinfecção solar deve apresentar um nível de oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg L⁻¹ para que a radiação possa reagir com o oxigênio formando ozônio, substância altamente reativa que pode levar as células à morte.

A água para ser submetida ao sistema de SODIS precisa apresentar índice de turbidez menor que 30 NTU (Unidade de Turvação Nephelométrica), pois turbidez acima deste índice apresenta grande número de partículas suspensas na água, reduzindo a penetração de radiação solar, além de proteger os microrganismos presentes na água (WEGELIN & MEIERHOFER, 2002). Os resultados apresentados indicam índice de turbidez entre 0,8-1,6 NTU o que ratifica que a água apresenta valores de turbidez propícios à aplicação do método.

Avaliação da temperatura da água em diferentes recipientes de garrafas PET

Os resultados dos monitoramentos da temperatura nas garrafas PET transparentes, com a metade inferior pintada de preto e transparentes sobre chapas recobertas com papel alumínio estão expressos na Figura 4.

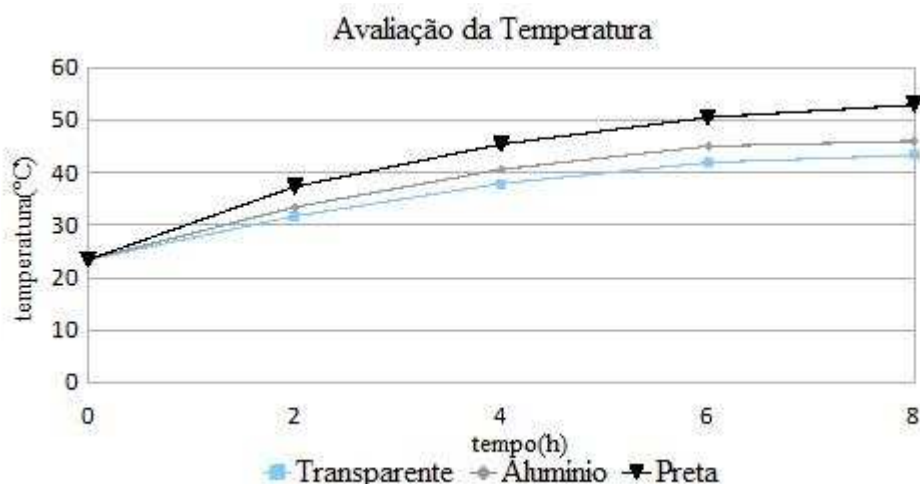


FIGURA 4. Temperatura média do monitoramento da água em três diferentes aplicações de SODIS

A garrafa pintada na metade inferior de preto mostrou-se mais eficiente quanto à absorção de calor, alcançando as recomendações bibliográficas para a desinfecção: 50°C em 6h de exposição. Segundo MONTEIRO et al. (s.d.), o efeito sinérgico da radiação com temperatura acima de 50°C aumenta significativamente a taxa de inativação de microrganismos. A Figura 4 demonstra, ainda, que os outros dois métodos testados não são tão eficientes, pois não atingiram a temperatura mínima recomendada pelo Guia de Aplicação de SODIS (2002) para que ocorra a total desinfecção da água. Assim determinou-se que a forma de aplicação utilizada neste experimento seria o método da garrafa PET pintada na sua metade inferior de preto. É relevante o fato que a temperatura ambiente média para os dias do experimento foram respectivamente 32,3°C mostrando que a água do sistema atinge temperatura muito superior a temperatura ambiente.

Aplicação da técnica SODIS em dois períodos climáticos

A ação da técnica SODIS, no período que o clima apresentava temperatura elevada com média de 23,4°C e ausência de nuvens podem ser observadas na Figura 5, confirmando as informações encontradas na literatura técnica.

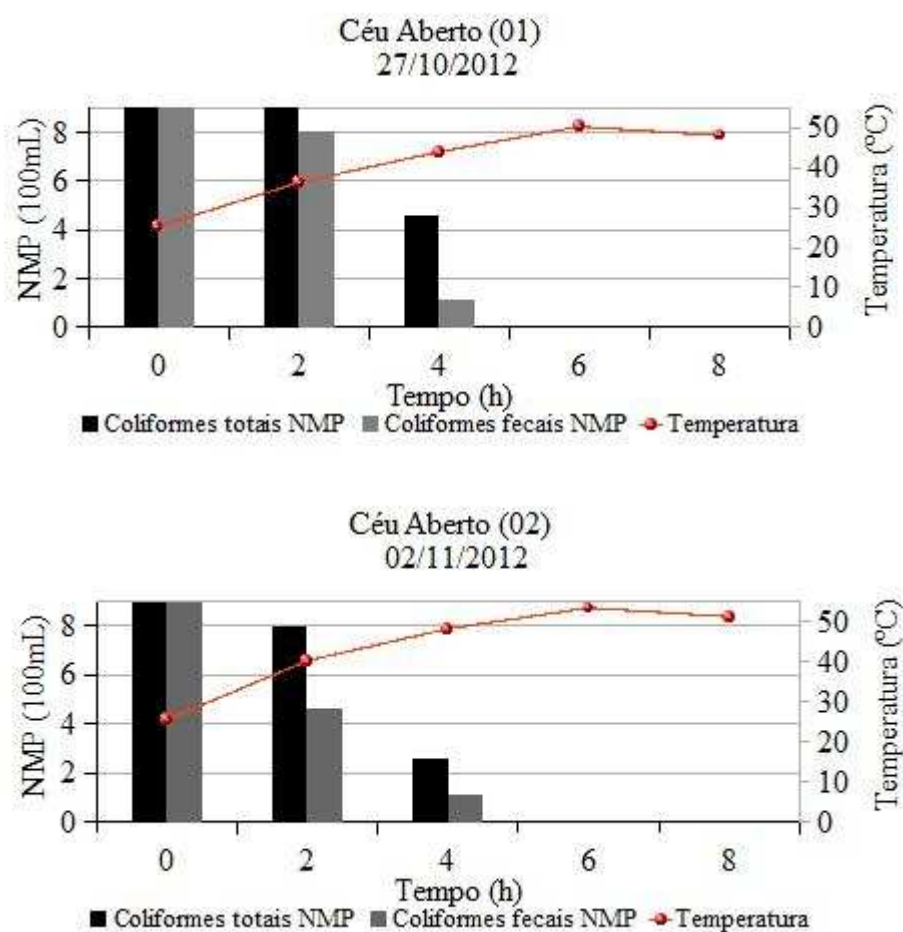


FIGURA 5. Ação da técnica SODIS em coliformes presente em água de cisterna

De acordo com o Manual de Aplicação da Técnica de SODIS (2002), a utilização da técnica de desinfecção da água através dos raios solares requer que o clima apresente fatores característicos para possibilitar o sucesso do sistema. Os fatores que mais influenciam no processo de desinfecção são as radiações Ultravioleta (UV) e Infravermelha.

A luz UV, com comprimento de onda de 320nm-400nm, tem um efeito letal em agentes patogênicos humanos presentes na água. Quando esta radiação interage com o DNA e com as enzimas das células ocorrem alterações em sua estrutura molecular, levando a célula à morte. A radiação Infravermelha, de comprimento de onda superior a 700nm, é absorvida pela água e aumenta sua temperatura matando os microrganismos patogênicos sensíveis ao calor. A maioria deles não suporta uma hora de exposição a uma temperatura de 50-60°C (BRYANT et al. 1992).

A região semiárida do Brasil encontra-se entre a latitude 15° e 35° norte e sul e recebe alto índice de radiação UV por ano, além das mais de três mil horas de sol anualmente (WEGELIN & MEIERHOFER, 2002). A presença destas características torna a região muito propícia para utilização da energia solar como método de descontaminação da água. Desta forma, o efeito sinérgico (ação conjunta das radiações UV e Infravermelha) dessas duas faixas de radiação eleva a eficiência da técnica.

No tratamento da água aplicado em dias de céu aberto, conforme Figura 5, foi feito acompanhamento dos níveis de incidência de radiação UV através da estação

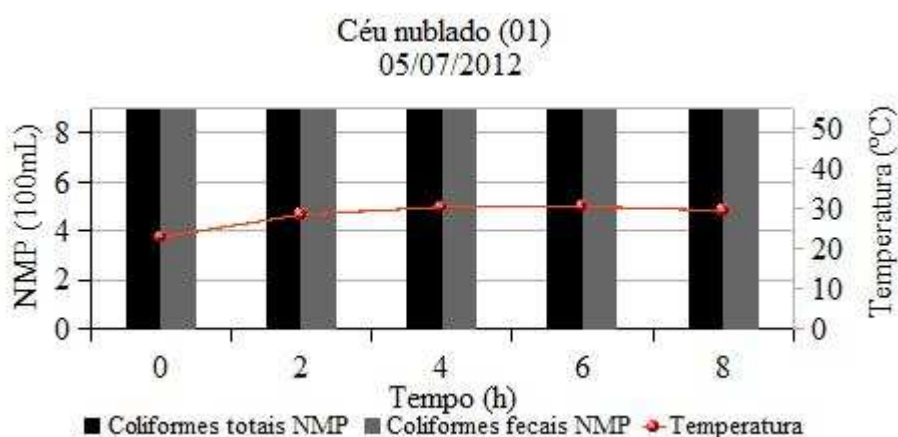
automática de meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizado no IF Baiano, *Campus* Senhor do Bonfim. A média de incidência da radiação UV no período de exposição foi de 1.157,77 KJ m⁻², gráfico 1 (Figura 5) e de 1.415,08 KJ m⁻² no gráfico 2 (Figura 5), valores que podem ser observados na Tabela 3, e que apontam índices superiores ao recomendado por LAWAND et al. (1990), que é de 500KJ m⁻² para eliminação dos microrganismos.

TABELA 3. Incidência de radiação Ultravioleta no período do tratamento

Dias/ Período de exposição	27/10/2012 KJ m ⁻²	02/11/2012 KJ m ⁻²
0h	-3,53	-2,79
2h	288,93	231,05
4h	751,99	993,10
6h	1.437,66	3.092,57
8h	3.313,79	2.761,50

Pode-se notar que a descontaminação teve início com 2h de exposição com redução dos coliformes termotolerantes e com 4h, ainda, houve, registro de redução dos coliformes totais. Entretanto, a total descontaminação da água só pode ser observada 6h de exposição – resultado semelhante ao trabalho realizado por SILVA (2006). Este trabalho realizado na região do semiárido utilizando a técnica SODIS para descontaminar água de várias fontes, alcançou nível total de descontaminação da água com seis horas de exposição.

Entretanto o tratamento aplicado no período em que o clima apresentava céu encoberto por nuvens, com intervalos curtos de baixa precipitação de chuva e temperatura média de 19,3°C os resultados obtidos não foram satisfatórios para o objetivo da técnica. Estes dados podem ser observados na Figura 6 e na Tabela 4.



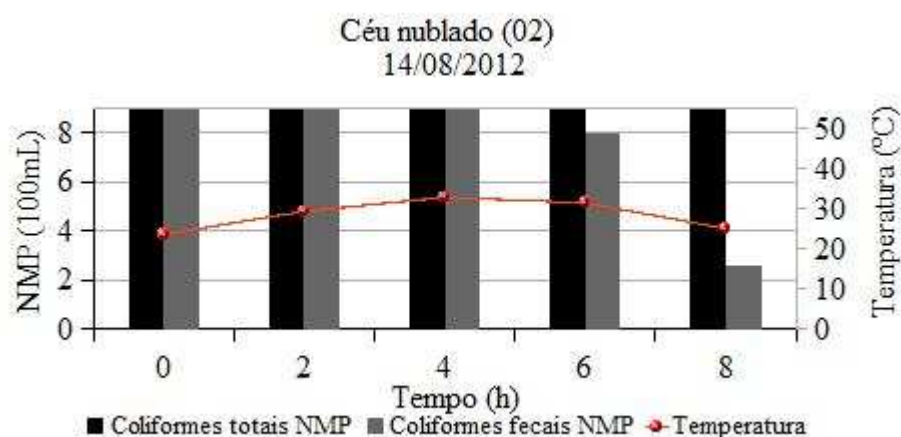


FIGURA 6. Ação da técnica SODIS em coliformes presentes em água de cisterna.

Como pode ser observado a temperatura máxima da água apresentada no gráfico 1 (Figura 6) foi 30°C, em decorrência da presença de nuvens, que reduz a incidência da radiação penetrante e, por sua vez, interfere no potencial de desinfecção. A temperatura máxima apresentada no gráfico 2 (Figura 6) foi de 32°C. Mesmo estando abaixo dos índices recomendados pela bibliografia, pode-se notar que ao final do tempo 8 houve redução inexpressiva do número de coliformes fecais o que se justifica pelo aumento de radiação (redução de nuvens) entre os tempos 6 e 8 apresentados na Tabela 4.

O acompanhamento da radiação durante o período de inverno, apresentou uma média de radiação UV de 90,06 KJ m⁻² para o período de exposição representado no gráfico 1 (Figura 6) e média de radiação UV de 137,01 KJ m⁻² para o período de exposição que consta no gráfico 2 (Figura 6). Os valores de radiação UV no momento da coleta das amostras podendo ser observado na Tabela 4 apresentada.

TABELA 4. Incidência de radiação Ultravioleta no período do tratamento

Dias/ Período de exposição	05/07/2012 KJ/m ²	14/08/2012 KJ/m ²
0h	-0,14	-0,43
2h	12,49	35,35
4h	51,66	127,81
6h	154,74	245,79
8h	231,59	276,53

A utilização da técnica no período de inverno (céu coberto com nuvens e temperatura amena) mostrou-se ineficiente para 8 horas de exposição, pois não houve eliminação de bioindicadores recomendados pela Organização Mundial da Saúde para água potável. Resultados obtidos neste trabalho foram semelhantes aos encontrados por SILVA (2006) que discutiu que para dias de céu com grande nebulosidade a água necessita de maior tempo de exposição ao ambiente. Ainda é possível citar o Guia de Aplicação do SODIS (2002) que recomenda, para os dias nublados, exposição de 24 horas para que ocorra a desinfecção da água.

Recrescimento bacteriano

As análises mostraram que não houve recrescimento de bactérias do grupo coliformes totais e nem termotolerantes. A verificação do provável recrescimento bacteriano é relevante quando se trata de água para consumo humano. Dessa forma, foi necessário observar se na água descontaminada, após 24 horas em temperatura ambiente, ocorreu recrescimento bacteriano – fator que poderia inviabilizar, ou ao menos limitar, a utilização da técnica. Resultado oposto ao apresentado pelo trabalho de SILVA (2004), o qual indicou que para não ocorrer recrescimento é necessário utilizar o concentrador, proposto pelo Instituto Mexicano de Tecnologia de Água-IMTA, no sistema para que a temperatura alcance 70°C em 4h de exposição. Em WEGELIN (2003) a ausência de recrescimento bacteriano pode ser observada dentro do prazo máximo de 24h, sendo recomendada a desinfecção da água em quantidade suficiente para o consumo diário da família. O efeito sinérgico da radiação UV e temperatura provoca um aumento na mortalidade dos coliformes, indivíduos com maior resistência às bactérias patogênicas, tornando a água livre de microrganismos patogênicos.

CONCLUSÃO

A utilização da garrafa pintada em sua metade de preto mostrou-se eficiente para utilização no sistema SODIS, pois além de apresentar baixo custo, é de fácil manipulação embora o sistema apresente limitações de aplicação, quanto a quantidade de água tratada por garrafa e quanto as condições climáticas locais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e INSA através do Edital 35/2010; e ao IF-Baiano através do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido com Ênfase em Recursos Hídricos (DSSERH), por oportunizar o desenvolvimento da pesquisa. Agradecemos também a UNEB *campus* VII (Senhor do Bonfim) pela disponibilidade do laboratório para realização das análises de água.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. **Ana na gestão das águas**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 de novembro de 2011.

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 (American Public Health Association) - **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: APHA, AWWA, WEF, 1999.

BRASIL. Portaria MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>.

Acesso em: 14 de dezembro de 2011.

BRITO, L. T. L.; PORTO, E. R.; SILVA, A de S.; GNADLINGER, J.; XENOFONTE, G. H.S. **Análise da qualidade das águas de cisternas em cinco Municípios do semi-árido brasileiro, 2004.** Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CPATSA/.../OPB290.pdf>>. Acesso em: 16 de outubro de 2011.

BRYANT, E. A.; FOLTON, G. P.; BUDD, G. C. **Disinfeccion alternatives for safe drinking water.** Ed. Van Nostrand Reinhold, Nova York, EUA, 1992.

CONTE, V. D. et al. Qualidade microbiológica de águas tratadas e não tratadas na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Infarma.** v.16, n.11, p.83-84, 2004.

JAQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F. LAPOLLI, F.R. Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis – SC. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES. CD-ROM, p.112, 2005.

LAWAND, T. A.; ALWARD, R.; AYAUB, J. Solar Disinfection of water. Clean and energy forever. In: Congress of the International Solar Energy Society, 3, **Anais...**CD-ROM, p.1952,1990.

KONEMAN, E.W.; ALLEN, S.D.; JANDA, W.M.; SCHRECKENBERGER, P.C.; WINN Jr., W.C. **Diagnóstico Microbiológico.** 5.ed., Rio de Janeiro: MEDSI, p.1465, 2001.

MATTOS, M. L. T., SILVA, M. D. Controle da Qualidade Microbiológica das Águas de Consumo na Microbacia Hidrográfica Arroio Passo do Pilão. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Comunicado Técnico 61.** Embrapa. Pelotas- RS, 2002.

MONTEIRO, P. C. G.; BRANDÃO, C. C. S.; SOUZA, M. A. A. (S. d.) **Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil. Brasília, Distrito Federal.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração Universal dos Direitos da Água.** Dia mundial da água. 22 de março de 1992.

ROCHA, A. A. A. Problemática da água. In: LEITE, Joaquina Lacerda (org.). **Problemas chaves do meio ambiente.** 2 ed. Salvador: Instituto de Geociências da UFBA: Espaço Cultural EXPOGEO, 1995.

SANTOS, M. A. F. dos. **Qualidade da água de chuva armazenada em cisternas rurais e as modificações decorrentes do manuseio na região de Serrinha-BA.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2008.

SILVA, M. J. M., **Desinfecção de Água Utilizando Energia Solar (SODIS):**

Inativação e Recrescimento Bacteriano. Dissertação (Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Campinas) - Campinas, São Paulo, 2004.

SILVA, C. V.; CARDOSO, M. P.; PALMIER, L. R., PÁDUA, V. L. Potencial Liberação de Metais em Águas de Chuva Armazenadas em Cisternas Utilizadas Para Consumo Humano Petrolina, PE, In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da chuva, 5, 2005, Teresina, **Anais...** Teresina, Piauí, CD-ROM, 2005.

SILVA, S. C., **A Desinfecção Solar da Água Como Alternativa de Convivência Com o Semi-Árido**: Avaliação da Técnica SODIS no Município de Senhor do Bonfim, Bahia. Monografia (Universidade do Estado da Bahia) - *Campus VII*, Senhor do Bonfim, Bahia, p. 24, 2006.

SIQUEIRA, R. S. **Manual de Microbiologia de Alimentos**. Brasília: EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1995.

SODIS. Materiales: Plástico frente al vidrio, **Nota Técnica nº 2**. Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em: 10 de outubro de 2011.

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. **Microbiologia**. 4 ed. São Paulo: Atheneu, 2005.
TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8 ed. Porto alegre: ARTMED, 2005.

VASCONCELLOS, F. C. da S., IGANCI, J. R. V., RIBEIRO, G. A. Qualidade Microbiológica da Água do Rio São Lourenço, São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.73, n.2, p.177-181, 2006.

WEGELIN, M.; MEIERHOFER, R. Desinfeccion Solar del Agua: **Guia de aplicacion**. Tradução: Associados S. A. C. Lima: Indearth S. A. C., 2002.

WIKIPÉDIA. **A Enciclopédia Livre**. Localização do Município de Senhor do Bonfim, BA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Senhor_do_Bonfim_Bahia>. Acesso em: 10 de junho de 2011.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. Surveillance and control of community supplies. 2 ed., v. 3 World Health Organization, 2007.