



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA AMBIENTAL



RAMONA CONCEIÇÃO MOREIRA DE AZEVEDO

**USO DE TECNOLOGIAS SOCIAIS PARA ADEQUAÇÃO DA  
QUALIDADE DA ÁGUA ARMAZENADA EM CISTERNAS PARA  
CONSUMO HUMANO**

CARUARU-PE  
2014

RAMONA CONCEIÇÃO MOREIRA DE AZEVEDO

**USO DE TECNOLOGIAS SOCIAIS PARA ADEQUAÇÃO DA  
QUALIDADE DA ÁGUA ARMAZENADA EM CISTERNAS PARA  
CONSUMO HUMANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental  
Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Sávia Gavazza dos S. Pessôa  
Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Sylvana Melo dos Santos

CARUARU-PE  
2014

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-124

A994u Azevedo, Ramona Conceição Moreira de.  
    Uso de tecnologias sociais para adequação da qualidade da água armazenada em cisternas para consumo humano. / Ramona Conceição Moreira de Azevedo. - Caruaru: O Autor, 2014.  
    91f. : il. ; 30 cm.

    Orientadora: Sália Gavazza dos Santos Pessôa  
    Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2014.  
    Inclui referências bibliográficas

    1. Tecnologia – Aspectos sociais. 2. Água – Controle de qualidade. 3. Água - Tratamento – Brasil. I. Pessôa, Sália Gavazza dos Santos. (Orientadora). II. Título

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2014-185)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**USO DE TECNOLOGIAS SOCIAIS PARA ADEQUAÇÃO DA QUALIDADE  
DA ÁGUA ARMAZENADA EM CISTERNAS PARA CONSUMO HUMANO**

Defendida por

RAMONA CONCEIÇÃO MOREIRA DE AZEVEDO

Considera a candidata APROVADA

Caruaru, 21 de março de 2014

---

SÁVIA GAVAZZA DOS SANTOS PESSÔA – PPGECAM/UFPE  
(presidente da banca examinadora)

---

LÉO HELLER – Escola de Engenharia/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG  
(examinador externo)

---

JOSÉ ALMIR CIRILO – Centro de Tecnologia/Departamento de Engenharia Civil/UFPE  
(examinador interno)

---

SIMONE MACHADO SANTOS – PPGECAM/UFPE  
(examinadora interna)

Dedico este trabalho aos meus pais Céres e Raul, meus irmãos Renata, Ramile, Rebeca e Tiago, e em especial à minha avó Haydê.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela força espiritual durante todas as etapas da minha vida, força esta indispensável para superar todas as adversidades ao longo da caminhada.

À minha mãe Céres, exemplo de mulher, a qual sonhei junto comigo e apoiou a realização de mais uma etapa em minha vida.

Ao meu pai Raul, por acreditar em meu potencial.

Aos meus irmãos Renata, Ramile, Rebeca e Tiago, por todo amor e carinho.

À minha avó Haydêe, a quem dedico mais essa vitória, mulher essencial em minha vida.

Ao meu tio e padrinho Babau, que não está mais presente entre nós, mas sempre acreditou em meu sucesso.

Às minhas orientadoras Sávvia Gavazza e Sylvana Melo. Faltam-me palavras para descrever a gratidão que tenho por vocês. Apoio, dedicação, orientação, cobrança, motivação e amizade. Levarei comigo para onde for estes exemplos de pessoas e profissionais dedicadas que ambas são.

Às professoras Simone Machado e Kenia Barros, meus sinceros agradecimentos por todas as intervenções feitas em minha pesquisa e pela agradável convivência no laboratório.

Aos amigos do mestrado: Ivanildo, Edson, Silvanda e Everaldo. Formamos um grupo ímpar e de cumplicidade invejável.

Aos amigos do Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA): Fabi, Manu, Andreia, Bruninha, Glenda, Fernanda, Gleydson, Ester, Jéssica, Marcelo e Carlos. Obrigada pelo aprendizado, amizade e diversão ao longo do tempo de convivência com cada um de vocês. Em especial à Denise, Natanna e Anão, muito mais que amigos, indispensáveis nesta jornada.

Ao Bagera e Luís, meus companheiros de coleta, análise e troca de conhecimentos. Se hoje este sonho virou realidade, sei que isso foi possível por ter vocês sempre ao meu lado. Esta equipe de muita garra foi essencial na minha pesquisa.

Ao ex-secretário do PPGECAM Samuel, sou extremamente grata por todo apoio técnico concedido. Exatamente nada me faltou, pois você sempre esteve disposto a resolver até as coisas que não estavam ao seu alcance.

Ao motorista Fred por todas as vezes que precisei da sua ajuda, tanto em assuntos profissionais, como pessoais.

À comunidade da zona rural de Caruaru, indispensável na realização da minha pesquisa. Pessoas humildes e bondosas, que sempre nos receberam de braços abertos.

Ao pedreiro Sebastião, responsável pela construção e reformas dos dispositivos instalados nas cisternas.

À UFPE - CAA, professores e demais colaboradores.

Às amigas do Pensionato Dilene, Izabel, Erica e Pitty.

Aos amigos do inglês Mary, Camila, Franci, Luanna e Alisson pelo aprendizado e amizade.

À agência de fomento FACEPE, pela bolsa de pós-graduação no nível Mestrado Acadêmico.

Às agências de fomento FINEP e CNPq, pelo apoio financeiro da pesquisa.

## RESUMO

A disponibilidade e usos da água na região Nordeste do Brasil, particularmente na região semiárida, representam um grande entrave para seu desenvolvimento. O sistema de captação e armazenamento de água de chuva em cisternas constitui uma solução individual de abastecimento de água e é uma forma simples de obtenção de água, que já vem sendo adotada há vários séculos. Apesar da melhoria da qualidade de vida da população que utiliza cisternas como forma de abastecimento, durante períodos críticos de estiagem a água de chuva armazenada nas cisternas se esgota e é substituída por água de origem desconhecida, transportada por meio de carro-pipa e distribuída para as comunidades. Os carros-pipa, embora representem uma alternativa mais rápida e de fácil fornecimento de água para populações rurais e urbanas em tempos de crise, por muitas vezes pode ter sido a causa da contaminação da água transportada para as comunidades. O conceito básico da presente pesquisa reside na ideia de adequar água armazenada em cisternas para consumo humano, através da remoção inicial das impurezas mais grosseiras como sólidos, no coador de pano, filtro e potes de barro, em seguida a remoção de patógenos, através da técnica de desinfecção solar - SODIS. A primeira etapa consiste em avaliar a qualidade da água armazenada em 3 cisternas localizadas em Lajedo do Cedro, município de Caruaru – PE. Verificou-se que dentre os parâmetros físico-químicos analisados, somente cloretos não estiveram em conformidade com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 2914/11. Verificou-se que tal parâmetro foi excedido em 16% na cisterna C1. Em relação aos parâmetros bacteriológicos, foi detectada a presença de coliformes totais em 100% das amostras analisadas e de *E. coli* em 87% das amostras analisadas. A segunda etapa é avaliar as variações SODIS quanto à influência da concentração de oxigênio e influência da coloração da garrafa. Verificou-se que a garrafa com cobertura preta e agitação manual foi a que apresentou melhor eficiência de desinfecção solar, pois foi o tipo de cobertura que proporcionou maiores temperaturas da água. Foi constatada uma eficiência de 93% na inativação de coliformes totais e 85% de *E. coli*. A terceira etapa é avaliar a eficiência de 4 diferentes arranjos de tratamento de água doméstico, sendo eles: (I) coador de pano + filtro de barro, (II) pote de barro + filtro de barro, (III) filtro de barro e (IV) pote de barro, seguidos do pós-tratamento com o processo SODIS mais eficiente da etapa 2. Os quatro arranjos de tratamento doméstico testados em laboratório mostraram que os tratamentos não possuem eficiência significativa na remoção de cloretos, dureza, alcalinidade, condutividade e pH. Em relação à turbidez, o tratamento I foi o mais eficiente, apresentando eficiência de remoção média de 78%, ao passo que o tratamento II apresentou 69% de eficiência de remoção. Em relação aos parâmetros bacteriológicos, os tratamentos I e II apresentaram eficiência de remoção de coliformes totais de 85% e 87%, respectivamente. Em relação à *E. coli* notou-se uma eficiência de remoção nos tratamentos I e II, respectivamente de 82% e 85%. Em nenhum dos tratamentos, conseguiu-se obter 100% de eficiência na remoção de coliformes totais ou *E. coli*. Nos experimentos de desinfecção solar como pós-tratamento, verificou-se eficiência na inativação de 100% de coliformes totais e *E. coli* ainda remanescentes dos quatro tratamentos domésticos testados em laboratório. Considerando o recrescimento bacteriano de 24 horas verificou-se que 21% das amostras apresentaram presença de coliformes totais e 100% das amostras houve ausência de *E. coli*. Ao avaliar as amostras com 48 horas de repouso, verificou-se recrescimento bacteriano em 33% das amostras de coliformes totais e permanência da ausência de *E. coli*.

**Palavras-chave:** Tecnologia social, qualidade de água, tratamento doméstico, SODIS.

## ABSTRACT

The availability and use of water in the Northeast region of Brazil, particularly in the semiarid region, represent a major obstacle to its development. The system for capturing and storing rainwater in tanks is an individual solution of water and is a simple way of obtaining water, which has been adopted for several centuries. Despite the improvement in quality of life using cisterns as a way to supply, during critical periods of drought rainwater stored in cisterns runs out and is replaced by water of unknown origin, transported by tanker car and distributed to communities. Water tank truck, while representing a faster and easier alternative to supply of water to rural and urban populations in times of crisis, have sometimes been the cause of water contamination transported to communities. The basic concept of this research is the idea of adapting water stored in cisterns for human consumption by first through the removal of the coarse impurities as solids, the cloth strainer, filter and clay pot, then the removal of pathogens, through the technique of *solar water disinfection* – SODIS. The first part is to evaluate the quality of water stored in 3 cisterns located in the Lajedo of Cedro, city of Caruaru - PE. It was found that among the physico-chemical parameters analyzed, only chlorides were not in accordance with the Ordinance N° 2914/11, of the Ministry of Health. It was found that this parameter has exceeded 16% in the C1 cistern. By bacteriological parameters, detected the presence of total coliforms in 100% of samples and *E. coli* in 87% of samples. The second part is to evaluate the SODIS variations in the influence of oxygen concentration and influence of solar radiation. It was found that the bottle with black cover and manual agitation showed the best efficiency of solar disinfection because it was the kind of coverage provided higher water temperatures. An efficiency of 93% in the inactivation of total coliforms and 85% of *E. coli* was found. The third part is to evaluate the efficiency of 4 different models of household water treatment, appointed: (I) cloth strainer + clay filter , (II) clay pot+ clay filter, (III) clay filter and (IV) pot clay, followed by post- treatment with the SODIS process is more efficient in part 2. The four models domestic treatment tested in the laboratory show that the treatments did not have significant efficiency in the removal of chlorides, hardness, alkalinity, pH and conductivity. Relative the turbidity, the treatment I was the most effective, with an average removal efficiency of 78%, and the treatment II presented 69% of removal efficiency. Relative the bacteriological parameters, treatment I and II presented removal efficiency of total coliforms 85% and 87%, respectively. Relative the *E. coli* is noted removal efficiency in groups I and II respectively 82% and 85%. In none of the treatments, it was able to obtain 100 % efficiency in removing total coliforms or *E. coli*. In the experiments of solar disinfection and post-treatment, was noted on the inactivation efficiency of 100% of total coliforms and *E. coli* still remnants of household four treatments tested in the laboratory. Considering bacterial regrowth 24 hours was found that 21% of the samples showed the presence of total coliforms and 100% of the samples, there was *E. coli*. Evaluation of the samples with 48 hours of rest, there is bacterial regrowth in 33% of samples of total coliforms and permanence of the absence of *E. coli*.

**Keywords:** Social technology, water quality, domestic treatment, SODIS.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Ilustração da delimitação do semiárido brasileiro.....	19
Figura 3.2 - Esquema de dispositivos de descarte das primeiras águas de chuva com diferentes princípios de funcionamento. ....	26
Figura 3.3 - Ilustração do dispositivo de desvio das primeiras águas desenvolvido pelos pesquisadores da UFPE.....	27
Figura 3.4 – Bomba manual a ser instalada.....	28
Figura 3.5 - Pote de barro.....	32
Figura 3.6 – Coadores de pano. ....	33
Figura 3.7 – Filtro de cerâmica, do tipo gravidade.....	35
Figura 3.8 – Filtro do tipo pressão.....	35
Figura 3.9 - Vela cerâmica utilizada como elemento filtrante nos filtros de barro. ....	36
Figura 3.10 – Garrafas expostas no telhado para aplicação do SODIS. ....	42
Figura 4.1 – Localização do Estado de Pernambuco, com destaque para a região do Agreste Pernambucano, município de Caruaru - PE e as 3 cisternas monitoradas localizadas em Lajedo do Cedro - PE.....	45
Figura 4.2 – Fotografia ilustrativa das cisternas monitoradas.....	46
Figura 4.3 – Realização de análise bacteriológica em capela de fluxo laminar. ....	48
Figura 4.4 – Contador manual de colônias.....	48
Figura 4.5 - Controle da temperatura nos 3 tipos de garrafas (transparente, alumínio e preta). ....	50
Figura 4.6 – Fotografias do experimento de desinfecção solar na unidade experimental no <i>Campus</i> de Caruaru da UFPE.....	50
Figura 4.7 - Partes constituintes do filtro de barro. ....	53
Figura 4.8 - Fotografia da instalação experimental na UFPE. ....	53
Figura 4.9 - Garrafas plásticas utilizadas na coleta de água das cisternas. ....	54
Figura 4.10 - Coleta da água da cisterna C2.....	55
Figura 4.11 – Ilustração dos materiais utilizados no processo do Tratamento I. ....	55
Figura 4.12 – Ilustração do tratamento II - processo de retirada da água do pote de barro e transferência para o filtro de barro.....	56
Figura 4.13 –Recipientes de polietileno utilizados nas coletas dos tratamentos. ....	57
Figura 4.14 – Ilustração do SODIS como pós-tratamento. (a) garrafas com metade coberta por papel contato preto; (b) exposição solar das garrafas e controle da temperatura. ....	58
Figura 5.1 - Diagrama boxplot de pH – monitoramento no período de 2011 a 2013.....	61
Figura 5.2 - Diagrama boxplot de alcalinidade total – monitoramento no período de 2011 a 2013.....	62
Figura 5.3 - Diagrama boxplot de dureza total – monitoramento no período de 2011 a 2013.....	63
Figura 5.4 - Distribuição mensal da turbidez durante o período de monitoramento com o desvio automático das primeiras águas instalado. ....	64
Figura 5.5 - Valores de Turbidez observados nas cisternas C1, C2 e C3, após instalação do desvio automático das primeiras águas de chuva. ....	64
Figura 5.6 - Diagrama boxplot de coliformes totais – monitoramento no período de 2011 a 2013.....	66
Figura 5.7 - Diagrama boxplot de E.Coli – monitoramento no período de 2011 a 2013.....	67
Figura 5.8 –Turbidez na cisterna C1 em dois períodos analisados: SD – sem desvio automático (junho/2012 a maio/2013) e CD – com desvio automático (junho/2013 a dezembro /2013). ....	68

Figura 5.9 – Coliformes totais na cisterna C3 em dois períodos analisados: SD – sem desvio automático (junho/2012 a maio/2013) e CD – com desvio automático (junho/2013 a dezembro/2013). .....	69
Figura 5.10 – Variação da turbidez na cisterna C3. ....	70
Figura 5.11 – Variação da concentração de coliformes totais na cisterna C3. ....	71
Figura 5.12 - Variação da concentração de <i>E. coli</i> na cisterna C3. ....	72
Figura 5.13 - Média aritmética e desvio padrão de coliformes totais. ....	73
Figura 5.14 – Média aritmética e desvio padrão de <i>E. coli</i> . ....	73
Figura 5.15 – Radiação solar ao longo do tempo de exposição solar nos 3 experimentos. ....	74
Figura 5.16 – Média aritmética da turbidez. ....	76
Figura 5.17 – Média aritmética de coliformes totais. ....	77
Figura 5.18 – Média aritmética de <i>E. coli</i> . ....	78
Figura 5.19 – Etapas do tratamento doméstico seguido do pós-tratamento, com ilustração das placas para contagem de bactérias, do tratamento II (pote de barro + filtro de barro). ....	79
Figura 5.20 – Ilustração dos resíduos acumulado no compartimento inferior do filtro, onde fica acoplada a torneira. ....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Descrição das atividades e escala de cada etapa.....	44
Tabela 4.2 – Características das cisternas monitoradas. ....	46
Tabela 4.3 - Parâmetros monitorados, limites estabelecidos pela Portaria e metodologia utilizada no monitoramento da qualidade da água.....	47
Tabela 4.4 - Arranjo das garrafas plásticas utilizadas no teste SODIS.....	49
Tabela 4.5 - Arranjos dos tratamentos. ....	52
Tabela 5.1 - Média aritmética e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos monitorados.	60

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
%	Percentual
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C.	Antes de Cristo
APHA	<i>American Public Health Association</i>
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
CH <sub>3</sub> COOOH	Ácido peracético
Cl <sub>2</sub>	Cloro
ClO <sub>2</sub>	Dióxido de cloro
CAA	Centro Acadêmico do Agreste
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EAWAG	Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática
ETA	Estação de Tratamento de Água
FeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Íon ferrato
FACEPE	Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
FBB	Fundação Banco do Brasil
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GTI	Grupo de Trabalho Interministerial
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrogênio
hab/km <sup>2</sup>	Habitantes por quilômetro quadrado
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ITS	Instituto de Tecnologia Social
KMnO <sub>4</sub>	Permanganato de potássio
L	Litros
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
mg/L	Miligramas por litro
mL	Mililitro
mm/ano	Milímetros por ano
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome
MI	Ministério da Integração Nacional
MS	Ministério da Saúde
n°	Número
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
O <sub>3</sub>	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPS	Organização Panamericana de Saúde
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial hidrogeniônico
PVC	Policloreto de Polivinila
RNA	Ácido Ribonucleico
SANDEC	Departamento de Água e Saneamento para Países em desenvolvimento

SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SODIS	<i>Solar Water Disinfection</i>
TS	Tecnologia Social
uH	Unidade de Hazen
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UV	Ultravioleta
V	Volume
WHO	<i>World Health Organization</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	OBJETIVOS .....	17
2.1	Objetivo geral .....	17
2.2	Objetivos específicos .....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
3.1	Disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro .....	18
3.2	Sistema de captação e armazenamento de água de chuva .....	20
3.2.1	Legislação aplicável ao aproveitamento da água de chuva .....	21
3.2.2	Qualidade da água de chuva .....	23
3.2.3	Importância das barreiras sanitárias .....	25
3.3	Tratamento de água .....	28
3.4	Tecnologia social .....	29
3.4.1	Tecnologia social aplicada ao tratamento de água doméstico .....	31
3.4.2	Tipos de tratamentos de água doméstico .....	32
3.4.2.1	Sedimentação em pote .....	32
3.4.2.2	Filtração em pano e fervura .....	32
3.4.2.3	Filtro de barro .....	34
3.4.2.3.1	Formação de biofilmes .....	38
3.4.2.4	Desinfecção .....	39
3.4.2.5	Desinfecção solar – SODIS .....	40
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	44
4.1	Abrangência da pesquisa .....	44
4.2	Etapa 1: Monitoramento da qualidade de água armazenada em três cisternas do semiárido pernambucano .....	45
4.3	Etapa 2: Avaliação das variações do processo de desinfecção solar – SODIS .....	48
4.4	Etapa 3: Avaliação do desempenho de quatro diferentes arranjos de tratamento domiciliar, mais a utilização de desinfecção solar – SODIS como pós-tratamento .....	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
5.1	Etapa 1: Monitoramento da qualidade de água armazenada em três cisternas do semiárido pernambucano .....	60
5.1.1	Resultados dos parâmetros físico-químicos .....	60
5.1.1.1	pH .....	60
5.1.1.3	Dureza total .....	62
5.1.1.4	Turbidez .....	63
5.1.2	Resultados dos parâmetros bacteriológicos .....	65
5.1.2.1	Coliformes totais .....	65
5.1.2.2	<i>E. coli</i> .....	66
5.1.3	Avaliação dos dispositivos automáticos de descarte das primeiras águas de chuva .....	67
5.1.4	Influência da precipitação na qualidade da água armazenada nas cisternas .....	69

5.2	Etapa 2: Avaliação das variações do processo de desinfecção solar – SODIS .....	72
5.3	Etapa 3: Avaliação do desempenho de quatro diferentes arranjos de tratamento domiciliar, mais a utilização de desinfecção solar - SODIS como pós-tratamento .....	76
6	CONCLUSÕES .....	81
7	RECOMENDAÇÕES .....	83
8	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....	84

## 1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade e usos da água na região Nordeste do Brasil, particularmente na região semiárida, representam um grande entrave para seu desenvolvimento. Apesar dos esforços que vêm sendo empreendidos com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água suficiente para garantir o abastecimento humano, de forma geral, ainda são insuficientes para resolver os problemas decorrentes da escassez de água, o que faz com que as populações continuem vulneráveis à ocorrência de secas. Além disso, as características climáticas e hidrogeológicas do semiárido nordestino, com chuvas concentradas em poucos meses do ano, elevada evaporação e solos com baixa capacidade de retenção de água, induzem à necessidade de armazenamento da água nos períodos de chuva para amenizar os efeitos adversos dos longos períodos de estiagem (PÁDUA, 2013). Neste contexto, o acesso limitado à água de boa qualidade e em quantidade suficiente acarreta o aumento da pobreza, das doenças e da fome, problemas que poderiam ser amenizados com um eficiente abastecimento d'água que atenda aos padrões de potabilidade. Devido às características já descritas, o problema fica mais evidente no semiárido nordestino.

O sistema de captação e armazenamento de água de chuva em cisternas constitui uma solução individual de abastecimento de água e é uma forma simples de obtenção de água, que já vem sendo adotada há vários séculos. Segundo PÁDUA (2013), as principais vantagens atribuídas ao sistema de captação e armazenamento de água de chuva em cisternas são devido aos seguintes fatores: reservatório vedado, não ocorre perdas significativas de água por evaporação; armazena água durante todo o período de seca, desde que a cisterna esteja em bom estado de conservação e que tenha sido adequadamente projetada e construída; construída próxima à residência, evitando assim que os moradores tenham que se deslocar por longos percursos para adquirir água para o consumo diário; com os cuidados necessários, armazena água de chuva com qualidade adequada ao consumo humano.

Apesar da melhoria da qualidade de vida da população que utiliza cisternas como forma de abastecimento, durante períodos críticos de estiagem, a água de chuva armazenada nas cisternas se esgota e é substituída por água de origem desconhecida, transportada por meio de carros-pipa e distribuída para as comunidades. No estudo de Silva, Heller & Carneiro (2012), para avaliar a prevalência de diarreia segundo o tipo de abastecimento de água utilizado, foi verificado que aproximadamente 40% das famílias adicionavam água de outras fontes dentro da cisterna; destas, 43% faziam isso frequentemente, adotando a cisterna como reservatório e os outros 57% realizavam esse procedimento apenas quando a água de chuva estava acabando.

Os carros-pipa, embora representem uma alternativa mais rápida e de fácil fornecimento de água para populações rurais e urbanas em períodos de crise, podem ser algumas vezes, a causa de contaminação das águas transportadas. Casos de doenças associadas à veiculação hídrica ainda atingem a população nos dias atuais. Cavalcanti, Brito & Resende (2005) realizaram visitas a alguns municípios e comunidades do semiárido com o objetivo de observar a forma como a água estava sendo transportada para atender as necessidades de consumo de água das famílias nas zonas rurais e urbanas no período de seca. Eles constataram um carro-pipa coletando água em uma lagoa de estabilização no município de Petrolina - PE para distribuição nas comunidades do interior do município e um agricultor coletando água em uma barragem com bastante sedimentos em suspensão no município de Arcoverde - PE. Essas formas de captação, utilização e distribuição de água podem levar riscos às populações rurais, de forma que é notória a necessidade de disponibilização e divulgação de tecnologias simples, de baixo custo e fácil replicação, também conhecida tecnologia social, com a finalidade de permitir que a comunidade consuma água de forma mais segura.

O objetivo básico do presente trabalho reside na ideia de se adequar água armazenada em cisternas para consumo humano, por meio, inicialmente, da remoção das impurezas mais grosseiras como sólidos (argila, areia e outros), seguida da remoção de patógenos. Neste trabalho foi avaliada a eficiência de quatro diferentes arranjos de tratamento de água doméstico, sendo eles: (I) coador de pano + filtro de barro, (II) pote + filtro de barro, (III) filtro de barro e (IV) pote de barro, seguidos do pós-tratamento com a técnica de desinfecção solar, também conhecida como SODIS (abreviação do termo em inglês *SOLar Water DISinfection*). No Brasil (e em outros países em desenvolvimento), filtros e potes cerâmicos domésticos são muito utilizados em habitações isoladas em zonas rurais, em pequenas comunidades não dotadas de sistemas coletivos de abastecimento de água, e mesmo em áreas urbanas desenvolvidas quando não há garantia da qualidade da água fornecida por seus sistemas de abastecimento. Estudo desenvolvido pelo grupo de pesquisa da UFPE em Caruaru (ALVES *et al.*, *in press*) comprova, com uso de técnicas de biologia molecular para análise da água, que o filtro de barro tem capacidade de reter microrganismos patogênicos e promover o crescimento de biofilme com habilidade reportada de purificação de água. Por outro lado, a técnica SODIS ainda é pouco disseminada no Brasil. Os arranjos montados nesta pesquisa são bastante simples, de muito baixo custo, de fácil aquisição e podem ser replicados em todo o território nacional.

Neste contexto, portanto, insere-se a relevância do emprego das unidades domiciliares de tratamento de água, por se constituírem a última barreira, por vezes a única, na preservação da qualidade da água de chuva e promoção da saúde dos consumidores.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar tecnologias sociais para adequação da água armazenada em cisternas, para consumo humano.

### **2.2 Objetivos específicos**

- ✓ Monitorar a qualidade da água armazenada em três cisternas do semiárido pernambucano;
- ✓ Avaliar as variações do processo de desinfecção solar – SODIS, usados nos arranjos de tratamento, quanto: (i) à influência da agitação; e (ii) influência da coloração da garrafa;
- ✓ Avaliar o desempenho de quatro diferentes arranjos de tecnologia social para o tratamento domiciliar de água, na remoção de sólidos e patógenos presentes na água armazenada em cisternas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro

O Brasil está entre os países com maior disponibilidade hídrica mundial. No entanto, por conta de suas dimensões geográficas e condições climáticas diferenciadas, algumas regiões sofrem problemas graves de escassez de água, como o Nordeste e, mais especificamente, o semiárido (BRITO *et al.*, 2005).

A expressão semiárido normalmente é usada para descrever o clima e as regiões onde ocorrem precipitações médias anuais entre 250 e 500 mm e cuja vegetação é composta prioritariamente por arbustos que perdem as folhas nos meses mais secos ou por pastagens que secam na época de estiagem. Vegetações características de regiões semiáridas são, por exemplo, as estepes, como as do Cazaquistão, e a caatinga, presente apenas no nordeste do Brasil (CIRILO *et al.*, 2007). O semiárido brasileiro abarca os seguintes estados: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais.

Em vista da necessidade de reavaliar os limites da região semiárida, foi desenvolvida uma nova delimitação do semiárido brasileiro, proposta pelo GTI (Grupo de Trabalho Interministerial) e coordenada pelo Ministério da Integração (2005) tomando por base três critérios técnicos:

- I. precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
- II. índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e
- III. risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Com essa atualização, a área classificada oficialmente como semiárido aumentou de 892.309,4 km para 969.589,4 km, um acréscimo de 8,66%. Acrescentou, aos 1.031 municípios incorporados nos limites até então vigentes, outros 102 novos municípios. A Figura 3.1 apresenta os limites dos municípios inseridos na nova delimitação do semiárido nordestino.

**Figura 3.1** – Ilustração da delimitação do semiárido brasileiro.



Fonte: Ministério da Integração (MI, 2005)

Neste contexto, alguns autores, como Amorim & Porto (2001) relacionam a problemática da escassez de água nessa região com a irregularidade das chuvas e com má qualidade das águas disponíveis.

De acordo com Brito *et al.* (2005) o problema da escassez de água está, cada vez mais, ultrapassando as fronteiras do semiárido. Os autores contextualizam esta situação no âmbito de grandes metrópoles brasileiras como São Paulo, Fortaleza, Recife, Campina Grande, entre outras, que vêm utilizando alternativas para armazenar água de chuva para uso doméstico e na mitigação de problemas relacionados à drenagem urbana como forma de prevenção de alagamentos e inundações.

### 3.2 Sistema de captação e armazenamento de água de chuva

A água de chuva tem sido uma solução alternativa, na maior parte das vezes individual, de abastecimento em áreas rurais, principalmente em regiões áridas e semiáridas, locais em que as fontes disponíveis, como poços, rios e nascentes, dispõem de volume variável de água, sob efeito da sazonalidade (SILVA, HELLER & CARNEIRO, 2012). A difusão das técnicas de captação e armazenamento de água de chuva envolve além do caráter técnico, a aceitação e incorporação de práticas pela comunidade envolvida, conforme o setor de aplicação do recurso hídrico (uso humano, agricultura e/ou dessedentação animal). Sob este enfoque, Gnadlinger (2006) afirma que os técnicos apenas complementam, com seus conhecimentos e habilidades, a sustentabilidade destas tecnologias.

No Brasil, as iniciativas de reservação de água de chuva têm envolvido diversas organizações não governamentais e o Governo Federal, que objetiva a construção de cisternas no Semiárido Brasileiro (PÁDUA, 2013). Neste cenário se insere o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), que foi criado pelo Governo Federal, com o apoio do Ministério do Meio Ambiente (MMA), do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS), da Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA) e da Agência Nacional das Águas (ANA), dentre outras entidades (PÁDUA, 2013). Desde que surgiu, em 2003, até início de fevereiro de 2014, o P1MC construiu 519.722 cisternas, beneficiando mais de 2 milhões e 250 mil pessoas (ASA, 2014), e o Governo Federal expandiu o projeto para atingir o total de 1,5 milhão de cisternas no Programa Água para Todos (MI, 2011). Segundo Oliveira (2009) o P1MC procura garantir água de boa qualidade para consumo humano, diminuindo a incidência de doenças de veiculação hídrica, propondo a participação de toda a população beneficiada e levando em consideração as experiências de vida dos participantes. De acordo com Santos (2008) os fundamentos estabelecidos pelo P1MC são: implementação de políticas públicas voltadas para seca e identificação de modelos de desenvolvimento sustentável; desenvolvimento de alternativas tecnológicas destinadas ao aproveitamento das águas de chuva nas áreas rurais do Semiárido Brasileiro; disponibilização de técnicas acessíveis ao melhoramento dos sistemas de captação de água de chuva; e estímulo ao processo educativo de promoção da convivência sustentável com o semiárido.

Para o uso humano, Gnadlinger (2006) elucida que a captação de água de chuva necessita de um reservatório seguro e fechado, para que não haja vazamentos, nem evaporação ou poluição.

A utilização de cisternas como alternativa para armazenamento de água de chuva permite garantir água perto de casa e com qualidade boa para as necessidades básicas, como beber, realizar a higiene pessoal e cozinhar, sendo uma tecnologia simples, barata (quando comparada aos grandes reservatórios de abastecimento) e de fácil manuseio, destacando-se como alternativa viável de convivência com o semiárido (OLIVEIRA, 2009). Zhu *et al.* (2004) reiteram que o uso de cisternas é conveniente, pois fornece água no ponto de consumo, e os membros da família têm controle dos seus próprios sistemas. Sobre os sistemas mais encontrados no semiárido brasileiro, observa-se que após a água da chuva ser captada pelos telhados esta é conduzida pelas calhas instaladas aos tubos verticais que a direciona até o reservatório de armazenamento. Normalmente, este reservatório conhecido como cisterna, é construído com placas e apresenta formato cilíndrico, é coberto e semienterrado e pode apresentar capacidades de armazenamento variadas, sendo usuais as cisternas com capacidade de 16 m<sup>3</sup>. Este volume corresponde à quantidade suficiente para uma família de 5 pessoas beber e cozinhar, por um período de 6 a 8 meses (ZHU *et al.*, 2004). As placas da cisterna são pré-moldadas e construídas de cimento, sendo que a confecção destas e a montagem da cisterna são ambas realizadas pela própria comunidade.

Segundo PÁDUA (2013) as técnicas alternativas de abastecimento de água não devem compreender ações improvisadas, pois assim não se constituirão em soluções se falharem na garantia de fornecimento de água que atenda ao padrão de potabilidade em quantidade suficiente para assegurar boas condições de saúde à população e qualidade adequada. Além disso, deve-se considerar que ações que não envolvam a participação da comunidade dificilmente terão resultados positivos. Desse modo, é de suma importância a participação de diversos níveis de governo, dos usuários, de profissionais da saúde, religiosos, professores, ONGs e lideranças locais.

Zhu *et al.* (2004) destacaram as desvantagens relacionadas com o uso de cisternas, que incluem a oferta limitada e a incerteza de ocorrência das chuvas, e podem por isso, resultar numa alternativa pouco atraente para algumas agências do governo encarregadas de abastecimento de água potável nos países em desenvolvimento.

### 3.2.1 Legislação aplicável ao aproveitamento da água de chuva

Não existe no Brasil, no âmbito federal, uma legislação específica que trate da qualidade de água de chuva armazenada em cisternas para consumo humano. Por outro lado, além de legislações de âmbito estadual e municipal, existem instrumentos normativos que são bastante

úteis no estabelecimento de requisitos para o aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis. Alguns exemplos de leis municipais e estaduais estão indicados a seguir:

- ✓ Lei de São Paulo nº 13.276/2002 (SÃO PAULO, 2002): torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m<sup>2</sup>.
- ✓ Lei de Curitiba nº 10.785/2003 (CURITIBA, 2003): cria no Município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE e prevê condutas de captação, armazenamento e utilização de água proveniente da chuva. Segundo este documento, a mesma deve ser encaminhada à cisterna ou ao tanque, para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água tratada, proveniente da rede pública de abastecimento, tais como: rega de jardins e hortas, lavagem de roupa, veículos, vidros, calçadas e pisos.
- ✓ Lei do Rio de Janeiro nº 4.393/2004 (RIO DE JANEIRO, 2004) diz que:

[...] as empresas projetistas e de construção civil no Estado do Rio de Janeiro são obrigadas a prover coletores, caixa de armazenamento e distribuidores para água da chuva, nos projetos de empreendimentos residenciais que abriguem mais de 50 (cinquenta) famílias ou nos empreendimentos comerciais com mais que 50 m<sup>2</sup> de área construída no Estado do Rio de Janeiro.

[...] as caixas coletoras de água da chuva serão separadas das caixas coletoras de água potável, a utilização da água da chuva será para usos secundários como lavagem de prédios, lavagem de autos, molhação de jardins, limpeza, banheiros, etc., não podendo ser utilizadas nas canalizações de água potável.

- ✓ Lei de Pernambuco nº 14.572/2011 (PERNAMBUCO, 2011), que dispõe na seção I, referente às águas provenientes da chuva:

[...] a água das chuvas será captada na cobertura das edificações e encaminhada a uma cisterna ou tanque para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água potável proveniente do serviço de abastecimento público de água, tais como: rega de vegetação, inclusive hortas; lavagem de roupa; lavagem de veículos; lavagem de vidros, calçadas e pisos; lavagem de garagens e pátios; descarga em vasos sanitários; e combate à incêndios.

No que se refere aos instrumentos normativos, destacam-se a Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914 (BRASIL, 2011), e as normas da ABNT: NBR 15.527/2007, NBR 5.626/1998 e NBR 12.214/1992. A Portaria do MS Nº 2914 (BRASIL, 2011) estabelece que “toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água”. Como as cisternas constituem um sistema individual de abastecimento de água e, em geral, não há monitoramento de sua qualidade como ocorre em fontes de abastecimento público, se torna difícil garantir a qualidade da água das cisternas conforme os padrões estabelecidos na referida Portaria. Segundo a NBR 15.527 (ABNT, 2007) as águas de chuva captadas nas áreas urbanas devem ser utilizadas para fins não potáveis, como descarga em bacias sanitárias, irrigação de plantas, lavagem de veículos, calçadas e estabelecimentos, e ser utilizadas por indústrias desde que previamente tratadas. No âmbito desta Norma, recomenda-se ainda o uso de telas, grades e dispositivos de desvio para remoção dos resíduos dispostos ao longo do sistema de captação.

A NBR 5.626 (ABNT, 1998) dispõe sobre instalações prediais de água fria e prevê que o sol não deve ter acesso ao interior da cisterna e que o sistema deve ser independente do sistema de abastecimento de água potável. A NBR 12.214 (ABNT, 1992) sugere manutenção mensal de bombas e dispositivos de descarte e desinfecção, além de verificação de calhas e condutores duas vezes ao ano.

De acordo com Oliveira (2009) a grande dificuldade encontrada quando se aborda este tema está na área rural onde as águas de chuva armazenadas em cisternas são utilizadas para beber e cozinhar. Andrade Neto (2004) entretanto, afirma que, em regiões rurais, onde a água da chuva é utilizada para consumo, as medidas sanitárias de captação combinadas ao manejo adequado dos sistemas permitem preservar a água com melhor qualidade. Segundo o autor, dentre essas medidas algumas são muito simples: limpeza dos tetos, calhas e dutos; proteção da entrada da água na cisterna; limpeza da cisterna; uso de recipientes limpos ou bombas para a retirada da água; e desinfecção.

### 3.2.2 Qualidade da água de chuva

De acordo com Gnadlinger (2007) a qualidade de qualquer água é determinada pela qualidade da fonte de água, por sua exposição a contaminantes durante o processo da produção (captação, armazenamento, tratamento) e pela forma como a mesma chega ao consumidor. Ainda segundo o autor, para garantir água de beber segura, precisa-se de uma estratégia ampla

que considere os riscos e o manejo de riscos em todas estas etapas. Assim a qualidade da água da chuva captada e armazenada em cisternas depende da pureza da atmosfera (que no Semiárido Brasileiro normalmente é boa); dos materiais usados para construir a área de captação; das impurezas depositadas na superfície do telhado, onde a exposição a raios ultravioletas, calor e dessecação no telhado já elimina grande parte de bactérias patogênicas; das calhas e bicas, que conduzem a água para a cisterna; da maneira como se retira a água da cisterna; do contato humano e do tipo de tratamento antes do consumo.

Águas de chuva captadas e armazenadas com a devida segurança sanitária são consideravelmente melhores e podem ser usadas para consumo humano (XAVIER *et al.*, 2009). Quanto maior o risco de contaminação, maior deve ser o rigor na proteção sanitária das cisternas (ANDRADE NETO, 2004).

Segundo Alves *et al.* (*in press*) não havendo limitação de abastecimento em relação ao regime pluviométrico e capacidade de armazenamento da água de chuva, pode-se considerar que os problemas observados no uso de cisternas referem-se principalmente à qualidade da água, sendo o manejo e o desvio das primeiras águas os principais componentes de sua deterioração. Visto que, entende-se que estas primeiras águas lavam a atmosfera e o telhado, arrastando impurezas anteriores à chuva e, portanto, devem ser descartadas. Dessa forma, a manutenção adequada de uma cisterna (inspeção e limpeza periódicas) e o desvio das primeiras águas constituem-se nas primeiras ações para garantir a qualidade da água de chuva armazenada em cisterna.

Evans, Coombes & Dunstan (2006) relatam que a partir de um ponto de vista microbiológico, existem dois modos distintos de contaminação das cisternas: pelo contato da água com o telhado, através das atividades de insetos, pássaros e pequenos mamíferos, ou por deposição atmosférica. Os autores têm dado ênfase no primeiro modo, e a possível introdução de organismos patogênicos ao sistema de armazenamento através da contaminação fecal da superfície de captação, reprodução de insetos, ou a deterioração dos organismos mortos e outros restos orgânicos.

Estudos realizados por Gould (1999) e Lye (2002) identificaram vários agentes patogênicos em amostras coletadas nas cisternas, enquanto Dillaha e Zolan (1985) relataram que amostras coletadas no telhado das cisternas situadas em bacias hidrográficas de 10 ilhas da Micronésia apresentavam qualidade aceitável para beber e cozinhar. Heyworth (2001) afirma que as amostras coletadas das cisternas não apresentaram risco aumentado de doença

gastrointestinal quando comparado com as águas clorada e filtrada da rede pública de abastecimento

De forma geral, alguns parâmetros físico-químicos e biológicos podem ser utilizados como indicadores da qualidade da água do sistema de captação e armazenamento de água de chuva, conforme estudos realizados por diversos pesquisadores, como SILVA & OLIVEIRA (2001) e SILVA (2006). Os principais parâmetros físico-químicos são: cor, turbidez, sólidos dissolvidos, temperatura, sabor, odor, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, salinidade, acidez, alcalinidade, dureza e cloretos. Os parâmetros biológicos referem-se aos diversos microrganismos que habitam o ambiente aquático: bactérias do grupo coliformes, protozoários, algas e cianobactérias, além de vírus entéricos. Estes últimos parâmetros são bastante relevantes na possibilidade de transmitir doenças. Libânio (2010) afirma que o controle da qualidade da água de consumo para minimizar a possibilidade da transmissão de doenças fundamenta-se no emprego de organismos indicadores, pois o monitoramento individual dos microrganismos patogênicos seria inexecutável.

### 3.2.3 Importância das barreiras sanitárias

Segundo Pádua (2013) barreira de proteção sanitária é toda medida adotada com a finalidade de preservar ou melhorar a qualidade da água armazenada nas cisternas, incluindo medidas como desvio das primeiras águas de chuva, limpeza das cisternas, cuidados no manuseio da água, filtração e adoção de algum método de desinfecção. Xavier *et al.* (2009) destacam ainda a necessidade de se realizar a limpeza do telhado e dos dutos, bem como a proteção das entradas e saídas da água na cisterna, citando como exemplo desta última ação o uso de bomba para manuseio da água.

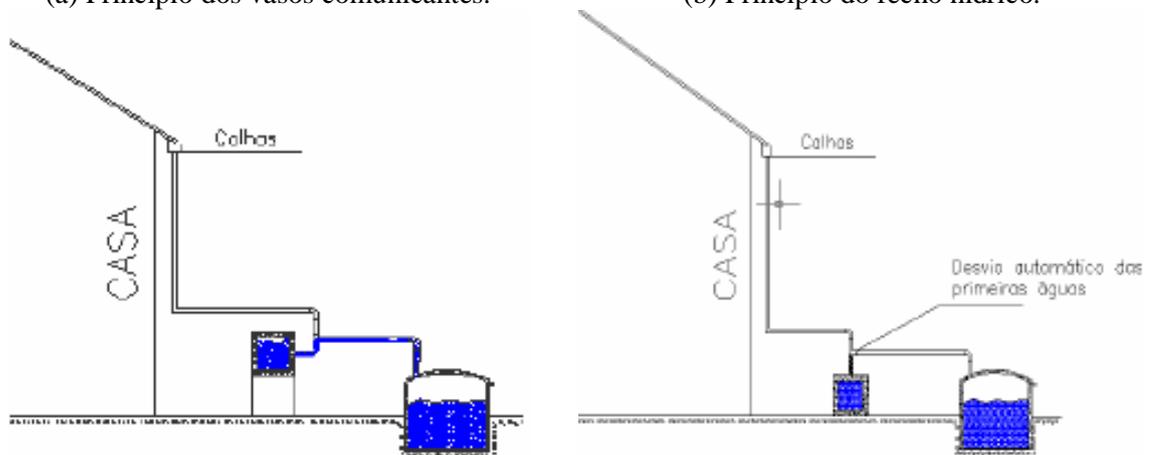
O desvio das primeiras águas de chuva pode ser realizado de forma manual ou automática. De acordo com Andrade Neto (2004) um dispositivo automático para desvio das primeiras águas de cada chuva é uma barreira física de proteção sanitária de cisternas de importância comparável à cobertura, tampa e tomada de água por tubulação. Tradicionalmente o desvio é realizado de forma manual, desconectando os tubos que transportam a água até a cisterna, conectando novamente após o descarte da água por um período de tempo. Por outro lado, alguns estudos apontam a praticidade e segurança relacionados com o descarte automático, que é possível com a instalação de um dispositivo específico para este fim. Existem alguns tipos de dispositivos, automáticos ou não, para o desvio das primeiras águas dos telhados, que difere entre si pelo princípio físico de funcionamento, dentre eles se destacam: aqueles fundamentados

no princípio do fecho hídrico e aqueles fundamentados no princípio dos vasos comunicantes (Figura 3.2). Segundo Souza (2009) em ambos os tipos de desvios, à medida que o telhado é lavado, processa-se o acúmulo de água no tanque do desvio, e só após este estar completamente cheio, é que a água vai para a cisterna. É fundamental que, depois de cada evento chuvoso, o tanque de desvio seja esvaziado, através de uma tubulação de descarga, a qual deve ser novamente fechada permitindo o funcionamento adequado do dispositivo para o desvio automático das primeiras águas do próximo evento chuvoso.

**Figura 3.2** - Esquema de dispositivos de descarte das primeiras águas de chuva com diferentes princípios de funcionamento.

(a) Princípio dos vasos comunicantes.

(b) Princípio do fecho hídrico.



Fonte: Souza (2009).

Lima (2012) desenvolveu um dispositivo de desvio automático de águas de chuva, apresentando tecnologia simples, custo baixo e fácil instalação, conforme ilustrado na Figura 3.3. Tal dispositivo é constituído por tubos de PVC e consiste em um sistema de armazenamento da água de chuva que precede a entrada da cisterna e para o qual são desviadas automaticamente as primeiras águas de cada chuva (o primeiro milímetro). Após o enchimento deste pré-tanque, a água “limpa” abastece a cisterna propriamente dita.

**Figura 3.3** - Ilustração do dispositivo de desvio das primeiras águas desenvolvido pelos pesquisadores da UFPE.



Legenda: A – telhado; B – dispositivo de desvio em PVC; C – cisterna.

Fonte: Lima (2012).

No tocante ao tipo de desvio, Rodrigues *et al.* (2007) afirmaram que a eficiência do desvio de forma manual pode ser contestada pela falta de controle da quantidade de água descartada na primeira chuva, de maneira que a superfície de captação pode não ficar satisfatoriamente limpa. Outro inconveniente relatado pelos autores é a eventual ausência dos moradores quando ocorre a primeira chuva ou estão impossibilitados de fazerem a remoção da calha, como em alguns casos de idosos e de crianças.

Andrade Neto (2004) e Xavier *et al.* (2009) afirmam existir duas estratégias no tocante ao manejo: o desvio das primeiras chuvas e o desvio das primeiras águas de cada evento chuvoso. A primeira é a mais frequentemente usada em locais onde a poluição atmosférica é baixa e o período chuvoso é concentrado em determinada época do ano, a exemplo da zona rural do Semiárido Brasileiro. Desse modo, é realizado o descarte das chuvas apenas no início do período chuvoso, pois sua concentração temporal levanta a premissa de que o telhado, após as chuvas iniciais, estará limpo, não sendo mais necessário realizar o desvio. A outra estratégia refere-se ao desvio das primeiras águas de cada chuva, independente da sua distribuição temporal. Esse tipo de abordagem é mais utilizado em regiões onde a poluição atmosférica é maior, como centros urbanos, onde todos os eventos chuvosos têm elevado potencial de contaminar a água da cisterna. Porém, para evitar o carreamento de impurezas até as cisternas, é aconselhável seguir a segunda estratégia, mesmo se tratando do Semiárido Brasileiro.

Com relação à retirada da água da cisterna, tradicionalmente a mesma é realizada imergindo um recipiente no interior do reservatório e aí, recorrentemente, acontecem uma ou

ambas formas de contaminação do recipiente: através de usuários com hábitos de higiene não adequados no momento do manuseio e através da exposição do recipiente próximo à criação de pequenos animais domésticos (galinhas, porcos, gatos, cachorros). Sendo assim, neste cenário, a bomba manual (Figura 3.4) constitui também uma importante barreira sanitária, mas, por outro lado, seu uso enfrenta considerável resistência, pois, segundo Pádua (2013) a vazão da bomba é baixa, aumentando o tempo gasto na retirada da água e, por isso, os moradores preferem utilizar recipientes ou outros vasilhames. Além disso, há o relato de que as bombas estragam com frequência.

**Figura 3.4** – Bomba manual a ser instalada.



Fonte: Banco de dados do Laboratório de Engenharia Ambiental da UFPE.

### **3.3 Tratamento de água**

Para obtenção de uma água dentro dos parâmetros estabelecidos para água de consumo humano, poderá ser necessária a correção de algumas de suas propriedades, de modo a atingir os padrões específicos para a obtenção da qualidade mínima correspondente. Daí a necessidade na maioria das vezes, do tratamento das águas, captadas em mananciais superficiais ou subterrâneos (PIVELI & KATO, 2005).

A potabilização das águas naturais para fins de consumo humano tem como função essencial adequar a água bruta aos limites físicos, químicos, biológicos e radioativos estabelecidos pela Portaria do MS Nº 2914 (BRASIL, 2011), tornando a água tratada incapaz de transmitir doença de veiculação hídrica à população abastecida (LIBÂNIO, 2010). Ainda de

acordo com o autor, o tratamento da água consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais, de matéria orgânica, de microrganismos e de outras substâncias possivelmente deletérias à saúde humana, porventura presentes nas águas naturais, aos menores custos de implantação, operação e manutenção, e gerando o menor impacto ambiental nas áreas circunvizinhas.

A Portaria do MS Nº 2914 (BRASIL, 2011) estabelece que toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema, ou solução alternativa individual ou coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água.

Libânio (2010) afirma que as tecnologias de tratamento da água para consumo humano apresentam, basicamente, três fases nas quais processos e operações unitárias hão de inserir: clarificação, filtração e desinfecção. A clarificação, que abarca as etapas de coagulação, floculação e decantação/flotação, presta-se primordialmente à remoção dos sólidos suspensos e de parcela dos sólidos dissolvidos. À subsequente filtração cabe essencialmente a remoção de sólidos dissolvidos, de microrganismos, tais como bactérias e cistos, e oocistos de protozoários. Por fim, à desinfecção cumpre inativar os microrganismos ainda presentes, como bactérias e vírus.

### **3.4 Tecnologia social**

O surgimento da Tecnologia Social (TS) ocorre no Brasil como uma tecnologia alternativa à convencional e tem recebido essa designação desde início da presente década. Dela participam atores preocupados com a crescente exclusão social, precarização e informalização do trabalho (DAGNINO, 2010). Já o ITS (2010) a define como um conjunto de técnicas e metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida. Fernandes & Maciel (2010) ressaltam que as TS sempre consideram as especificidades das realidades locais e que estão diretamente relacionadas aos processos de organização coletiva e democrática; acabam, portanto, representando soluções para a superação de diferentes situações problemáticas de vulnerabilidade e exclusão social, incidindo, assim, na melhoria das condições de vida daqueles atores envolvidos com a respectiva TS.

Segundo Costa (2013) as TS apresentam-se como alternativas modernas, simples e de baixo custo para a solução de problemas estruturais das camadas mais excluídas da sociedade. Nelas podem-se encontrar soluções efetivas para temas como a educação, meio ambiente,

energia, alimentação, habitação, água, trabalho e renda, saúde, entre outros. As TS alicerçam-se em duas premissas fundamentais para sua propagação: a participação das pessoas que as desenvolvem e a sustentabilidade nas soluções apresentadas.

Dagnino (2010) relata que se entende a TS como compreendendo produtos, técnicas e/ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que representem efetivas soluções de transformação social. O autor define as seguintes características desta tecnologia:

- Adaptada a pequeno tamanho;
- Liberadora do potencial físico e da criatividade do produtor;
- Não discriminatória (patrão *versus* empregado);
- Orientada para o mercado interno de massa; e
- Ela deve ser adaptada ao reduzido tamanho físico e financeiro.

Uma TS muito conhecida já incluída em políticas públicas de abastecimento humano é a Cisterna de Placas, relata Fernandes & Maciel (2010) e Costa (2013). Trata-se de uma metodologia simples, desenvolvida em interação com a comunidade e que há mais de 10 anos vem sendo reaplicada por entidades da sociedade civil ligadas à Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA) para minimizar o problema da seca no Nordeste. É um caso emblemático, que demonstra como o saber popular virou política pública e gera cidadania.

No ano de 2013 o “Dispositivo automático para proteção da qualidade da água de chuva das Cisternas”, que faz o desvio automático das primeiras águas de chuva, permitindo que impurezas introduzidas na água da chuva durante a lavagem da atmosfera e superfície de captação (telhado e calhas) sejam desviadas e não atinjam as cisternas, foi certificado pela Fundação Banco do Brasil como tecnologia social (<https://www.fbb.org.br/tecnologiasocial/banco-de-tecnologias-sociais/pesquisar-tecnologias/detalhar-tecnologia-204.htm>). O dispositivo foi desenvolvido por Lima (2012) na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Os resultados do projeto foram exibidos no Jornal Nacional em 03/11/2011 (<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2011/11/dispositivo-protege-qualidade-de-agua-da-chuva-armazenada-em-cisternas.html>), e nesta reportagem, em seu depoimento, a Sra. Maria revela que depois que a UFPE instalou o dispositivo de desvio na sua residência, a família não sofreu mais com “dor de barriga”. Esse depoimento demonstra como uma tecnologia social pode beneficiar milhares de brasileiros, levando saúde às famílias que consomem água de chuva armazenada em cisternas.

### 3.4.1 Tecnologia social aplicada ao tratamento de água doméstico

Tecnologias sociais aplicadas ao tratamento de água para uso doméstico são quaisquer variedades de tecnologias, dispositivos ou métodos utilizados para os fins de tratamento de água, em nível doméstico ou no ponto de uso em outros ambientes, como escolas, centros de saúde e outros da comunidade (WHO, 2011). Tais tecnologias permitem que as pessoas assumam a responsabilidade pelo tratamento e armazenamento seguro da sua própria água, sendo já provado ser uma maneira econômica para melhorar significativamente a saúde e prevenir doenças relacionadas ao consumo de água contaminada (WHO, 2011).

As TS para o tratamento dessas águas para uso doméstico podem ser utilizadas, sobretudo por comunidades rurais e/ou dotadas de poucos recursos. Fazendo-se uma analogia ao tratamento de água que ocorre na Estação de Tratamento de Água (ETA), pode-se perceber a aplicabilidade das TS no tratamento de água. Os processos de uma ETA convencional, que possui as etapas de sedimentação, filtração e desinfecção, podem ser transferidos, em escala reduzida e simplificada, para uma comunidade rural, utilizando TS. A sedimentação pode ser realizada em potes de barro. A filtração em filtros de pano, de vela ou de areia. E a desinfecção pode ser realizada utilizando hipoclorito de sódio, ou ainda, radiação solar, também conhecido como SODIS.

Tendo em vista que o fornecimento seguro de água potável é essencial para garantir a saúde da população, Clasen *et al.* (2004) relata que a Organização Mundial da Saúde (OMS) tem patrocinado pesquisas baseadas em intervenções simples e de baixo custo para famílias e comunidades que sejam capazes de melhorar a qualidade microbiológica da água armazenada nas casas, reduzindo desta maneira os riscos de doenças diarreicas e morte.

Visando ampliar e contribuir com os estudos que estão sendo realizados nessas áreas, a presente pesquisa traz uma análise da possibilidade de utilização de Tecnologias Sociais voltadas ao tratamento de água doméstico. Tecnologias estas de baixo custo, como preconiza o conceito, de fácil replicabilidade e que envolve a participação da sociedade.

### 3.4.2 Tipos de tratamentos de água doméstico

#### 3.4.2.1 Sedimentação em pote

A sedimentação é um processo físico de tratamento da água que objetiva sedimentar os sólidos suspensos na água, por influência da gravidade. A sedimentação em pote de barro (Figura 3.5) consiste em deixar água em repouso dentro do pote, até que as partículas sólidas sedimentáveis se depositem no fundo do recipiente.

**Figura 3.5 - Pote de barro.**



Fonte: Autor.

No transporte até o pote, a água pode entrar em contato com recipientes e mãos que não estejam adequadamente asseados. Nas casas, grande parte dos recipientes de água não tem torneira na base, sendo a água para consumo retirada por canecas ou outros utensílios que são imersos na abertura superior do pote que, de forma geral, está coberto. Por isso, para evitar contaminação deve-se separar uma caneca limpa para uso exclusivo nestes recipientes, além da higienização adequada das mãos que irão realizar a coleta de água.

#### 3.4.2.2 Filtração em pano e fervura

Uma forma simples de adequar a qualidade da água em ambiente doméstico é filtrá-la e, depois, fervê-la. Para filtrar a água, pode ser usado como filtro doméstico, um coador de pano (Figura 3.6) ou um pano limpo. Na filtração, são removidas as partículas sólidas de dimensões maiores que as do material filtrante.

**Figura 3.6 – Coadores de pano.**



Fonte: Autor.

A fervura é um dos métodos mais seguros de tratamento para água de beber, em áreas desprovidas de outros recursos. Há indícios de que o uso de água fervida já era recomendado em 500 a. C., mas alguns historiadores julgam que esta prática era adotada desde o começo da civilização, afirma Laubusch (1971, *apud* MEYER, 1994). A fervura da água a 100° C durante cerca de 20 minutos é um processo de desinfecção simples e eficaz, pois pode exterminar a maioria dos microrganismos, podendo ser feito em qualquer tipo de fogão, com o auxílio de uma panela limpa. É preciso aguardar o momento em que a água entra em ebulição, para depois iniciar a contagem do tempo em que ela deverá permanecer ao fogo, para assegurar a exposição necessária destes patógenos às altas temperaturas. Porém, é preciso ter alguns cuidados, como por exemplo, após ferver a água, não deixá-la em um recipiente aberto, para evitar contaminação por partículas suspensas na atmosfera. O indicado é esperar apenas que a água esfrie para ser consumida em seguida.

Segundo Herculano (2012) a água fervida perde o ar dissolvido e, em consequência, torna-se de sabor desagradável. Para fazer desaparecer esse sabor, é necessário arejar a água. Essa aeração pode ser obtida agitando a água com uma colher ou transferindo-a de um recipiente (limpo) para outro recipiente (limpo) várias vezes. Desta forma, esse processo permite que a água receba o oxigênio suficiente.

Entretanto, a fervura também apresenta desvantagens, e uma delas é a possibilidade de que os compostos inorgânicos ainda persistam na água. Outra desvantagem é que a fervura de grandes quantidades de água pode ser muito demorada, possibilitando a queima de grandes quantidades de combustível lenhoso, que é uma das principais fontes de energia das comunidades mais isoladas, além do alto custo (HERCULANO, 2012). Mesmo apresentando estas desvantagens, a fervura da água deve ser difundida na população quando não houver

confiabilidade na sua qualidade, além de poder ser usada em épocas de surtos epidêmicos ou de emergência.

#### 3.4.2.3 Filtro de barro

Segundo CEPIS (1973, *apud* BORGES, 2000) na França, nos séculos XVIII e XIX, foi bastante difundido o uso de filtros de esponjas, panos, lã e outros materiais. Quando se usavam somente filtros domésticos, a água filtrada não era distribuída em canalizações, mas sim vendida ao consumidor em galões. Foi assim que surgiram as primeiras companhias de água, que tinham caráter privado. A partir de 1856 apareceram na França os filtros de pressão "Fonvielle" e "Souchon". Mas foi na Inglaterra, em 1804, onde se pensou, pela primeira vez em fazer uma instalação de filtros que fornecessem água para toda uma população, afirma o autor.

O filtro de barro é um filtro de gravidade: a água a ser filtrada passa através da vela e goteja do recipiente superior para o inferior do filtro, ficando ali armazenada para o consumo. As vantagens do filtro de barro são bem conhecidas: esfria a água de modo natural, sem gasto de energia elétrica; apresenta custo de manutenção baixíssimo, dentre os produtos para consumo doméstico de água; tem uma durabilidade praticamente ilimitada, sendo necessária apenas a troca ou limpeza das velas, a cada seis meses (BELLINGIERI, 2006). A vantagem do filtro de barro é que o mesmo não necessita de instalação hidráulica nem elétrica, mas mesmo assim mantém a água sempre fresca porque a parede do filtro é porosa, permitindo que algumas moléculas de água de dentro do filtro passem para o lado externo; quando essas moléculas evaporam, elas trocam calor das moléculas de dentro do filtro, esfriando assim a água (DIAS, 2008).

De acordo com Gusmão (2013) existem dois tipos de filtros utilizados nas residências: os filtros por gravidade e os filtros de pressão. Os filtros por gravidade, que incluem os filtros de cerâmica (Figura 3.7) são constituídos por um reservatório cilíndrico superior, onde é instalado o elemento filtrante (que funciona de forma contínua) e um reservatório cilíndrico inferior, onde fica armazenada a água filtrada. Os tamanhos encontrados no mercado variam de 4 a 16 litros de capacidade, não devendo ser menores, pois, como utilizam a gravidade para filtração da água, é a própria carga hidráulica da água que exerce pressão sob a superfície do elemento filtrante (DIAS, 2008). Já os filtros de pressão (Figura 3.8) são aqueles conectados diretamente à canalização de água da residência e têm carcaça externa feita de material plástico. São bem menores, por utilizar a pressão da rede de água residencial. Sendo assim, podem ter praticamente o tamanho do elemento filtrante.

**Figura 3.7** – Filtro de cerâmica, do tipo gravidade.



Fonte: Autor.

**Figura 3.8** – Filtro do tipo pressão.



Fonte: Gusmão (2013).

O elemento filtrante utilizado nos filtros cerâmicos, também conhecido como vela cerâmica, constitui-se numa peça de forma cilíndrica, oca, com paredes filtrantes em material cerâmico poroso (Figura 3.9). O elemento filtrante pode ser fabricado em vários materiais, desde cerâmicas até polímeros que necessitam de alta tecnologia para serem fabricados.

**Figura 3.9** - Vela cerâmica utilizada como elemento filtrante nos filtros de barro.

(a) Vista externa da vela cerâmica.



(b) Interior da vela cerâmica.



Fonte: Gusmão (2008).

A NBR 16098 (ABNT, 2012) trata dos equipamentos para melhoria da qualidade da água para consumo humano. Refere-se aos requisitos e métodos de ensaio, de acordo com a legislação em vigor para consumo humano, neste caso a Portaria do MS Nº 2914 (ABNT, 2011). Aplica-se aos equipamentos por pressão e gravidade. Esta norma especifica os requisitos para os aparelhos domésticos destinados a melhorar as características químicas, físicas e microbiológicas da água para consumo humano.

A fabricação do elemento filtrante no Brasil resulta em uma cerâmica com poros de pequenas dimensões. As velas cerâmicas fabricadas têm poros com tamanhos médios entre 0,8 e 4,0 micra, daí serem também denominadas velas cerâmicas microporosas. As bactérias encontradas nas águas têm, em sua maioria, dimensões entre 1,0 e 8,0 micra, de modo que essas velas cerâmicas são capazes de reter fisicamente parcela desses microrganismos, apenas em decorrência das pequenas dimensões de seus poros (GUSMÃO, 2008).

Estudo desenvolvido por Alves *et al.* (*in press*) indicou que o filtro de cerâmica apresenta boa capacidade de adequação da qualidade da água armazenada em cisternas para consumo humano. Os autores afirmam que o filtro de cerâmica foi eficiente em remover partículas sólidas, bem como em reduzir a contaminação por microrganismos patogênicos. Entretanto, Heierli (2008) relata que um dos problemas do filtro de cerâmica é o perigo da recontaminação, especialmente se a tampa do recipiente estiver infectada. Desta forma, pode-se afirmar que apesar da eficiência comprovada dos filtros de cerâmica, é necessário que se tenha cuidado no manejo da água e no local onde ficam armazenados os filtros, para evitar uma possível recontaminação.

Gusmão (2013) relata que no Brasil e em outros países em desenvolvimento, filtros cerâmicos são utilizados em habitações isoladas em zonas rurais, em pequenas comunidades

não dotadas de sistemas coletivos de abastecimento de água, e mesmo em áreas urbanas desenvolvidas quando não há garantia da qualidade da água fornecida por seus sistemas de abastecimento de água.

A eficiência na redução de microrganismos patogênicos de filtros cerâmicos fabricados em países desenvolvidos, tais como Reino Unido e Estados Unidos da América, tem sido extensivamente testada e muitos tem sido certificado por seu elevado desempenho (SOBSEY, 2002). Ceballos, Souza & Konig (1993) avaliaram alguns métodos simples de tratamento domiciliar de água comumente empregados na região Nordeste do Brasil, dentre esses o filtro de barro com velas cerâmicas. No estudo realizado, esse equipamento apresentou eficiências de remoção bacteriológica variando entre 93 e 100 %, destacando-se como um importante mecanismo de tratamento para as águas daquela região, muitas vezes provenientes de açudes, barreiros, poços e cacimbas, portanto, quase sempre desprovidas de algum tratamento. Segundo os autores, o principal mecanismo foi a retenção das partículas nos poros do elemento filtrante, sendo os melhores resultados obtidos em águas de baixa contaminação bacteriológica e turbidez elevada.

Por outro lado, o grande número de tipos de filtros e a ausência ou variedades de informações à respeito dos cuidados no manuseio, dificultam o correto uso deste equipamento pelos consumidores (SILVA *et al.*, 2009), e conseqüentemente, seu uso incorreto pode ocasionar contaminação da água. Em entrevistas realizadas com quatro grupos de dez moradores no município de Vitória – ES, com relação a hábitos domiciliares incorretos no manejo da água de consumo humano, Silva *et al.* (2009) constataram que a limpeza do reservatório de água domiciliar é uma questão importante para os entrevistados, pois a maioria (32/40) mostra ter consciência da importância desse procedimento para a garantia da qualidade da água recebida do sistema. Mas, infelizmente, ninguém a faz em conformidade com as recomendações, podendo eventualmente colocar em risco a saúde da família.

Os ensaios de campo utilizando dispositivos de filtração em cerâmica têm sugerido que eles fornecem uma barreira eficaz contra os indicadores de patógenos microbianos em água e que as intervenções estão associadas com ganhos significativos para a saúde em usuários, quando comparado com os não usuários das tecnologias (WHO, 2011). Heierli (2008) afirma que vários estudos testaram a eficiência do filtro, tanto em laboratório, quanto em campo, e concluíram que os filtros de cerâmica são capazes de remover quase 100% dos organismos bacterianos causadores de doenças, demonstrando assim sua eficiência para o tratamento da

água, em ambiente doméstico, principalmente nas regiões desprovidas de rede de abastecimento de água.

#### 3.4.2.3.1 Formação de biofilmes

Os biofilmes definidos como comunidades de microrganismos imobilizados conjuntamente numa matriz de substâncias poliméricas extracelulares de origem microbiana, representam a parte maioritária de toda a vida microbiana, tanto em quantidade como em termos de atividade (XAVIER *et al.*, 2003). Um biofilme forma-se naturalmente em qualquer superfície sólida em contato com água não esterilizada. Os autores afirmam que os biofilmes têm importância em várias atividades humanas. Estações de tratamento de águas ou de efluentes podem remover organismos patogênicos e reduzir a quantidade de matéria orgânica na água ou efluente através de interação com biofilmes.

Através de análise do DNA da população microbiana presente na água de cisterna após passar pelo filtro de cerâmica, Alves *et al.* (*in press*) constataram que populações microbianas com habilidade de purificar a água se desenvolveram no interior do filtro de cerâmica.

A formação de biofilmes já foi constatada ao redor da superfície das velas cerâmicas nos filtros de barro. Supõe-se que estes biofilmes formados sejam responsáveis, assim como a porosidade existente nas velas, pela remoção dos contaminantes biológicos contidos em determinadas águas de consumo. Diversos estudos têm mostrado que essa película biológica que se desenvolve na superfície da vela cerâmica contribui positivamente para aumentar a eficiência da filtração (GUSMÃO, 2008). No entanto, se essa película ficar muito espessa, haverá dificuldade para a passagem da água através da vela cerâmica. Portanto, a remoção dessa película (lavagem da vela) é necessária, mas só deverá ser realizada quando for constatada grande redução na produção de água filtrada. Vários estudos têm revelado que a lavagem da vela cerâmica deve ser realizada tendo-se o cuidado de não se usar material abrasivo, para que não ocorra remoção total da película biológica, além de danificar a vela. Isso permitirá o desenvolvimento mais rápido dessa película quando, posteriormente, a vela for novamente colocada em funcionamento.

Em contrapartida às vantagens descritas acima, Xavier *et al.* (2009) afirmam que o crescimento não desejado de biofilmes tem um impacto negativo em várias atividades. Estragos em equipamento através da biocorrosão causada por biofilmes, contaminação de produtos, perdas energéticas relacionadas com o aumento de atrito, resistência acrescida à transferência de calor e perdas de pressão são alguns dos efeitos adversos da acumulação de biofilmes

microbianos citados pelos autores e representam perdas significativas para as indústrias a nível global.

#### 3.4.2.4 Desinfecção

A desinfecção constitui-se praticamente na última etapa do tratamento relacionada ao objetivo de produzir água de consumo isenta de microrganismos patogênicos, cuja inativação realiza-se por intermédio de agentes físicos e/ou químicos. Libânio (2010) ressalta a distinção entre os termos inativação, remoção e esterilização conforme descrito a seguir. No primeiro, os microrganismos pela ação do desinfetante tornam-se incapazes de se reproduzir, ou de transmitir qualquer enfermidade, estando portanto inativos. A remoção consiste na retirada dos microrganismos da massa líquida, sucedendo nas mencionadas etapas que precedem a desinfecção. A esterilização consiste no extermínio de qualquer forma de microrganismo, patogênico ou não, presente na água, passível de ser mais alcançada – em determinadas circunstâncias – por alguns desinfetantes utilizados no tratamento e mais facilmente por meio da fervura ou radiações ionizantes.

De acordo com Daniel *et al.* (2001) e Gomes (2011) o agente químico mais usual para desinfetar a água é o cloro ( $\text{Cl}_2$ ) e seus compostos, como hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio. Existem outros desinfetantes químicos considerados alternativos como o dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ), a mistura ozônio/peróxido de hidrogênio ( $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ), o íon ferrato ( $\text{FeO}_4^{2-}$ ) e o ácido peracético ( $\text{CH}_3\text{COOOH}$ ) e outros agentes em fase de pesquisa e desenvolvimento.

Gomes (2011) destaca que a escolha do desinfetante a utilizar no tratamento de água para consumo humano é também muito importante, pois além deste ter que eliminar os microrganismos presentes na água, tem também que garantir que do processo não resultem produtos prejudiciais à saúde humana. Assim, o desinfetante a utilizar deve atender as seguintes condições:

- Ser tóxico, em baixas concentrações, para os microrganismos;
- Não ser tóxico para os seres humanos e animais;
- Ser solúvel em água;
- Ser eficaz às temperaturas normais da água de consumo (0 a 25°C);
- Ser estável, permitindo a manutenção de concentrações residuais durante longos períodos de tempo;
- Não reagir com outra matéria orgânica que não seja a dos microrganismos;

- Ser fácil de manipular;
- Minimizar a formação de subprodutos indesejáveis;
- Eliminar cheiros.

#### 3.4.2.5 Desinfecção solar – SODIS

A pesquisa com a desinfecção solar da água foi iniciada pelo Professor Aftim Acra na Universidade Americana de Beirute. O trabalho de Acra motivou a Associação de Sistemas de Energia Rural Integrada (Integrated Rural Energy Systems Association – INRESA) a lançar um projeto em rede em 1985. O Instituto de Suporte de Pesquisa (Brace Research Institute) em Montreal organizou um seminário em 1988 para rever os resultados desta pesquisa de campo. Em 1991 uma equipe multidisciplinar composta de engenheiros sanitaristas, fotoquímicos, bacteriologistas e virologistas da EAWAG (Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática) e SANDEC (Departamento de Água e Saneamento para Países em Desenvolvimento) elaborou um extenso teste de laboratório para avaliar o potencial do SODIS e desenvolver um método efetivo, sustentável e barato de tratamento de água. Esses testes revelaram que a tecnologia, por ser simples, de baixo custo e eficiente, pode melhorar a saúde de milhares de pessoas em todo o mundo que não possuem acesso à água de boa qualidade (EAWAG/SANDEC, 2002).

Nos países em desenvolvimento, o ônus da diarreia ainda é grande (GRAF *et al.*; 2010). Uma forma de reduzir transmissão de patógenos é por intervenções de qualidade da água. Desinfecção solar da água (SODIS) é um método de baixo custo e simples para melhorar a qualidade da água potável em nível doméstico. Botto (2006) afirma que uma das melhores técnicas de desinfecção de águas em regiões com pouca infraestrutura e sem recursos financeiros é o SODIS. A eficiência do método depende de fatores como: quantidade de água em cada recipiente; teor de sólidos em suspensão, refletido na turbidez; tempo de exposição ao sol; intensidade de radiação solar; temperatura máxima atingida pela água; agitação das garrafas durante o período de exposição; e material de aparato das garrafas. Kruti & Shilpa (2012) afirmaram que a desinfecção solar é uma tecnologia promissora para o tratamento de água microbiologicamente contaminada em áreas rurais de países em desenvolvimento.

O SODIS usa energia solar para a inativação de microrganismos patogênicos, causadores da contaminação da água, com isto melhorando a qualidade da água de beber. Os microrganismos patogênicos são vulneráveis a dois efeitos da luz solar: radiação no espectro da luz UV-A (comprimento de onda 320-400nm) e calor (aumento de temperatura da água). Há

uma combinação destes dois efeitos, que resulta em efeito conjunto muito maior que a soma dos efeitos em separado, significando que a inativação dos microrganismos aumenta quando eles são expostos simultaneamente a um aumento de temperatura e exposição à luz UV-A. Para que o SODIS seja realmente eficiente considerando água a temperatura de cerca de 30°C, uma intensidade de radiação solar de pelo menos 500 W/m<sup>2</sup> (todo o espectro de luz) durante aproximadamente 5 horas é requerida. Esta dosagem contém energia de 555 Wh/m<sup>2</sup> na gama de UV-A e luz violeta, 350nm-450nm (EAWAG/SANDEC, 2002). Elkarmi, Abu-Elteen & Al-Karmi (2008) comentam que enquanto os métodos simples estão disponíveis para clarificação da água ou remoção de sólidos suspensos, é normalmente a contaminação microbiana remanescente a que perdura, sendo o uso de radiação ultravioleta uma das técnicas que pode cumprir o requisito de baixo custo.

O processo funciona da seguinte maneira: deve-se lavar bem a garrafa de plástico antes de usá-la pela primeira vez; colocar a água na garrafa, sem enchê-la completamente; fechar a garrafa e agitar durante uns 20 segundos, para oxigenar a água; terminar de encher a garrafa, tampar e colocar ao sol por no mínimo 6 horas; depois de 6 horas, retirar a garrafa do sol, deixando-a esfriar, desta forma a água já estará pronta para beber; e caso o céu esteja nublado, as garrafas devem ficar expostas ao sol durante dois dias (EAWAG/SANDEC, 2006).

As garrafas podem ser armazenadas sobre qualquer lugar que esteja bem exposto ao sol. Porém, é indicado que não fique no chão, para protegê-las da brincadeira de crianças ou do acesso de animais. Uma boa ideia é colocar as garrafas no telhado (Figura 3.10) ou em outra superfície rígida suspensa. Lâminas de ferro como base para as garrafas trazem algum aumento da eficiência do SODIS, mas não são uma pré-condição para aplicação do método de tratamento da água. Wegelin *et al.* (1998) afirmaram que o tipo e a forma do material suporte onde os recipientes ficam expostos ao sol também podem influenciar na temperatura da água, conseqüentemente na taxa de inativação. De acordo com EAWAG/SANDEC (2006) quando metade da garrafa PET é pintada de preto no sentido de sua seção horizontal, e disposta com esta parte pintada voltada para baixo em uma peça de aço corrugada, cria-se um gradiente de temperatura, ocasionando um movimento circulatório da água que aumenta a eficiência do processo.

**Figura 3.10** – Garrafas expostas no telhado para aplicação do SODIS.



Fonte: Autor.

Os custos do SODIS são baixos, pois o investimento consiste somente nas garrafas PET e, dependendo do método, da pintura para escurecer a metade da garrafa, ou do uso de papel alumínio para maximizar o efeito ao concentrar a luz. Além disso, SODIS torna-se mais eficiente em água que contém níveis altos de oxigênio, pois estas moléculas reagem com estruturas celulares e inativam os agentes patogênicos (EAWAG/SANDEC, 2002). Testes realizados por Paterniani & Silva (2005) e Kruti & Shilpa (2012) utilizando a técnica SODIS, comprovaram a eficiência do concentrador solar e da aeração da água.

Apesar de ser um método simples e de baixo custo, Heierli (2008) afirma que sua utilização não é generalizada, sendo amplamente conhecida na América Latina, África e Ásia. No nordeste do Brasil, Félix *et al.* (2009) afirmam que a utilização de energia solar é tecnicamente possível, porque a intensidade solar na região é suficientemente favorável. Se a temperatura da água sobe acima de 50°C, o processo de desinfecção é cerca de três vezes mais rápido (HEIERLI, 2008). A tecnologia SODIS é um método de tratamento de água que leva vantagem de a energia solar ser abundante em muitos países em desenvolvimento (KEHOE *et al.*, 2001).

O método apresenta inúmeras vantagens, como: melhoria da qualidade microbiológica da água de beber; fácil entendimento e aplicação; poucos recursos requeridos (luz solar e garrafas plásticas); e redução da necessidade de fontes de energia tradicionais como lenhas e gás. Porém, possui algumas limitações como: requerimento de suficiente radiação solar; necessidade de água clara (turbidez máxima 30 NTU); e aplicação limitada a volume de 3 litros (garrafas largas não devem ser usadas, pois há uma redução da radiação UV-A quando a profundidade da água é maior que 10 cm). Se não for possível garrafas PET, podem-se utilizar garrafas de vidro caso estas tenham tampa e possam ser bem fechadas (EAWAG/SANDEC, 2002).

Félix *et al.* (2009) afirmam que fatores como a alta concentração inicial de coliformes totais e *E. coli*, o tempo de exposição solar, temperatura e turbidez da água devem ser levados em consideração para uma eficácia satisfatória no tratamento.

Tendo em vista que o sol é uma fonte natural, universalmente disponível e gratuita, tanto de calor como de radiação UV, é de se concluir que essa fonte pode ser bastante utilizada em um sistema de desinfecção de baixo custo, como é o caso do SODIS. Levando em consideração que a região em estudo localiza-se no semiárido pernambucano, com condições favoráveis ao processo, representa um método adequado para desinfetar pequenas quantidades de água para o consumo doméstico em pequenas comunidades, eliminando assim os patógenos causadores de enfermidades hídricas.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Abrangência da pesquisa

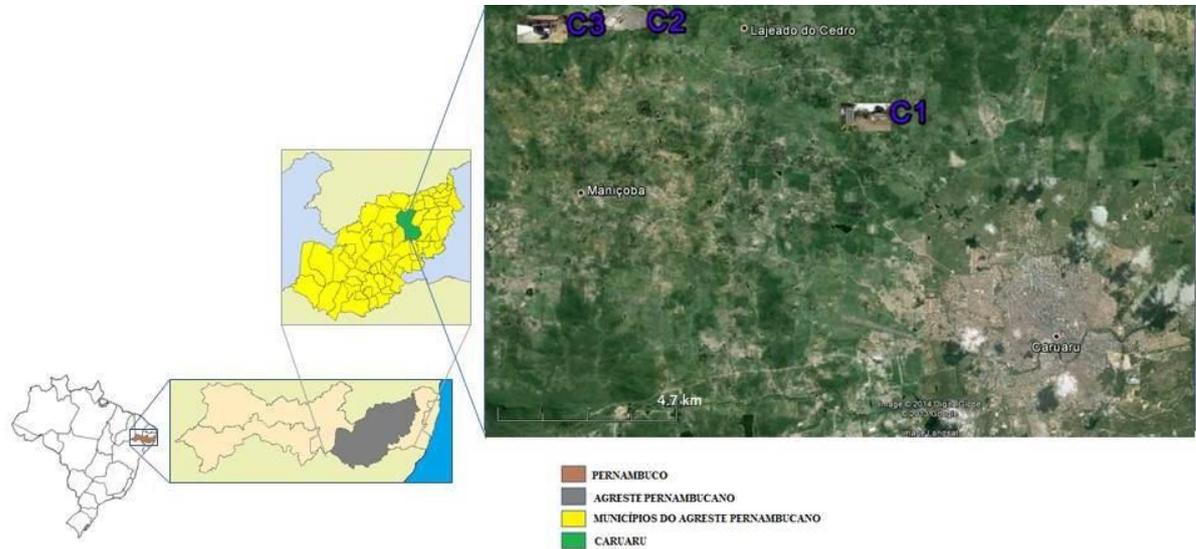
Esta pesquisa dá continuidade ao estudo iniciado em 2006 pelo grupo de cisternas do Centro Acadêmico do Agreste da UFPE (CAA). A pesquisa foi dividida em três etapas distintas, sendo realizada parte dela em escala real, na zona rural de Caruaru – PE e outra em laboratório experimental montado no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), conforme descrito na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** – Descrição das atividades e escala de cada etapa.

Etapa	Objetivo	Escala
Etapa 1	Monitorar a qualidade de água armazenada em cisternas	Real
Etapa 2	Avaliar as variações do processo de desinfecção solar – SODIS	Laboratório
Etapa 3	Avaliar o desempenho de quatro diferentes arranjos de tratamento domiciliar e utilizar o SODIS como pós-tratamento	Laboratório

O município de Caruaru está localizado na unidade Geoambiental da Província de Borborema, na Microrregião do Vale do Ipojuca, Mesorregião do Agreste Pernambucano, estado de Pernambuco. Está situado a 130 km da capital do estado, Recife. Os municípios limítrofes são Brejo da Madre de Deus e São Caetano, a oeste; Toritama, Vertentes e Frei Miguelino, a norte; Riacho das Almas e Bezerros, a leste; e Altinho e Agrestina, a Sul. Com uma população estimada de 337.416 habitantes (IBGE, 2013), representa o quarto maior município do Estado, com cerca de 90,6% da população vivendo na zona urbana. A altitude média é de 554 metros acima do nível do mar. Apresenta clima tropical do tipo semiárido, com temperatura média anual de 23,7°C, possuindo verões quentes e secos e invernos amenos e chuvosos, além de índice pluviométrico médio de 484 mm. As vegetações nativa e predominante no município são a Mata Atlântica e Caatinga. A Figura 4.1 ilustra o Estado de Pernambuco, com destaque para o Agreste Pernambucano, o município de Caruaru e o vilarejo de Lajedo do Cedro, local onde estão situadas as cisternas monitoradas.

**Figura 4.1** – Localização do Estado de Pernambuco, com destaque para a região do Agreste Pernambucano, município de Caruaru - PE e as 3 cisternas monitoradas localizadas em Lajedo do Cedro - PE.



Fonte: Autor.

#### **4.2 Etapa 1: Monitoramento da qualidade de água armazenada em três cisternas do semiárido pernambucano**

O monitoramento da qualidade da água foi realizado em três cisternas de residências (C1, C2 e C3) localizadas na comunidade de Lajedo do Cedro, município de Caruaru-PE. A água armazenada devia ser exclusivamente de chuva. Porém, devido a períodos de estiagem e/ou escassez hídrica, os moradores abasteceram as cisternas com águas de outras fontes, transportadas por meio de carro-pipa, que geralmente não apresentam boa qualidade. Estas 3 cisternas escolhidas fazem parte do conjunto de cisternas monitoradas pelo grupo de cisternas da UFPE – CAA desde 2006. A escolha destas três cisternas foi baseada nos seguintes fatores: (i) maior volume armazenado de água nas cisternas durante o ano, por terem sido necessário para o estudo dos tratamentos, um volume de 25 L em cada coleta e (ii) disponibilidade dos moradores em participar desta pesquisa. Algumas características das 3 cisternas monitoradas podem ser visualizadas na Tabela 4.2. A Figura 4.2 ilustra as 3 cisternas monitoradas.

**Tabela 4.2 – Características das cisternas monitoradas.**

Características	Cisternas		
	C1	C2	C3
Início do monitoramento	out/11	abr/12	jan/12
Tempo de construção (anos) <sup>1</sup>	5 <sup>2</sup>	4	5
Número de usuários	2	4	2
Forma de desvio	Automático <sup>3</sup>	Automático <sup>4</sup>	Automático <sup>5</sup>
Manuseio da água	Bomba	Recipiente	Bomba <sup>6</sup>
Usos da água da cisterna	Cozinhar, lavar pratos e banho	Beber, cozinhar, lavar pratos e banho	Beber, cozinhar, lavar pratos e banho

<sup>1</sup>Tempo de construção em dez/2013.

<sup>2</sup>O morador não soube informar o tempo de construção exato, acredita que tem em torno de 5 anos.

<sup>3</sup>O desvio automático das primeiras águas de chuva foi instalado em junho/2013.

<sup>4</sup>O desvio automático das primeiras águas de chuva foi instalado em abril/12.

<sup>5</sup>O desvio automático das primeiras águas de chuva foi instalado em junho/2013.

<sup>6</sup>A bomba automática foi instalada em junho/2013.

**Figura 4.2 – Fotografia ilustrativa das cisternas monitoradas.**

(a) Cisterna C1, com DA e BM.



(b) Cisterna C2, com DA e sem BM.



(c) Cisterna C3, com DA e BM.



Legenda:

DA: desvio automático das primeiras águas.

BM: bomba manual para retirada da água.

Fonte: Autor.

Para as coletas foram utilizados recipientes de polietileno, com capacidade para 500 mL (análises bacteriológicas) e 1000 mL (análises físico-químicas), esterilizados em autoclave a

121°C e 1 atm por 15 minutos. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e encaminhadas para análise. O monitoramento das cisternas C1, C2 e C3 foi iniciado respectivamente em outubro/2011, abril/2012 e janeiro/2012, desta forma utilizou-se a série de dados armazenados, referente ao monitoramento da qualidade da água destas cisternas e prosseguiram-se as análises mensais até dezembro/2013. Os seguintes parâmetros físico-químicos e bacteriológicos foram analisados, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), em todas as amostras: pH, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), turbidez, alcalinidade total, cloretos, dureza total, sólidos dissolvidos totais (SDT), coliformes totais e *E. coli*. As metodologias utilizadas para análise de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, com seus respectivos limites estabelecidos pela Portaria do MS Nº 2914/2011 são apresentadas na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3** - Parâmetros monitorados, limites estabelecidos pela Portaria e metodologia utilizada no monitoramento da qualidade da água.

Parâmetros físico-químicos	Unidade	Limites Portaria Nº 2914/11	Método
pH	-	6,0 - 9,5	4500 - H+ B.
Condutividade	µS/cm	-	2510 B.
Oxigênio Dissolvido	mgO <sub>2</sub> /L	-	4500 - O G.
Turbidez	NTU	5	2130 B.
Alcalinidade total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	-	2320 B.
Cloretos	mgCl <sup>-</sup> /L	250	4500 - Cl <sup>-</sup> B.
Dureza total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	500	2340 C.
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000	2540 C.
Parâmetros bacteriológicos	Unidade	Limites Portaria Nº 2914/11	Método
Coliformes totais	UFC/100MI	Ausência em 100mL	9222 B.
<i>E. coli</i>	UFC/100MI	Ausência em 100mL	9222 D.

Fonte: Autor.

As análises bacteriológicas foram realizadas em capela de fluxo laminar (Figura 4.3) fazendo-se uso de kits CHROMOCULT de membranas filtrantes para investigação de *E. coli* e coliformes totais. Após o tempo de incubação (24h a 35°C), foi utilizado um contador manual de colônias para a contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC), conforme Figura 4.4.

**Figura 4.3** – Realização de análise bacteriológica em capela de fluxo laminar.



Fonte: Autor.

**Figura 4.4** – Contador manual de colônias.



Fonte: Autor.

### 4.3 Etapa 2: Avaliação das variações do processo de desinfecção solar – SODIS

Para a utilização da técnica de desinfecção solar – SODIS, utilizada na etapa 3 seguinte, como pós-tratamento das sequências de tratamentos domésticos, foram realizados 3 experimentos para avaliar os parâmetros que afetam a eficiência da desinfecção solar, quanto a:

- Influência da agitação: (i) garrafas com agitação; (ii) garrafas sem agitação;

- Influência da coloração da garrafa: (i) garrafas transparentes; (ii) garrafas cobertas de alumínio e (iii) garrafas com cobertura preta.

Visando verificar a influência da agitação e a influência da coloração da garrafa, experimentou-se o arranjo descrito a seguir. Foram utilizadas 10 garrafas de plástico transparente, com capacidade de 1,5 litros. As garrafas utilizadas no experimento são garrafas utilizadas para armazenamento de água. Antes de cada experimento as mesmas foram lavadas no laboratório com água e sabão, além de água destilada. Para secarem, as garrafas ficaram acomodadas nas bancadas do laboratório, com a abertura virada para cima e destampadas.

As 10 garrafas plásticas foram arranjadas desta maneira: 1 garrafa não foi exposta ao sol, pois foi utilizada como controle, a fim de avaliar a qualidade da água antes da exposição e as outras 9 foram expostas horizontalmente no telhado localizado na Unidade Experimental de Cisternas do CAA, e agrupadas considerando a particularidade do tipo de aparato: grupo transparente – 3 garrafas em que não foram envolvidas nenhum aparato; grupo alumínio - 3 garrafas cobertas parcialmente com alumínio; e grupo preta – 3 garrafas cobertas parcialmente com papel contato preto. Em cada um destes 3 grupos (transparente, alumínio e preta) houve outras três subdivisões: controle da temperatura, experimentos com agitação e experimentos sem agitação. Considerando-se que a luz solar produz uma alta reação na formação de oxigênio (radicais livres de oxigênio e peróxidos de hidrogênios) na água, estas moléculas reativas reagem com estruturas celulares e matam os agentes patogênicos. A aeração da água foi obtida ao se chacoalhar uma garrafa com  $\frac{3}{4}$  de seu volume ocupados com água por aproximadamente 20 segundos, antes de a garrafa estar completamente cheia e exposta ao sol. Desta maneira, o teste incluiu avaliar 2 variáveis: (i) influência da agitação e (ii) influência da coloração da garrafa. O arranjo das 9 garrafas que foram expostas ao sol pode ser visualizado na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4** - Arranjo das garrafas plásticas utilizadas no teste SODIS.

<b>Tipo de garrafa</b>	<b>CT</b>	<b>SA</b>	<b>CA</b>	<b>Total de garrafas</b>
Lisa (L)	1	1	1	3
Alumínio (A)	1	1	1	3
Preta (P)	1	1	1	3

CT: Controle de temperatura; SA: Sem agitação; CA: Com agitação.

Para medir a temperatura na água das garrafas que foram expostas ao sol, em uma garrafa de cada grupo (transparente, alumínio e preta) foram realizados pequenos furos no centro das

tampas e introduzidos os termômetros até aproximadamente o centro das garrafas (Figura 4.5). Este termômetro marca apenas as temperaturas máximas e mínimas, interna e externamente.

**Figura 4.5** - Controle da temperatura nos 3 tipos de garrafas (transparente, alumínio e preta).



Fonte: Autor.

Os diferentes aparatos (grupos alumínio e preta) foram adotados com o objetivo de variar a absorção de raios solares e verificar a conseqüente variação de temperatura, resultando na variação da inativação dos microrganismos e da eficiência do processo. Como controle, utilizou-se a garrafa transparente. Além da importância de se controlar a temperatura ao longo do processo, é também exigida uma radiação solar de pelo ao menos  $500 \text{ W/m}^2$  durante aproximadamente 5 horas (EAWAG/SANDEC; 2002). Para esta avaliação, foram utilizados os dados de radiação solar da Estação Meteorológica Automática de Caruaru – PE, coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A radiação solar foi coletada em intervalos de 1 em 1 hora, de acordo com o tempo que as garrafas ficaram expostas (10:00 às 16:00h). O arranjo e a exposição solar das 9 garrafas podem ser vistos na Figura 4.6.

**Figura 4.6** – Fotografias do experimento de desinfecção solar na unidade experimental no *Campus* de Caruaru da UFPE.

(a) Disposição das nove garrafas.



(b) Destaque mostrando o controle de temperatura e variações experimentais.



Fonte: Autor.

Para obtenção de uma amostra representativa de água coletada da cisterna e este fato não interferir nos resultados, no momento da coleta foi utilizado um recipiente de 20 litros para coletar e acondicionar esta água até a chegada ao laboratório. A água utilizada neste experimento foi coletada na cisterna C2 (Figura 4.2b), pois durante o período de monitoramento, era a cisterna com maior volume de água armazenado.

As 10 garrafas plásticas de 1,5 L foram preenchidas com a ajuda de um funil. Antes de despejar a água do recipiente de 20 L em cada garrafa plástica, no laboratório, foi realizada uma homogeneização da amostra. Nas 3 garrafas dos experimentos com agitação, primeiramente preencheu-se  $\frac{3}{4}$  do volume da garrafa e realizou-se agitação manual por 20 segundos, em seguida, foi completado o  $\frac{1}{4}$  restante de volume. Já nas 7 garrafas restantes, foi preenchido o volume de 1,5 L de uma só vez. As análises realizadas foram turbidez, coliformes totais e *E. coli*, visto que esse processo visa a inativação de microrganismos patogênicos, não interferindo nos resultados físico-químicos. A metodologia adotada nas análises de turbidez, coliformes totais e *E. coli* é a mesma adotada na Etapa 1. As análises foram realizadas depois de decorridas 6 horas de exposição solar.

#### **4.4 Etapa 3: Avaliação do desempenho de quatro diferentes arranjos de tratamento domiciliar, mais a utilização de desinfecção solar – SODIS como pós-tratamento**

Nesta etapa foi estudada a eficiência de 4 diferentes arranjos de tratamento doméstico de água, utilizando-se os resultados mais satisfatórios do processo de desinfecção solar – SODIS, analisado na etapa 2, como pós-tratamento.

Os 4 arranjos foram assim distribuídos:

- Tratamento I: coador de pano + filtro de barro;

- Tratamento II: pote de barro + filtro de barro;
- Tratamento III: filtro de barro; e
- Tratamento IV: pote de barro.

Cada um dos 4 arranjos de tratamento foi testado utilizando a água oriunda das três cisternas monitoradas e mencionadas na etapa 1. O arranjo de cada tratamento seguido do pós-tratamento com o processo SODIS pode ser visualizado na Tabela 4.5. Foram realizadas 8 coletas nas 3 cisternas monitoradas, com uma frequência quinzenal, durante o período de setembro/2013 a dezembro/2013, e conduzidas para os respectivos tratamentos. Os quatro diferentes arranjos foram instalados no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) da UFPE, localizado no CAA.

**Tabela 4.5 - Arranjos dos tratamentos.**

<b>Tipo de tratamento</b>	<b>Pós-tratamento</b>	<b>Sigla</b>
Coador de pano + Filtro de barro	SODIS	CF1 CF2 CF3
Pote de barro + Filtro de barro	SODIS	PF1 PF2 PF3
Filtro de barro	SODIS	F1 F2 F3
Pote de barro	SODIS	P1 P2 P3

Os filtros e os potes, ambos de barro cozido, os coadores de pano e as velas filtrantes utilizados no experimento foram todos adquiridos em comércio local. Os volumes dos filtros de barro e dos potes de barro foram 4 L e 20 L, respectivamente. Para definição destes volumes, foram considerados aos seguintes fatores: (i) volumes utilizados habitualmente pela comunidade, e (ii) volume necessário para realização das análises da pesquisa.

Os filtros adquiridos foram equipados com apenas uma vela filtrante. Cada filtro é constituído por um conjunto de dois recipientes de cerâmica (barro cozido) e equipado com uma vela filtrante que fica instalada no interior do reservatório superior. O reservatório inferior tem a finalidade de armazenar a água filtrada e a ele fica acoplado uma torneira, que permite a saída da água processada pelo elemento filtrante. As partes constituintes do filtro (reservatório inferior e superior, tampa, elemento filtrante e torneira) foram compradas separadamente

(Figura 4.7) e montadas no laboratório. De acordo com as informações do fabricante, a composição básica do elemento filtrante adquirido é caulim, filito, PVC composto e resinas termoplásticas. A vela utilizada na pesquisa possui uma eficiência da remoção de partículas de 0,5 a 1,0 micra, retendo uma boa parte das impurezas sólidas, visíveis e invisíveis a olho nu, tornando-a de melhor qualidade para consumo humano. De acordo com o fabricante, a mesma não possui eficiência bacteriológica.

**Figura 4.7** - Partes constituintes do filtro de barro.



Fonte: Autor

A instalação experimental dos 4 arranjos de tratamento pode ser vista na Figura 4.8.

**Figura 4.8** - Fotografia da instalação experimental na UFPE.

(a) Tratamento I  
(coador de pano + filtro de barro).



(b) Tratamento II  
(pote de barro + filtro de barro).



(c) Tratamento III (filtro de barro).



(d) Tratamento IV (pote de barro).



(e) Todos os tratamentos.



Fonte: Autor.

Para as coletas foram utilizados 2 recipientes plásticos de 10 L e 1 recipiente de 5 L (Figura 4.9), totalizando um volume de 25 L, que foi coletado de cada cisterna. Em cada coleta realizada nas 3 cisternas monitoradas, foi doado um garrafão de 20 L de água aos moradores da casa monitorada, visando substituir o volume considerável que era retirado das cisternas.

**Figura 4.9** - Garrafas plásticas utilizadas na coleta de água das cisternas.



Fonte: Autor.

As coletas de água nas cisternas foram realizadas de acordo com a particularidade de cada uma. As cisternas que possuíam bombas manuais eram coletadas através da mesma, e na que

não possuía, foi empregado o mesmo recipiente que o morador utilizava, adicionando apenas o uso de um funil, para facilitar o preenchimento das garrafas, conforme ilustrado na Figura 4.10.

**Figura 4.10** - Coleta da água da cisterna C2.

(a) Retirada da água da cisterna com o uso de recipiente.



(b) Emprego do funil pra transferência da água do recipiente para a garrafa.



No laboratório, as amostras foram homogeneizadas antes de serem transferidas para cada tipo de tratamento. Antes de passar pelos tratamentos, era separado um volume de 500 mL da água oriunda de cada cisterna, para comparação da qualidade da água anterior às sequencias de tratamento.

Para o Tratamento I (coador de pano + filtro de barro) foi utilizado 4 L da água coletada. Primeiramente a água é passada no coador de pano (Figura 4.11 a), para reter as partículas mais grosseiras, depois segue para o filtro de barro. Quando a água alcançava o reservatório inferior do filtro, após a filtração, a mesma era coletada para análise (Figura 4.11 b).

**Figura 4.11** – Ilustração dos materiais utilizados no processo do Tratamento I.

(a) Amostra de água da cisterna C1 sendo passada no coador de pano, e depois seguirá para o filtro de barro.



(b) Coleta da água no filtro de barro para análise.



Fonte: Autor.

No Tratamento II (pote + filtro de barro) foram utilizados 10 L de água. A água coletada foi despejada no pote de barro, onde ficou armazenada por cerca de 24 horas, período médio relatado pela comunidade que utiliza pote de barro. Decorrido este tempo, a água era encaminhada para o filtro de barro. A transferência da água do pote para o filtro foi realizada através de um béquer de 500 mL limpo, simulando o uso de canecas pela comunidade (Figura 4.12). Nesta transferência de um equipamento para outro, tentou-se promover a mínima agitação da água, para evitar a suspensão das partículas sedimentadas. Após a filtração da água no reservatório superior, a água era recolhida para análise ao alcançar o reservatório inferior.

**Figura 4.12** – Ilustração do tratamento II - processo de retirada da água do pote de barro e transferência para o filtro de barro.

(a) Imersão do béquer no pote. (b) Cuidado para evitar agitação da água.



(c) Retirada da água.



(d) Transferência da água para o filtro de barro.



Fonte: Autor.

No Tratamento III (filtro de barro) foram utilizados 4 L de água. A água coletada foi despejada no filtro de barro, a fim de avaliar sua eficiência em reter impurezas, quando não se utiliza um coador de pano, nem o pote de barro para reter partículas grosseiras. Após a filtração da água no reservatório superior, a água era recolhida para análise ao alcançar o reservatório inferior.

Para o Tratamento IV (pote de barro) foram utilizados 7 L de água. A água coletada nas cisternas foi despejada diretamente no pote de barro, e depois de decorridas 24 horas, a água foi coletada com o auxílio de um béquer de 500 mL limpo.

Para as coletas em cada um dos 4 tratamentos, em triplicata, foram utilizados recipientes de polietileno, esterilizados em autoclave a 121°C e 1 atm por 15 minutos, os quais foram numerados de acordo com cada descrição do tratamento (Figura 4.13).

**Figura 4.13** –Recipientes de polietileno utilizados nas coletas dos tratamentos.



Legenda:

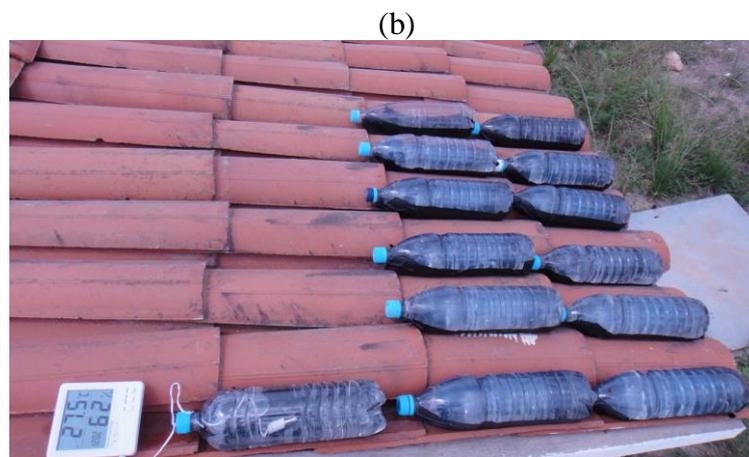
CF: coador de pano+ filtro de barro;  
 PF: pote de barro + filtro de barro;  
 F: filtro de barro;  
 P: pote de barro.

Fonte: Autor.

Após a realização dos Tratamentos (I, II, III e IV), a água resultante de cada um deles foi submetida à técnica SODIS que resultou mais eficiente (cobertura preta, de alumínio ou sem cobertura – etapa 2), como pós-tratamento. Portanto, após a água passar por cada um dos tratamentos, a mesma foi coletada e encaminhada para as garrafas plásticas de 1,5 L. Sendo a garrafa com cobertura preta e com agitação o processo mais eficiente, 13 garrafas foram

cobertas por esse aparato (Figura 4.14 a), sendo 1 para controle de temperatura e as outras 12 para a água submetida a cada um dos 4 tratamentos, com três repetições de cada um. O processo de aeração adotado foi o mesmo descrito na etapa 2. As garrafas foram então expostas no telhado, como mostra a Figura 4.14 b por 6 horas (10:00 às 16:00h). Decorridas as 6 horas de exposição solar, foram realizadas as análises bacteriológicas de coliformes totais e *E. coli*, utilizando o mesmo método descrito anteriormente. O pós-tratamento foi empregado para remoção adicional de coliformes e *E. coli* não removidos nos tratamentos realizados.

**Figura 4.14** – Ilustração do SODIS como pós-tratamento. (a) garrafas com metade coberta por papel contato preto; (b) exposição solar das garrafas e controle da temperatura.



Fonte: Autor.

Tendo em vista que devido a não existência de um residual para desinfecção solar, que somente é possível com um processo químico de desinfecção, a avaliação do potencial de recrescimento bacteriano é importante, principalmente em se tratando de água para consumo humano e de uso não imediatamente após a desinfecção, afirma Silva (2004). Por este motivo, foi realizado um experimento de recrescimento bacteriano. Após a exposição solar das garrafas PET e análise das mesmas no pós-tratamento, as garrafas ficaram armazenadas em uma sala fechada e parcialmente escura. Foram realizadas análises decorridas 24 e 48 horas após o

processo de desinfecção solar. Realizaram-se análises bacteriológicas de coliformes totais e *E. coli*, para verificar se houve recrescimento bacteriano. O tempo de 24 e 48 horas foi baseado em estudos anteriores, como o de Félix *et al.*(2009), que demonstrou um recrescimento bacteriano após o processo de desinfecção. Os autores constataram que decorridas 48 horas após o processo, existe recrescimento de bactérias. Já Kehoe (2001) afirma que o consumo da água deve ser feito no máximo em 24 horas, devido ao recrescimento bacteriano. Além disso, pensou-se também que este período seria o tempo equivalente que os moradores consumiriam essa quantidade de água desinfetada.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes às três etapas da pesquisa: (i) monitoramento da qualidade de água armazenada em três cisternas do semiárido pernambucano; (ii) avaliação das variações do processo de desinfecção solar – SODIS quanto à influência da agitação e influência da coloração da garrafa; e (iii) avaliação do desempenho de quatro diferentes arranjos de tratamento domiciliar, mais a utilização da desinfecção solar - SODIS, como pós-tratamento.

### 5.1 Etapa 1: Monitoramento da qualidade de água armazenada em três cisternas do semiárido pernambucano

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos obtidos nas amostras da água coletada nas três cisternas são aqui discutidos com base na média aritmética e desvio-padrão do período de monitoramento de cada cisterna (Tabela 5.1). Os resultados foram plotados em gráfico boxplot para análise dos dados. As cisternas C1 e C3 possuem desvio automático das primeiras águas de chuva e bomba manual. Enquanto a cisterna C2 apresenta apenas desvio automático das primeiras águas de chuva.

**Tabela 5.1** - Média aritmética e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos monitorados.

Parâmetros	Cisternas		
	C1	C2	C3
pH	8,0±0,5	7,8±0,4	8,0±0,4
Condutividade elétrica (µS/cm)	494,9±0237,7	120,6±58,4	503,6±253,1
Oxigênio Dissolvido (mgO <sub>2</sub> /L)	3,9±1,7	4,5±0,8	3,7±1,4
Turbidez (NTU)	2,1±1,7	0,8±0,4	1,9±1,4
Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	124,2±21,9	87,3±16,5	107,9±21,6
Cloretos (mgCl <sup>-</sup> /L)	131,2±88,9	9,5±36,6	69,4±68,9
Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	90,3±39,4	37,8±19,3	72,9±32,5
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	315,5±108,0	101,2±41,6	175,7±29,8

#### 5.1.1 Resultados dos parâmetros físico-químicos

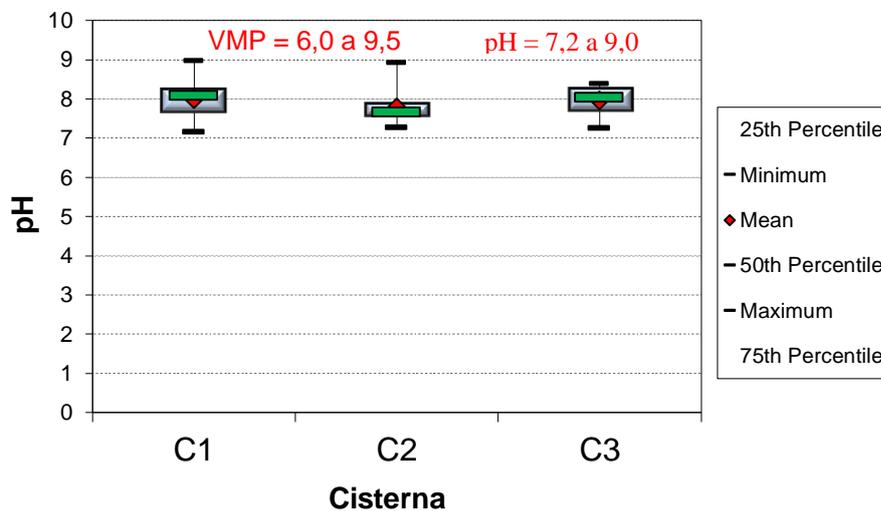
##### 5.1.1.1 pH

No que se refere ao padrão de potabilidade, o Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) recomenda que o pH das águas para consumo humano esteja entre 6,0 e 9,5. Nesta pesquisa o

valor do pH variou de 7,2 a 9,0 (Figura 5.1), variando de neutro a alcalino, atendendo desta maneira em 100% do tempo do monitoramento à Portaria do MS N°2914/2011.

Tendo em vista que o pH da água da chuva normalmente tem características um pouco ácidas, conforme os estudos de Xavier (2010) e Lee *et al.* (2010) que encontraram valores médios, respectivamente, de 6,1 e 5,3 da água coletada diretamente da chuva, sem ter contato com o telhado, infere-se com estes resultados que o pH da água armazenada nas cisternas monitoradas no presente trabalho pode ter sofrido influência de substâncias dissolvidas da parede interna de revestimento, principalmente carbonato de cálcio, conseqüentemente elevando o pH da água. Entretanto, estes valores atendem à faixa recomendada pela Portaria.

**Figura 5.1** - Diagrama boxplot de pH – monitoramento no período de 2011 a 2013.



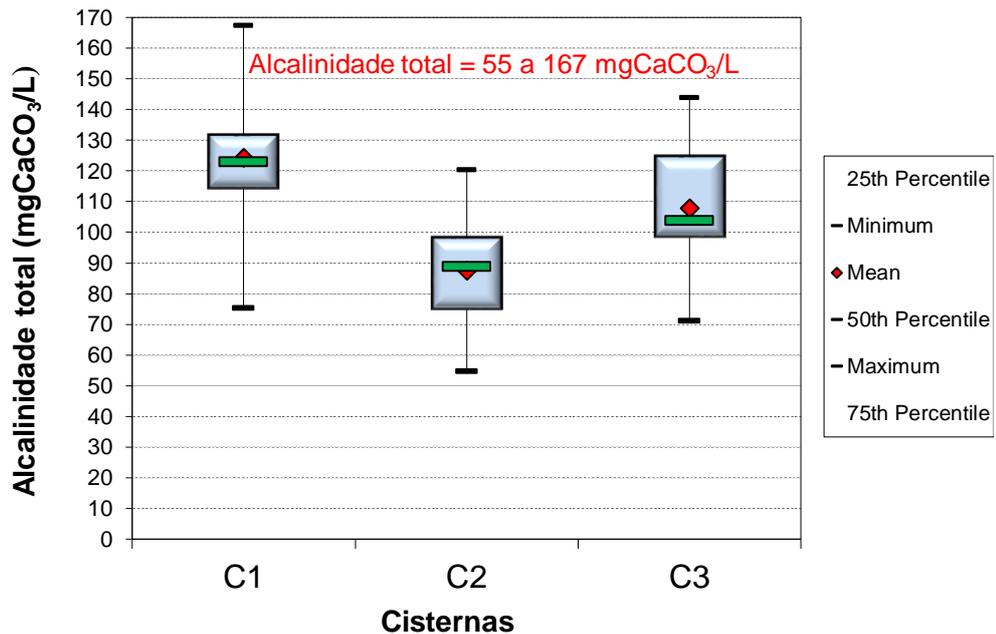
#### 5.1.1.2 Alcalinidade total

A alcalinidade total média encontrada nesta pesquisa foi de 106 mg CaCO<sub>3</sub>/L (Figura 5.2). Lima (2012) obteve valores similares em monitoramento de cisternas em Caruaru e Pesqueira, ambas no estado de Pernambuco, com alcalinidade média de 103 mg CaCO<sub>3</sub>/L. A Portaria N° 2914/11 não estabelece valor de referência para este parâmetro, apenas recomenda limite de pH. Como as cisternas possuem em média a mesma idade de construção: C1 (5 anos); C2 (4 anos) e C3 (5 anos), acredita-se que tal fator não foi preponderante para variação da alcalinidade, como afirmou Lima (2012) em seu estudo.

Os menores valores de alcalinidade foram encontrados na cisterna C2, a única casa que relata colocar água de carro-pipa esporadicamente na cisterna. Já a cisterna C1 recebe, com frequência nas épocas de estiagem, água transportada em carro-pipa. Quando se comparam os resultados de C1 com C3 se observam maiores valores de alcalinidade e maior variabilidade

dos resultados em C1, que representa essa variabilidade de origens da água armazenada em C1. Tavares (2009) observou que a alcalinidade apresentou tendência a aumentar ao longo dos meses de estiagem (dezembro a março), caindo significativamente com as chuvas (abril a agosto) e que todas as cisternas que receberam água de carros-pipa tiveram a alcalinidade aumentada nos meses do evento.

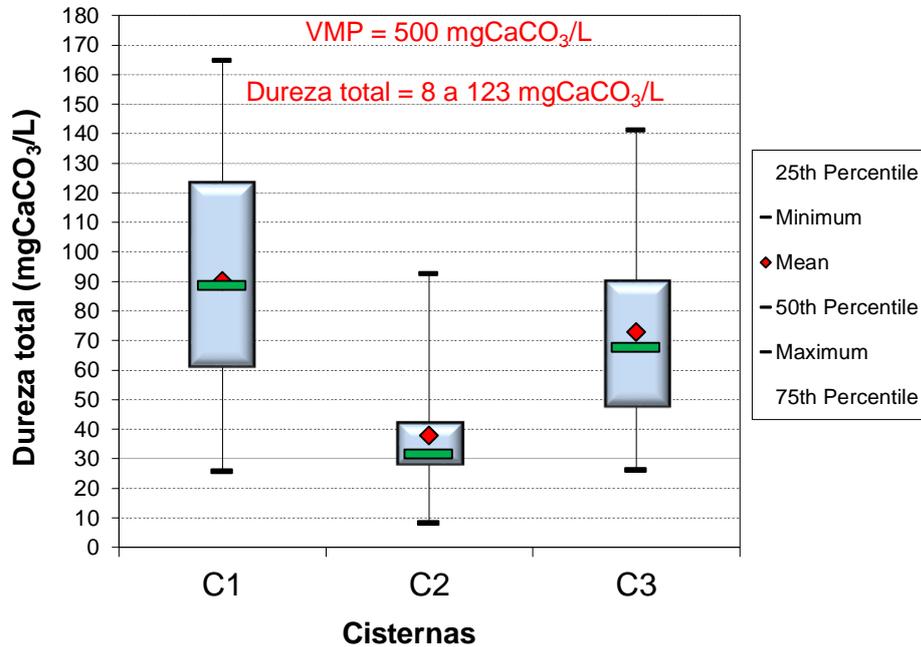
**Figura 5.2** - Diagrama boxplot de alcalinidade total – monitoramento no período de 2011 a 2013.



### 5.1.1.3 Dureza total

Durante o período de monitoramento os valores da dureza total variaram de 8 a 123 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Figura 5.3), portanto, estando inferior ao valor máximo recomendado pela Portaria, que é de 500 mgCaCO<sub>3</sub>/L. Xavier (2010) avaliou 8 cisternas na Paraíba e encontrou valores entre 46 e 190 mgCaCO<sub>3</sub>/L. A água armazenada na cisterna C1 apresentou os maiores picos de dureza. Como nesta casa o consumo de água da cisterna é grande, mesmo possuindo apenas 2 usuários, foi constatado uso frequente de água de carro-pipa, elevando desta maneira a dureza, assim como alcalinidade. Xavier (2010) constatou que nos meses em que as cisternas tinham apenas água de carro-pipa, os valores médios foram mais altos (192 mg CaCO<sub>3</sub>/L), no entanto, a mistura com a água da chuva diminuiu a dureza (112 mg CaCO<sub>3</sub>/L).

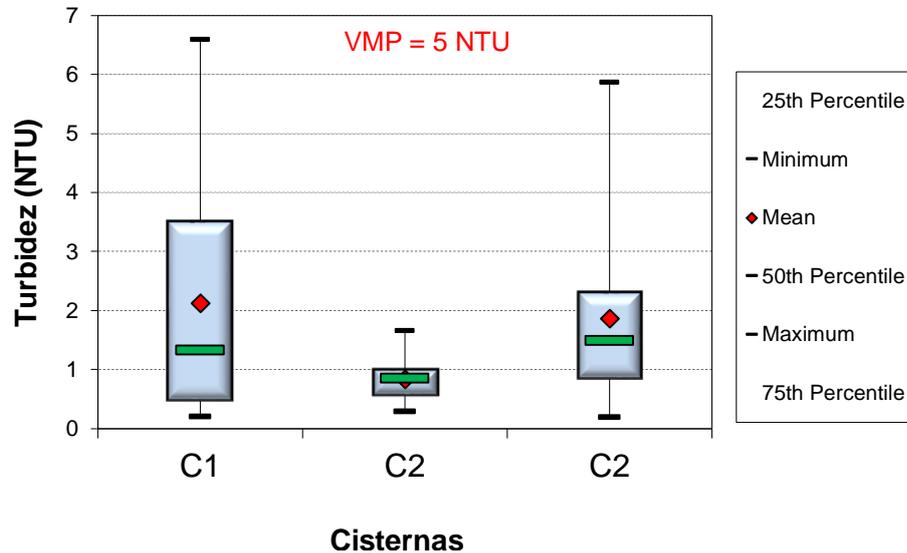
**Figura 5.3** - Diagrama boxplot de dureza total – monitoramento no período de 2011 a 2013.



#### 5.1.1.4 Turbidez

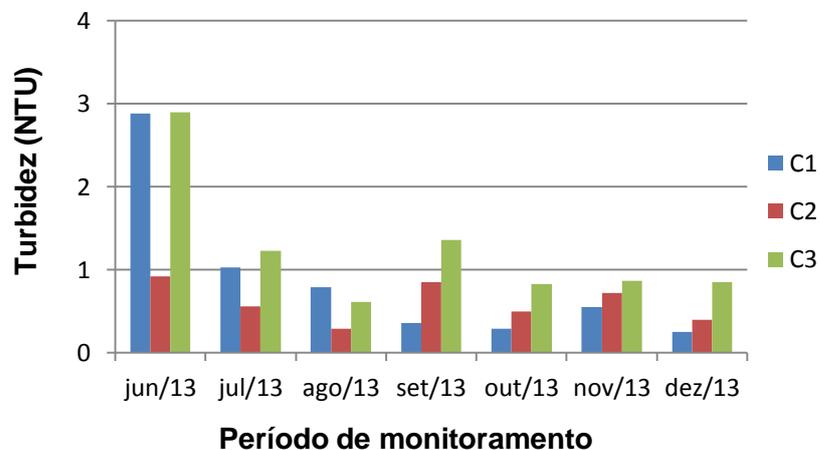
Os valores médios encontrados de turbidez nas cisternas foram de 1,6 UNT (Figura 5.4), entretanto, nas cisternas C1 e C3 a turbidez alcançou valores, respectivamente, de 6,59 e 5,86 UNT. A Portaria do MS N° 2914/11 estabelece valor máximo permitido de água para consumo humano com 5,0 UNT. Valores de turbidez elevados estão associados aos sólidos acumulados no telhado, oriundo de fezes de animais e restos de plantas, que no início do evento chuvoso “lava” o telhado, carreando para a cisterna toda sujeira acumulada no telhado. Observa-se que a cisterna C2 em todo o período do monitoramento manteve valores bem abaixo do máximo permitido, atingindo valor máximo de 1,65 UNT. Essa cisterna possui desvio automático das primeiras águas de chuva desde o início do monitoramento, o que contribuiu para os valores mais baixos de turbidez, devido ao carregamento de sólidos em suspensão para o interior dos desvios.

**Figura 5.4** - Distribuição mensal da turbidez durante o período de monitoramento com o desvio automático das primeiras águas instalado.



Entretanto, se observarmos o período de monitoramento que as cisternas C1, C2 e C3 apresentaram instalados os desvios das primeiras águas de chuva (junho/2013 a dezembro/2013), observa-se a importância do desvio como barreira sanitária, melhorando significativamente a qualidade de água armazenada nas cisternas (Figura 5.5). Todas as cisternas atenderam ao parâmetro turbidez cujo valor máximo permitido é 5,0 NTU, após a instalação do dispositivo de desvio.

**Figura 5.5** - Valores de Turbidez observados nas cisternas C1, C2 e C3, após instalação do desvio automático das primeiras águas de chuva.



É importante destacar, que o valor de turbidez sem estar associado a outros parâmetros, não traduz a realidade da qualidade da água, visto que, este parâmetro traduz as características ópticas do fluido em questão. A turbidez pode ser causada por uma grande variedade de partículas em suspensão, tanto de origem orgânica como inorgânica, o que não significa que estas substâncias necessariamente estarão associadas à ocorrência de doença de veiculação hídrica. Uma água turva causa rejeição para os consumidores, porém uma água isenta de sólidos em suspensão, não necessariamente possui uma qualidade melhor, pois pode conter microrganismos patogênicos associados à contaminação fecal da água, os quais são invisíveis a olho nu.

Constatou-se durante o período de monitoramento do estudo, que a cisterna C2 apresentou em média, resultado de todos os parâmetros-físico-químicos dentro dos limites estabelecidos pela Portaria do MS Nº 2914/11 e, ainda valores inferiores aos obtidos nas cisternas C1 e C3.

#### 5.1.2 Resultados dos parâmetros bacteriológicos

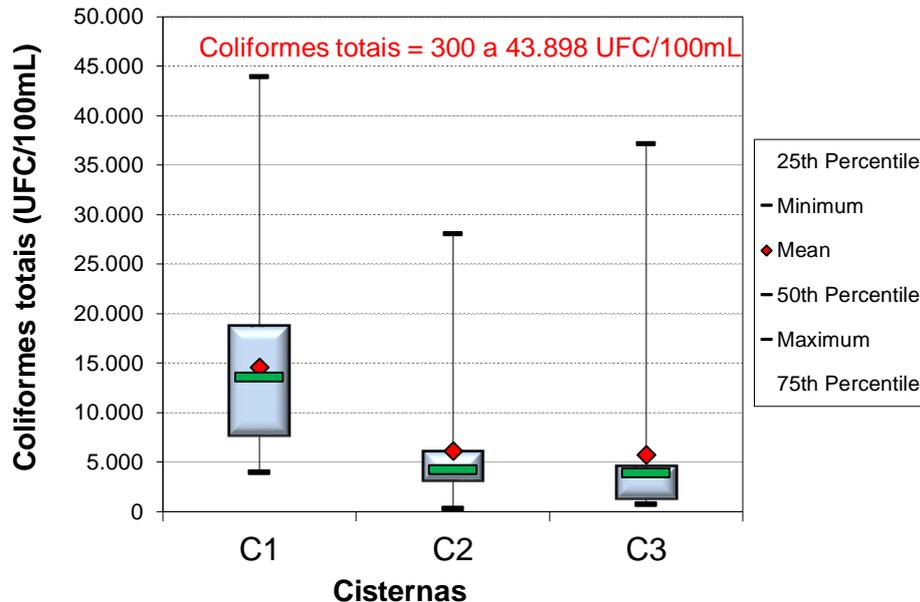
Com relação aos parâmetros bacteriológicos foi verificada presença de coliformes totais em todas as cisternas, em 100% das amostras. Já em relação a *E. coli* foi constatado presença em todas as cisternas, porém em 87% das amostras. Em todas as cisternas houve pelo menos algum mês com ausência deste grupo microbiano. De acordo com a Portaria do MS Nº 2914/11, em água não canalizada usada comunitariamente e sem tratamento, quando não há disponibilidade de água de melhor qualidade, 95% das amostras devem apresentar ausência de coliformes totais em 100 mL.

##### 5.1.2.1 Coliformes totais

A concentração média de coliformes totais em todas as cisternas durante o período de monitoramento foi de 8 783 UFC/100 mL (Figura 5.6). Os valores variaram de 300 a 43.898 UFC/100 mL. Brito *et al.* (2005) avaliaram cisternas na comunidade de Atalho, Petrolina – PE. Os resultados das suas análises bacteriológicas indicaram que 73% das amostras analisadas apresentaram-se contaminadas por coliformes, estando portanto em desacordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, embora tenha sido identificado que as famílias realizam tratamento da água com cloro. Estes resultados podem evidenciar riscos à saúde das famílias, porque a presença de microrganismos patogênicos graves está associada à contaminação fecal da água, que se torna, nesse caso, um veículo de transmissão de doenças.

Nota-se que todas as cisternas, em todo o período do monitoramento, apresentaram resultado positivo para coliformes totais.

**Figura 5.6** - Diagrama boxplot de coliformes totais – monitoramento no período de 2011 a 2013.



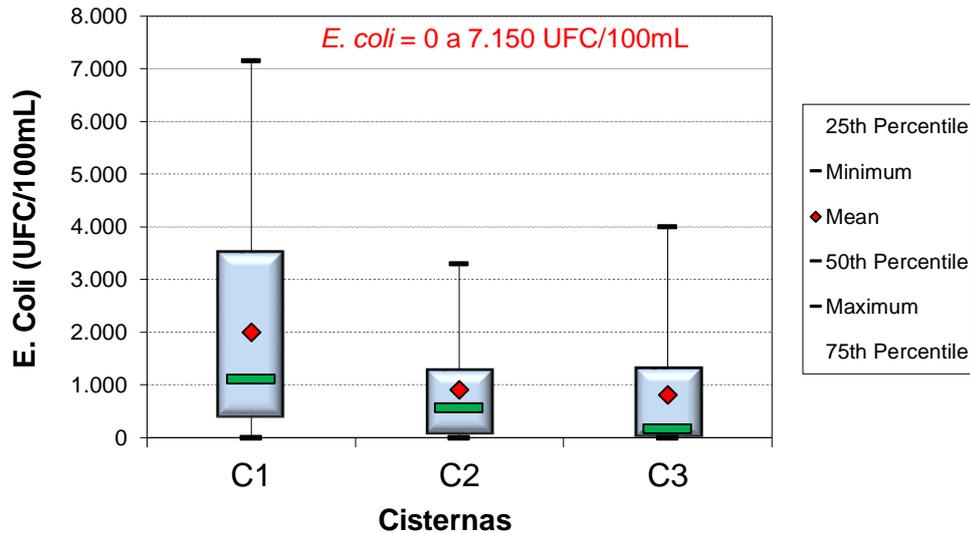
### 5.1.2.2 *E. coli*

Em relação às bactérias do grupo coliforme, a principal preocupação sobre a qualidade da água de cisternas é a presença de *E. coli*, que ocorreu em todas as cisternas monitoradas (Figura 5.7). Em 87% das amostras detectaram-se resultados positivos para *E. coli*, sendo a média obtida de 1240 UFC/100mL. Entretanto, em pelo menos uma coleta das 3 cisternas, obteve-se resultado negativo para *E. coli*, fato este que não ocorreu com coliformes totais.

Pádua (2013) selecionou na zona rural de Araçuaí - MG oito cisternas de placas “novas” e oito “antigas” para monitorar a qualidade físico-química e bacteriológica armazenada nas cisternas. O autor verificou presença de *E. coli* em aproximadamente 70% das amostras. Destes, 40% eram de água de chuva armazenada em cisternas com mais de um ano de construção, ou seja, já haviam armazenado mais de um ciclo de água de chuva. Em média, os valores mais elevados de *E. coli* também foram encontrados nas cisternas mais antigas. Lee *et al.* (2010) analisaram reservatórios que armazenam água da chuva localizados em Gangneung (Coreia do Sul) e encontraram nas amostras 94,4 % e 85,2 %, respectivamente, de coliformes totais e *E. coli*.

Nota-se que a cisterna C2 (Figura 5.7), única que possui desvio automático das primeiras águas de chuva desde o início do monitoramento, apresentou ausência de *E. coli* em 24% do período de monitoramento, enquanto as cisternas C1 e C3 apresentaram, respectivamente, ausência de 4% e 12% de *E. coli* durante seus respectivos períodos de monitoramento.

**Figura 5.7** - Diagrama boxplot de E.Coli – monitoramento no período de 2011 a 2013.



### 5.1.3 Avaliação dos dispositivos automáticos de descarte das primeiras águas de chuva

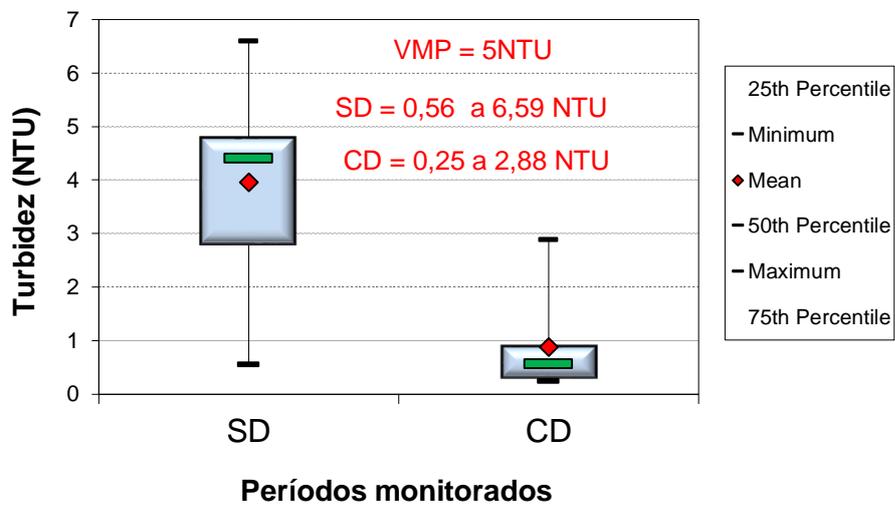
Levando em consideração a importância dos desvios das primeiras águas de chuva como barreira sanitária, e que os dispositivos de desvio foram instalados em períodos distintos em cada uma das 3 cisternas, os gráficos a seguir representam parâmetros que apresentaram decaimento satisfatório após a instalação dos desvios.

Ao comparar o período sem desvio (SD) e o período com desvio (CD), observou-se para os parâmetros turbidez (Figura 5.8) e coliformes totais (Figura 5.9) uma redução na concentração desses parâmetros na água da cisterna, após a instalação do dispositivo de desvio.

A cisterna C1 apresentou os valores mais elevados de todos os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, quando comparado com as cisternas C2 e C3, durante o período que não possuía desvio (junho/2012 a maio/2013), alcançando valores acima do máximo permitido, que é 5,0 NTU. Após a instalação do desvio (junho/2013 a dezembro /2013) o valor máximo detectado foi de 2,88 NTU, estando portanto em conformidade com a Portaria do MS Nº 2914/11. O parâmetro turbidez representa ótima referência, pois os materiais em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos. Além disso, a redução de turbidez também tem influência direta no processo de desinfecção, com melhoria de eficiência, qualquer que seja o

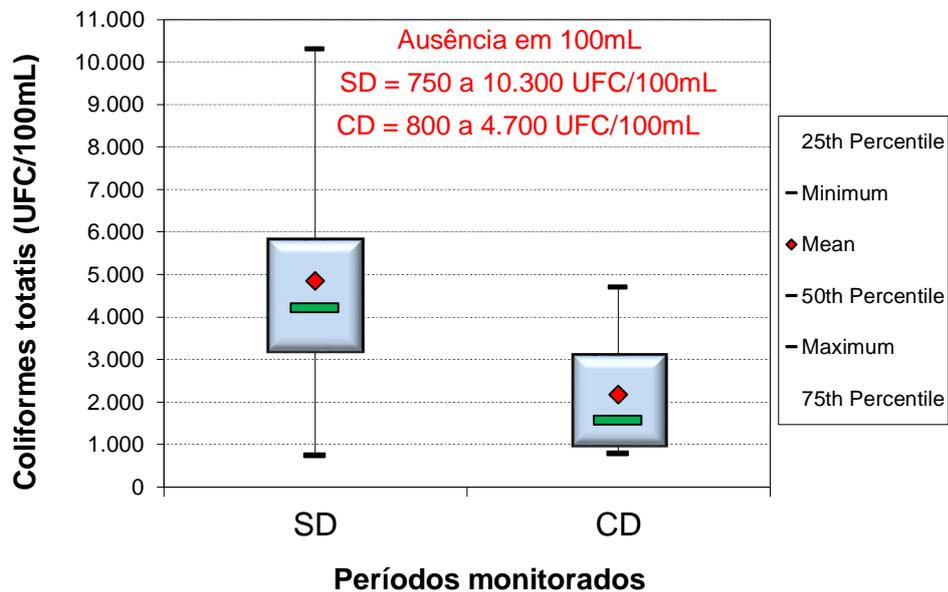
processo de desinfecção. Quando cloro é utilizado, quanto maior a turbidez, em geral, maiores dosagens de cloro são requeridas, pois algumas partículas em suspensão também são oxidadas e podem reduzir a eficiência do agente desinfetante (DANIEL *et al.*, 2001). Quando a radiação solar é utilizada, quanto maior a turbidez, menor é a penetração da luz solar (GRAF *et al.*, 2010; KEHOE *et al.*, 2001).

**Figura 5.8** –Turbidez na cisterna C1 em dois períodos analisados: SD – sem desvio automático (junho/2012 a maio/2013) e CD – com desvio automático (junho/2013 a dezembro /2013).



Comparando-se os valores máximos obtidos de coliformes totais da cisterna C3 durante o período sem desvio (junho/2012 a maio/2013) com o período com desvio (junho/2013 a dezembro/2013), nota-se uma redução de 46% de coliformes fecais. Entretanto, ressalta-se que mesmo com esta redução, ainda não se atendeu ao padrão de potabilidade.

**Figura 5.9** – Coliformes totais na cisterna C3 em dois períodos analisados: SD – sem desvio automático (junho/2012 a maio/2013) e CD – com desvio automático (junho/2013 a dezembro /2013).



#### 5.1.4 Influência da precipitação na qualidade da água armazenada nas cisternas

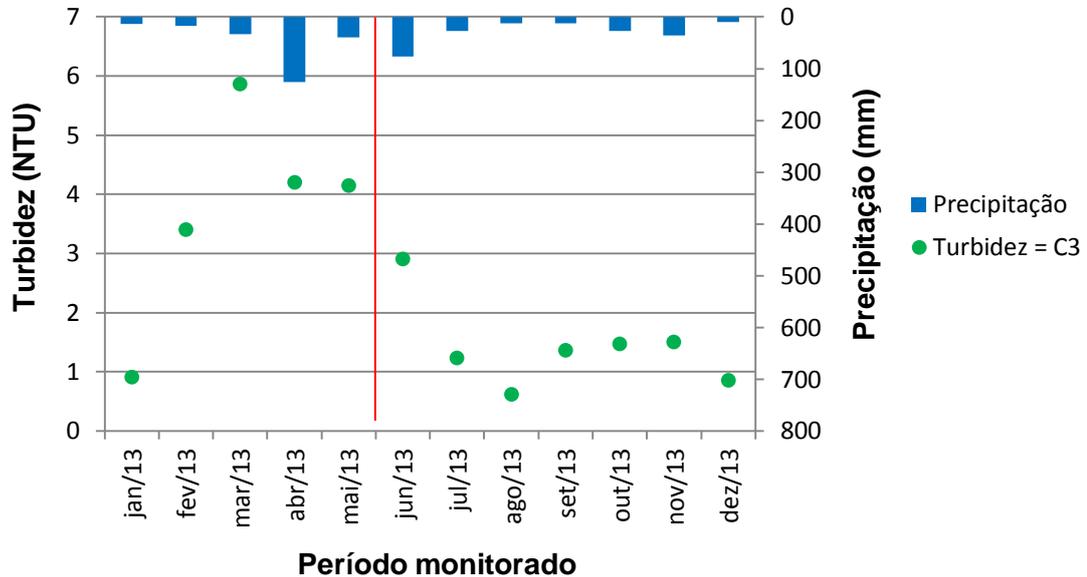
A precipitação também influencia a qualidade da água armazenada nas cisternas. A precipitação resulta na redução da concentração de alguns parâmetros, por diluição, no momento que a água da chuva preenche as cisternas e se mistura com a água já depositada, como pH, alcalinidade, cloretos e condutividade. Mesmo em cisternas que porventura receberam água transportada em carro-pipa, a precipitação também ajuda a diluir a água armazenada de qualidade inferior à da água da chuva.

Para demonstrar a influência da precipitação na redução de alguns parâmetros, destaque-se a variação da turbidez, concentração de *E. coli* e coliformes totais na cisterna C3, em função da precipitação mensal (INPE, 2010) no período de janeiro/2013 a dezembro/2013.

A Figura 5.10 apresenta a variação ao longo do ano da turbidez da cisterna C3. No período de janeiro/2013 a maio/2013 a cisterna C3 era desprovida de desvio. Nota-se que nos meses de fevereiro a maio, com aumento da precipitação, a turbidez aumentou. A água da chuva “lava” o telhado e leva para as cisternas todas as impurezas acumuladas no telhado, como fezes de animais, folhas e poeira, aumentando assim a turbidez. Entretanto, a partir de junho, mês que foi instalado o desvio, nota-se que mesmo apresentando precipitação, os valores tenderam a diminuir, pois o desvio automático das primeiras é uma barreira sanitária

que impede que os primeiros milímetros de chuva contaminados, sejam introduzidos nas cisternas.

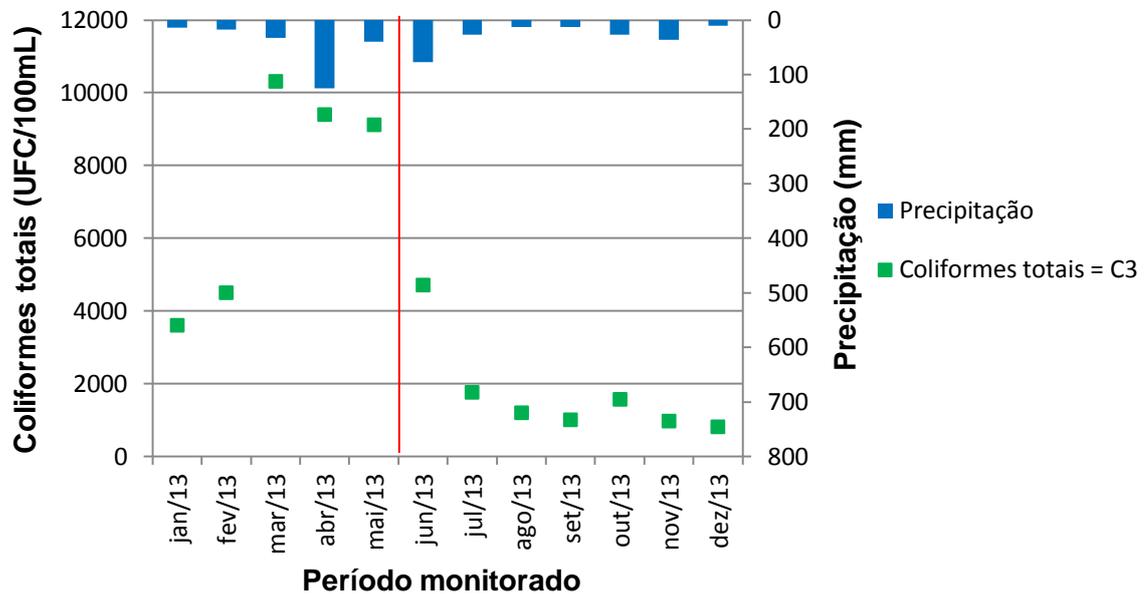
**Figura 5.10 – Variação da turbidez na cisterna C3.**



Legenda: | Mês a partir do qual foi instalado o desvio automático das primeiras águas de chuva.

A Figura 5.11 representa a variação da concentração de coliformes totais na cisterna C3. Nota-se que nos primeiros três meses de 2013, a precipitação mensal deve ter provocado arraste das impurezas do telhado e das calhas que levou ao aumento de 286% na concentração de coliformes totais entre os meses de janeiro e março. Já nos meses de abril a junho, mesmo com aumento da precipitação, observa-se um decaimento gradativo da concentração de coliforme total. Esse fato pode ser explicado levando-se em consideração que as precipitações anteriores já haviam lavado as superfícies de contato (telhado, calha e tubulações) com a água da chuva. De julho até dezembro observa-se uma relativa estabilização dos teores de coliformes totais em níveis bem inferiores aos anteriores à instalação do dispositivo de desvio foram observados, mesmo havendo precipitação. Ressalta-se que foi em junho/2013 que o desvio automático das primeiras águas de chuva foi instalado e conseqüentemente reduziu a concentração de coliformes totais que seria depositado nas cisternas.

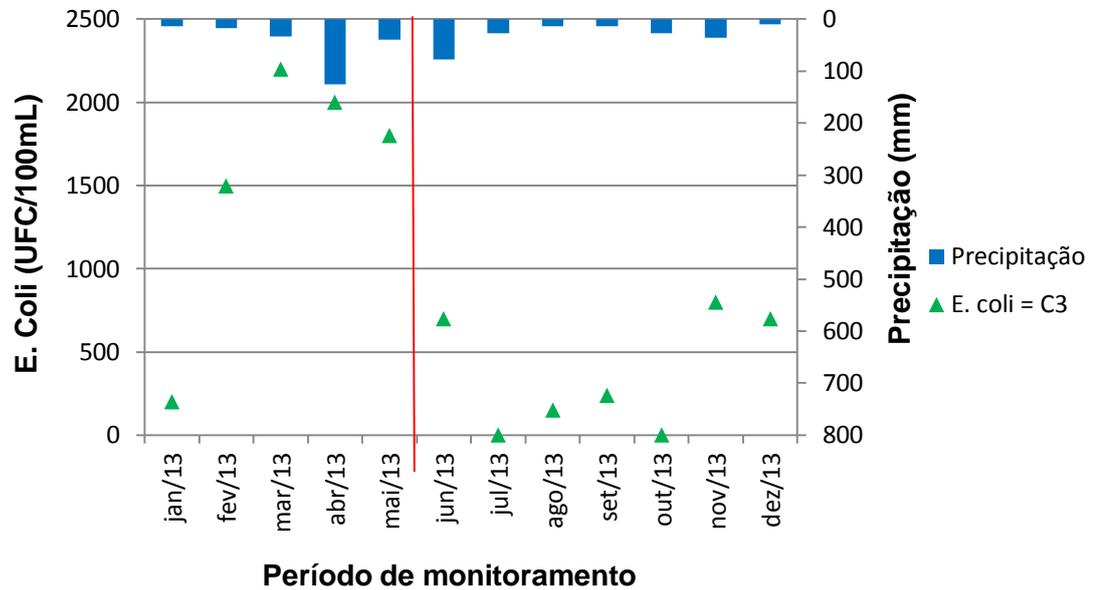
**Figura 5.11** – Variação da concentração de coliformes totais na cisterna C3.



Legenda: | Mês a partir do qual foi instalado o desvio automático das primeiras águas de chuva.

De forma análoga à variação da concentração de coliformes totais, observa-se na concentração de *E. coli* na cisterna C3 (Figura 5.12). De janeiro a março com o início da precipitação e arraste de impurezas para a cisterna, ocorreu um aumento de 1100% na concentração de *E. coli*. A partir de abril, mesmo com o aumento da precipitação pluviométrica há uma tendência de diminuição gradativamente da concentração de *E. coli* que é transportada para cisternas, pois as superfícies de captação já foram lavadas. Vale destacar que após a instalação do desvio, em junho/2013, houveram 2 meses que não se detectou *E. coli* (julho e outubro), reforçando a importância do dispositivo de desvio.

**Figura 5.12 - Variação da concentração de *E. coli* na cisterna C3.**

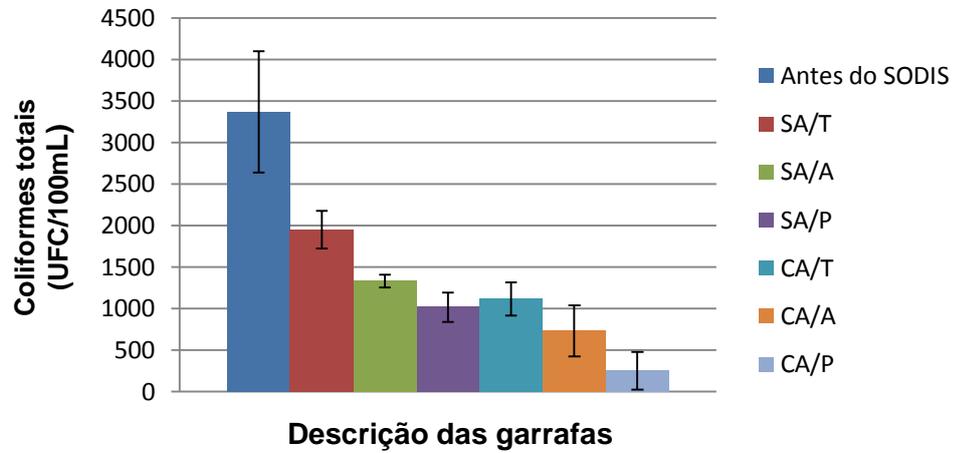


Legenda: | Mês a partir do qual foi instalado o desvio automático das primeiras águas de chuva.

## 5.2 Etapa 2: Avaliação das variações do processo de desinfecção solar – SODIS

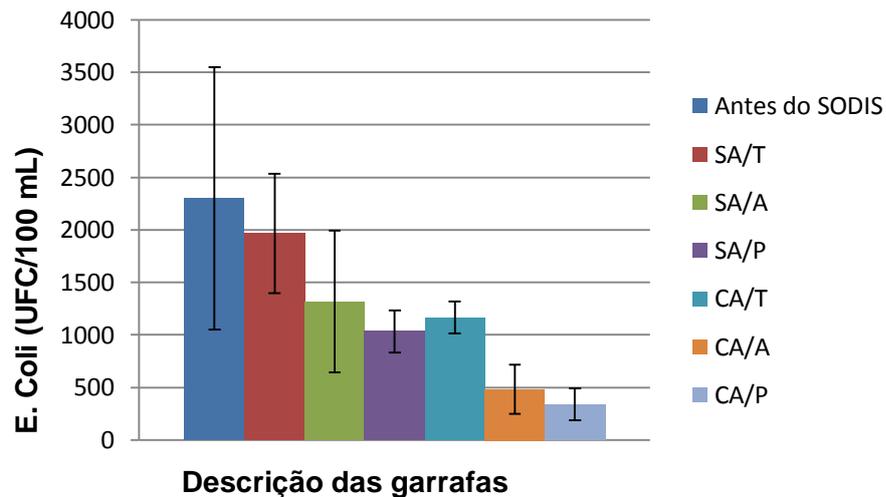
A média aritmética e desvio padrão dos 3 experimentos realizados com cada variação do processo SODIS podem ser vistos nas Figura 5.13 e na Figura 5.14 no que diz respeito à eficiência na inativação de coliformes totais e *E. coli*. Utilizando-se uma garrafa como controle (nomeada “antes do SODIS”), a qual não foi exposta ao sol, verificou-se com qual das variações se conseguiu atingir melhor inativação de coliformes totais e *E. coli* tornando o processo mais eficiente. A turbidez medida antes do processo nos 3 experimentos foi inferior a 4 NTU. Turbidez baixa, em geral inferior a 30 NTU, requerida para aplicação do SODIS.

**Figura 5.13 - Média aritmética e desvio padrão de coliformes totais.**



\*Legenda: SA/T: sem agitação/transparente; SA/A: sem agitação/alumínio; SA/P: sem agitação/preta; CA/T: com agitação/transparente; CA/A: com agitação/alumínio; CA/P: com agitação/preta

**Figura 5.14 – Média aritmética e desvio padrão de *E. coli*.**



\*Legenda: SA/T: sem agitação/transparente; SA/A: sem agitação/alumínio; SA/P: sem agitação/preta; CA/T: com agitação/transparente; CA/A: com agitação/alumínio; CA/P: com agitação/preta

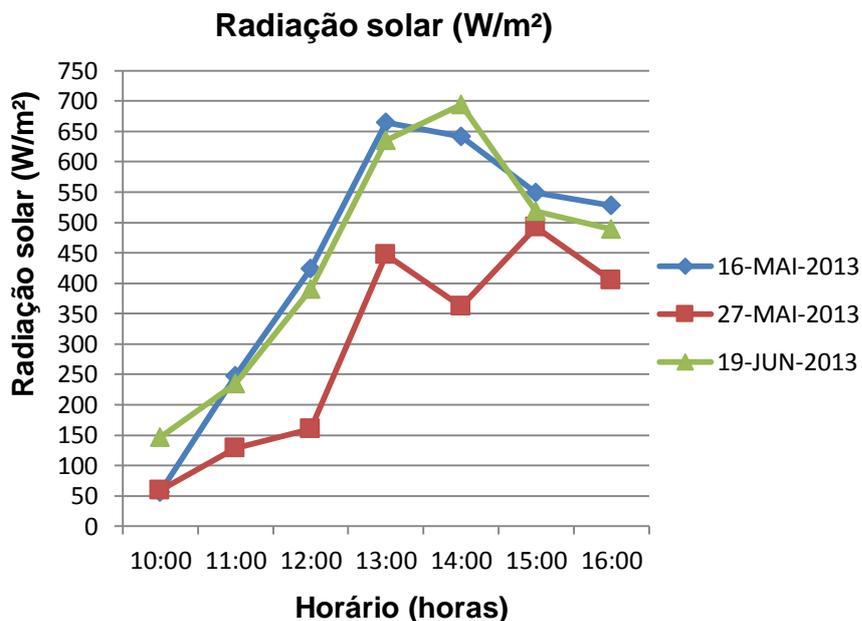
Verificou-se que a garrafa CA/P, com agitação e cobertura preta foi a mais eficiente na inativação de bactérias. Foi constatada uma eficiência média de 93% na inativação de coliformes totais e 85% de *E. coli*. Kruti & Shilpa (2012) afirmam que pintura preta nas garrafas PET é vantajosa sob condições de nebulosidade, quando a exposição de um dia apenas não seria suficiente para inativação completa de bactérias.

Com relação à temperatura constatou-se: (i) no dia 16/05/13, quando foi realizado o primeiro experimento de SODIS, que as garrafas transparentes, alumínio e preta atingiram temperatura máxima, respectivamente, iguais a 44,9°C, 47,8°C e 48,3°C; (ii) no dia 27/05/13,

quando se realizou o segundo experimento, dia nublado em boa parte do tempo, as temperaturas máximas obtidas nas garrafas transparentes, alumínio e preta, foram iguais a, respectivamente 39,4°C; 40,0°C e 40,7°C; e (iii) em 19/06/13 quando foi realizado o terceiro e último experimento as temperaturas máximas registradas foram 40,4°C, 41,0°C e 41,5°C, respectivamente para as garrafas transparentes, alumínio e preta. Nota-se que nos 3 experimentos as maiores temperaturas no interior da garrafa foram alcançadas nas garrafas pretas, chegando ao máximo a 48,3°C, o que contribui para o melhor desempenho de inativação de patógenos, detectado na garrafa com cobertura preta. Wegelin *et al.* (1998) afirmam que o tipo e a forma do material suporte onde os recipientes ficam expostos ao sol, também podem influenciar na temperatura da água, consequentemente na taxa de inativação.

Além da importância de se controlar a temperatura ao longo do processo, é também exigida uma radiação solar de pelo ao menos 500 W/m<sup>2</sup> durante aproximadamente 5 horas (EAWAG/SANDEC; 2002). Entretanto, reitera-se que essa radiação não é um valor fixo, para obtenção de uma água isenta de bactérias. Alguns fatores como turbidez da água, tempo de exposição solar e temperatura atingida pela água no interior das garrafas, também corroboram na eficiência do método. A seguir, na Figura 5.15 estão apresentados os dados da radiação solar dos 3 experimentos durante as 6 horas de exposição solar (10:00 às 16:00h). Os dados foram extraídos da Estação Meteorológica Automática de Caruaru – PE, coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

**Figura 5.15** – Radiação solar ao longo do tempo de exposição solar nos 3 experimentos.



Nota-se que a radiação solar tende a aumentar significativamente a partir das 11:00h, apresentando decaimento a partir das 14:00h. Nos experimentos dos dias 16 de maio e 19 de junho não houve alteração significativa, entre eles, na radiação solar, conseqüentemente na eficiência do processo. A radiação solar média obtida nos 3 experimentos foi de 394 W/m<sup>2</sup>, variando de 56 W/m<sup>2</sup> nas primeiras horas do dia, e atingindo até 694 W/m<sup>2</sup>. Félix *et al.* (2009) relataram eficiência do processo de desinfecção solar de 80 a 100% na inativação de bactérias, em estudo realizado na comunidade de Robalo, no estado de Sergipe. Entretanto em seu experimento não houve remoção significativa de coliformes fecais. Em relação a *E. coli* o estudo indicou que exposição solar inferior a 1 h não é eficiente. Para tempos de exposição mais longos a eficiência cresce, atingindo uma média de 87% depois de 4 h. Quando os tempos de exposição foram superiores a 4 h com uma média de radiação solar de 800 W/m<sup>2</sup> e a temperatura da água de 50°C, desinfecção total foi conseguida pelos autores. A eficiência do sistema depende basicamente da qualidade da água, temperatura e radiação UV, existindo ainda na combinação de temperatura e radiação um efeito sinérgico que duplica a taxa de inativação de coliformes fecais (WEGELIN *et al.*, 1994).

Com relação à influência da agitação, os resultados da presente pesquisa mostraram que a concentração de oxigênio na água tem forte influência sobre a eficiência do processo, quando comparado às garrafas que não sofreram agitação. Foi constatado nas garrafas CA/P (com agitação) uma eficiência média de 93% e 85 % de inativação de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente. Já nas garrafas SA/P (sem agitação) foi constatada uma eficiência média de 67% na inativação de coliformes totais e 49% de *E. coli*. Nas pesquisas de Félix *et al.* (2009) nas garrafas que foram submetidas a agitação manual, 100% de remoção de *E. coli* foi obtida após quatro horas de exposição solar, em três experimentos diferentes. No entanto, tempo de exposição solar inferior à 1 h não foi eficaz.

Meyer & Reed (2001) afirmaram que o oxigênio é fundamental para a desinfecção solar e sugerem que agitando as garrafas de hora em hora é possível dissolver o oxigênio difuso em todo o volume de água, bem como assegurar o contato de todos os organismos presentes na água com a luz UV absorvível. Meyer (2004) afirma que a agitação favorece a desinfecção.

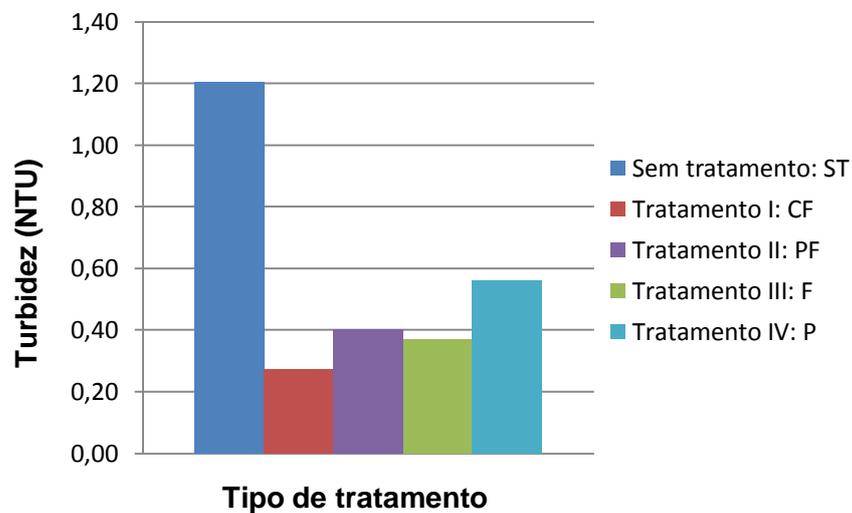
Desta forma, na presente pesquisa, para a etapa seguinte como pós-tratamento de 4 diferentes arranjos de tratamento (etapa 3) se utilizou a combinação de garrafas com cobertura preta e agitação manual de 20 segundos, antes das garrafas serem expostas no telhado.

### 5.3 Etapa 3: Avaliação do desempenho de quatro diferentes arranjos de tratamento domiciliar, mais a utilização de desinfecção solar - SODIS como pós-tratamento

Levando-se em consideração a eficiência de cada tratamento doméstico em relação à qualidade da água sem tratamento, constatou-se através da média aritmética obtida da água coletada das 3 cisternas, e dos respectivos tratamentos em que foi processada cada tipo de água coletada (tratamento I: coador de pano + filtro de barro; tratamento II: pote de barro + filtro de barro; tratamento III: filtro de barro; e tratamento IV: pote de barro), que os tratamentos I e II são os mais eficientes na remoção de turbidez, sólidos dissolvidos totais, coliformes totais e *E. coli*. Em relação aos parâmetros alcalinidade, cloretos, dureza, condutividade e pH, não houve eficiência significativa.

Em relação à turbidez, o tratamento I (coador de pano + filtro de barro) foi o mais eficiente, apresentando eficiência de remoção média de 78%, ao passo que o tratamento II (pote de barro + filtro de barro) apresentou 69% de eficiência de remoção da turbidez (Figura 5.16). Acredita-se que o tratamento I tenha sido mais eficiente, pela ação filtrante do pano.

**Figura 5.16** – Média aritmética da turbidez.



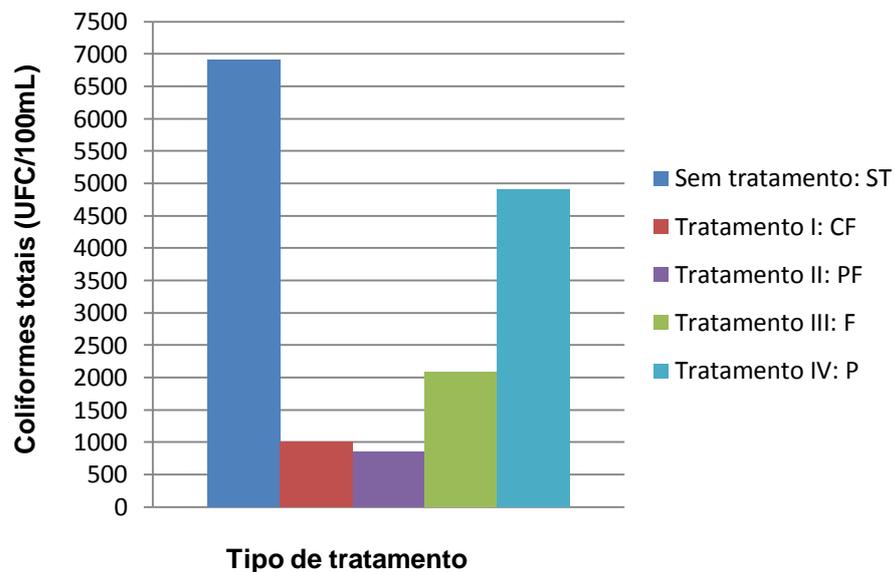
\*Legenda: **ST**: sem tratamento; **CF**: coador de pano + filtro de barro; **F**: filtro de barro; **PF**: pote de barro + filtro de barro; **P**: pote de barro.

Em relação aos parâmetros bacteriológicos, os tratamentos I e II apresentaram eficiência de remoção de coliformes totais de 85% e 87%, respectivamente (Figura 5.17). Em relação à *E. coli* nota-se uma eficiência de remoção nos tratamentos I e II, respectivamente de 82% e 85% (Figura 5.18). Em nenhum dos tratamentos, conseguiu-se obter 100% de eficiência na remoção de coliformes totais ou *E. coli*.

Já em relação aos sólidos dissolvidos totais, o tratamento I obteve uma eficiência de remoção de 34%, ao passo que, o tratamento II obteve 40% de eficiência.

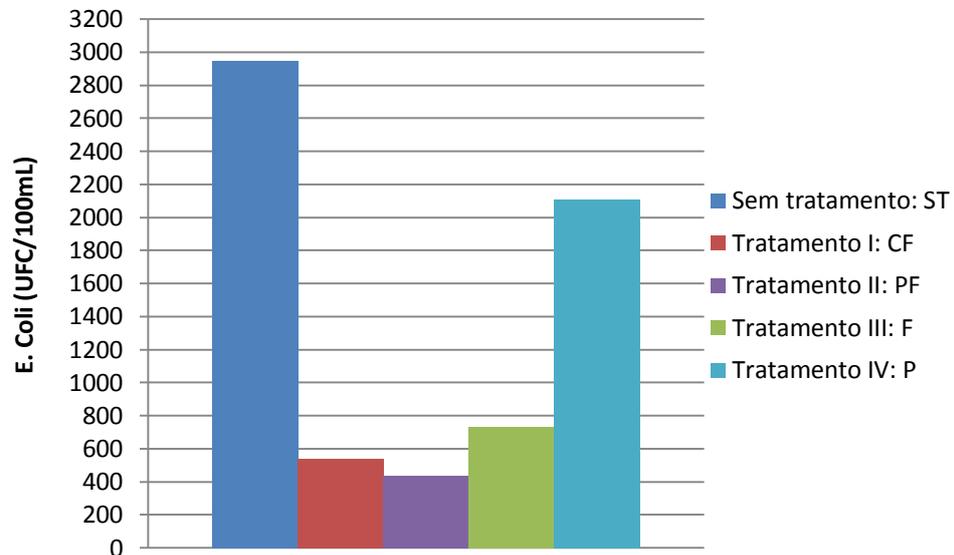
Mendonça (2012) realizou 3 coletas e testou separadamente a eficiência de filtros e potes de barro, além de coador de pano no Assentamento Mata Verde – PE e concluiu que o uso de pote e filtro teve sua eficiência comprovada nos seguintes parâmetros físico-químicos: turbidez e cor aparente. Já o pH, sólidos dissolvidos totais e alcalinidade não foram alterados pelo uso desses equipamentos. Todas as amostras analisadas de potes e filtros de barro estiveram contaminadas por coliformes totais. No que se refere a *E. coli* conseguiu-se obter amostras com ausência dessa bactéria.

**Figura 5.17** – Média aritmética de coliformes totais.



\*Legenda: **ST**: sem tratamento; **CF**: coador de pano + filtro de barro; **F**: filtro de barro; **PF**: pote de barro + filtro de barro; **P**: pote de barro.

**Figura 5.18** – Média aritmética de *E. coli*.



\*Legenda: **ST**: sem tratamento; **CF**: coador de pano + filtro de barro; **F**: filtro de barro; **PF**: pote de barro + filtro de barro; **P**: pote de barro.

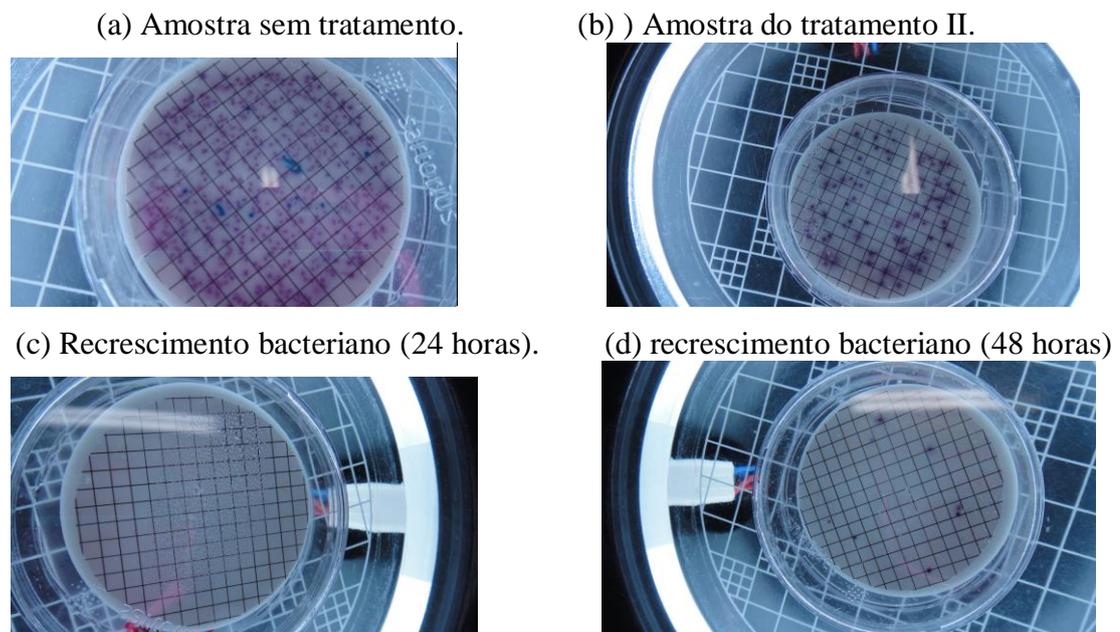
Como em nenhum tratamento se conseguiu atingir 100% de eficiência na remoção de *E. coli* e coliformes fecais foi necessário o uso de pós-tratamento. A técnica SODIS é que foi avaliada.

Para a realização do processo SODIS como pós-tratamento, foram utilizadas garrafas PET com cobertura preta e aeração de 20 segundos, anterior à exposição solar. Após o SODIS se atingiu 100% de eficiência na inativação de *E. coli* e coliformes totais, para todos os 4 tratamentos citados anteriormente, uma vez que os tratamentos já haviam promovido boa diminuição da contaminação bacteriana.

Considerando o possível recrescimento de bactérias nas águas desinfetadas pelo SODIS, visto que a desinfecção solar não tem ação residual foi realizado o recrescimento bacteriano com 24 e 48 horas após a realização do SODIS. Os resultados mostraram que em 100% das amostras, após a realização do SODIS e análise da água armazenada nas garrafas, houve ausência de coliformes totais e *E. coli*. Considerando o recrescimento de 24 horas, ou seja, após a realização do processo SODIS, as garrafas permaneceram armazenadas para análise posterior, verificou-se que 21% das amostras apresentaram presença de coliformes totais e 100% das amostras houve ausência de *E. coli*. Ao avaliar as amostras com 48 horas de repouso, verificou-se recrescimento bacteriano em 33% das amostras de coliformes totais e permanência da ausência de *E. coli*. Desta forma, constata-se a necessidade do consumo imediato da água

proveniente do processo SODIS, pois foi evidenciado o recrescimento das bactérias que haviam sido inativadas, num intervalo de tempo de 24 e 48 horas após a retirada das garrafas de água da exposição solar. As amostras que apresentaram recrescimento com 24 e 48 horas foram provenientes do tratamento IV (pote de barro), o qual apresentou durante todo o período de monitoramento os menores valores de eficiência de inativação de coliformes totais e *E. coli*. A Figura 5.19 ilustra a sequência de placas que foram oriundas da análise do tratamento II, seguido de pós-tratamento, após a incubação das placas para possível detecção de coliformes totais e *E. coli*. Após incubação por 24h a 35°C, são realizadas as leituras. Os pontos em azuis representam as bactérias *E. coli*, e os pontos vermelhos os coliformes totais.

**Figura 5.19** – Etapas do tratamento doméstico seguido do pós-tratamento, com ilustração das placas para contagem de bactérias, do tratamento II (pote de barro + filtro de barro).



Em experimento de desinfecção utilizando a técnica SODIS realizado na comunidade de Robalo, em Sergipe, Félix *et al.* (2009) obtiveram resultados evidenciando que nos 3 experimentos realizados, houve aumento bacteriano após 48 h de confinamento, e o aumento foi maior em amostras inicialmente mais contaminadas. No entanto, os autores afirmaram que o método permitiu inativação da maioria das bactérias. Entretanto, o ensaio com garrafas sob agitação manual produziu bons resultados sobre a ausência do aumento de bactérias após 48 horas de confinamento.

Apesar de não ter sido fruto da pesquisa estudar a interferência da lavagem do elemento filtrante ou do equipamento de filtração, notou-se que a utilização de água com presença de

sólidos dissolvidos e turbidez, acarretou acúmulo de sujeiras nas partes constituintes da vela (Figura 5.20), fazendo-se necessário uma limpeza periódica.

**Figura 5.20** – Ilustração dos resíduos acumulados no compartimento inferior do filtro, onde fica acoplada a torneira.



## 6 CONCLUSÕES

- As cisternas de placas, os desvios das primeiras águas de chuva, a técnica de desinfecção solar - SODIS e uso de equipamentos como pote e filtro de barro, representam importantes tecnologias sociais de acesso a água de melhor qualidade, principalmente em períodos de estiagens, pelo uso de água transportadas por carro-pipa;
- Tendo em vista o conceito de tecnologia social, pode-se afirmar que as tecnologias utilizadas na presente pesquisa podem estar inseridas neste conceito, pois as mesmas são de fácil custo, manuseio, replicação e aquisição;
- Quanto ao monitoramento da qualidade da água armazenada nas 3 cisternas estudadas, verificou-se que dentre os parâmetros físico-químicos analisados, somente cloretos não estiveram em conformidade com a Portaria do MS Nº 2914/11. Verificou-se que tal parâmetro foi excedido em 16% na cisterna C1. Em relação aos parâmetros bacteriológicos, foi detectada a presença de coliformes totais em 100% das amostras analisadas e de *E. coli* em 87% das amostras analisadas;
- Quando se avaliou a influência do desvio das primeiras águas de chuva como barreira sanitária se observou que em todos os parâmetros, tanto físico-químicos quanto bacteriológicos, as menores médias foram encontradas na cisterna C2, que é a única que possuía desvio desde o início do período de monitoramento;
- No teste SODIS verificou-se que a garrafa com cobertura preta e agitação manual foi a que apresentou melhor eficiência de desinfecção solar, pois foi o tipo de cobertura que proporcionou maiores temperaturas da água. Desta forma, a adoção de aparatos simples e de baixo custo, podem aumentar a eficiência da técnica SODIS;
- A concentração de oxigênio na água tem influência sobre a eficiência do processo de desinfecção solar, a qual pode ser conseguida com a agitação das garrafas por alguns segundos;
- Os 4 arranjos de tratamento doméstico testados em laboratório mostraram que os tratamentos não possuem eficiência significativa na remoção de cloretos, dureza, alcalinidade, condutividade e pH. Em relação à turbidez, o tratamento I (coador de pano + filtro de barro) foi o mais eficiente, apresentando eficiência de remoção média de 78%, ao passo que o tratamento II (pote de barro + filtro de barro) apresentou 69% de eficiência de remoção. Em relação aos parâmetros bacteriológicos, os tratamentos I e II apresentaram eficiência de remoção de coliformes totais de 85% e 87%,

respectivamente. Em relação à *E. coli* nota-se uma eficiência de remoção nos tratamentos I e II, respectivamente de 82% e 85%.

- Nos experimentos de desinfecção solar como pós-tratamento, verificou-se eficiência na inativação de 100% de coliformes totais e *E. coli* ainda remanescentes dos 4 tratamentos domésticos testados em laboratório. Entretanto, avaliando o recrescimento bacteriano de 24 horas e 48 horas, sugere-se que a desinfecção solar é um processo eficiente, porém possui algumas limitações, como o consumo da água em 24 horas e condições meteorológicas satisfatórias.

## 7 RECOMENDAÇÕES

- Dar continuidade à pesquisa, aumentando o período de coletas e/ou o número de amostras, de modo que se possa verificar, com significado estatístico, a eficiência dos tratamentos propostos com o decorrer do tempo de armazenamento;
- O tempo da pesquisa não foi suficiente para amadurecer a vela do filtro, desta forma, não houve a formação do biofilme que contribui na purificação da água. O recomendado é estudar de que forma esse biofilme contribui neste processo, e quanto tempo seria necessário para sua formação;
- Variar a qualidade da água, não utilizando apenas a água armazenada em cisternas, com o intuito de detectar a eficiência destes tratamentos;
- Na fase teste do SODIS recomenda-se fazer as análises bacteriológicas de hora em hora, para associar tempo de exposição solar (horas) e radiação solar ( $W/m^2$ ) à eficiência na inativação de microrganismos. Vê-se necessário utilizar um dataloger para registrar a temperatura durante o SODIS;
- Testar os tratamentos em escala real na comunidade, pois os tratamentos foram realizados em escala piloto e com condições controladas, com limpeza regular dos equipamentos e cuidado no manuseio para evitar contaminação.

## 8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.527**: Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_**NBR 5.626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

\_\_\_\_\_**NBR 12.214**: Projeto de sistema de bombeamento de para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_**NBR 16.098**: Aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano – Requisitos e Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ACRA, A.; KARAHAGOPIAN, Y.; RAFFOUL, Z.; DAJANI, R. Disinfection of oral rehydration solutions by sunlight. **The Lancet**. v. 2, p. 1257-1258, 1980.

ALVES, F.; KÖCHLING, T.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. **Journal of Water and Health**. *In Press*.

AMORIM, M. C. C.; PORTO, E R. Avaliação da Qualidade Bacteriológica das Águas de Cisternas: Estudo de Caso no Município de Petrolina-PE. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva, 3., 2001. Campina Grande - PB. **Anais...** Campina Grande: ABCMAC, 2001.

ANDRADE NETO, C. O. de. Proteção Sanitária das Cisternas Rurais. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 11., 2004, Natal - RN. **Anais...** Natal - RN, 2004.

APHA - American Public Health Assotiation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater**. 21<sup>th</sup> ed., Washington DC, 2005.

BELLINGIERI, J.C. Uma análise da indústria de filtros de água no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 50, Blumenau. SC. **Anais...**v. 11, n. 3, p. 31-35, 2006.

BORGES, E. S. M. **Avaliação da eficiência da remoção bacteriológica em unidades domiciliares de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000.

BOTTO, M. P. **Avaliação do processo de desinfecção solar (SODIS) e de sua viabilidade social no estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006.

BRASIL (2011). MINISTÉRIO DA SAÚDE - **Portaria Nº 2914**, de 12 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. 32p, 2011.

BRITO, L.T.L.; PORTO, E.R.; SILVA, A.S.; SILVA, M.S.L.; HERMES, L.C.; MARTINS, S.S. Avaliação das características físico-química e bacteriológicas das águas de cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de: Tecnologias e Construção da Cidadania, 5., 2005, Teresina - PI. **Anais...** Teresina - PI, 2005.

CAVALCANTI, N. de B.; BRITO, L. T. de L.; RESENDE, G. M. Transporte e armazenamento de água para consumo humano no sertão do nordeste em período de seca. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de: Tecnologias e Construção da Cidadania, 5., 2005, Teresina - PI. **Anais...** Teresina - PI, 2005.

CEBALLOS, B. S. O., SOUZA, A. A. P., KONIG, A. Avaliação de três métodos simples de eliminação de bactérias fecais p. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17, Natal - RN. **Anais...** Natal. ABES, 1993, v. 2, p. 395 – 411, 1993.

CIRILO, J. A.; GÓES, V. C.; ASFORA, M. C. Integração das Águas Superficiais e subterrâneas. p. 167-175. In: CIRILO, J. A.; CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J.P.L.; OLIVEIRA, M.J.P.M.; LEITÃO, T.E.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; GÓES, V.C. (2007) Org. **O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas**, ABRH - Editora Universitária UFPE, p.508, 2007.

CLASEN, T. F.; BROWN, J.; COLLIN, S.; SUNTURA, O.; CAIRNCROSS, S. Reducing diarrhea through the use of household-based ceramic water filters: a randomized, controlled trial in Rural Bolivia. **The American Society of Tropical Medicine and Hygiene**. v. 6, n. 70, p. 651 – 657, 2004.

COSTA, A. B. (Org.). **Tecnologia Social e Políticas Públicas**. São Paulo: Instituto Pólis; Brasília: Fundação Banco do Brasil, 2013.

CURITIBA. **LEI nº 10.785**, de 18 de setembro de 2003. Cria no Município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/Default.asp?ID=107&Editoria=9&SubEditoria=46&Ver=1>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

DAGNINO, R. (Org.). **Tecnologia social: ferramenta para construir uma sociedade**. 2ª ed. rev. amp. Campinas – SP: Komedi, 2010.

DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J. R. LIBÂNIO, M.; LUCA, S. J. de. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**, Projeto PROSAB: Métodos alternativos de desinfecção de águas. Coordenador Luiz Antônio Daniel, São Carlos, 2001.

DIAS, T. A tradição e o frescor da cerâmica. **Revista e portal meio filtrante**, Ano VI, ed. 30, jan-fev 2008. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br>>. Acesso em 11 set. 2013.

DILLAHA, T. A., ZOLAN, W. J. Rainwater catchment water quality in Micronesia. **Water Research**. v.19, p. 741-746, 1985.

EAWAG/SANDEC (2002). **A guide for the application of SODIS**. SANDEC Report No. 06/02, 2002, EAWAG/SANDEC, Switzerland, 2002. Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em 18 de agosto 2013.

EAWAG/SANDEC (2006). **Training Manual for SODIS Promotion**. SANDEC Report No. 16/06, 2006, EAWAG/SANDEC, Switzerland, 2006. Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em 18 de agosto 2013.

ELKARMI, A.; ABU-ELTEEN, K.; AL-KARMI, A. Disinfecting contaminated water with natural solar radiation utilizing a disinfection solar reactor in a Semi-arid Region. **Jordan Journal of Biological Sciences**. v. 1, n. 2, p. 47-53, 2008.

EVANS. C. A.; COOMBES, P. J.; DUNSTAN, R. H. Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. **Water Research**. v. 40, p. 37-44, 2006.

FÉLIX, L. F.; CUADROS-ORELLANA, S.; LIMA, A. S.; SOUZA, L. G. M.; ARAÚJO, P. M. M. Solar water disinfection in Northeast Brazil: Kinetics of the process and the study for the development of a pilot plant. **Journal of Engineering Science and Technology**. v. 4, n. 3, p. 328-343, 2009.

FERNANDES, R. M. C., MACIEL, A. L. S. **Tecnologias sociais: experiências e contribuições para o desenvolvimento social e sustentável**. Porto Alegre: Fundação Irmão José Otão. 2010. 42p.

GNADLINGER, J. **Tecnologias apropriadas para Terras Secas: Manejo sustentável de recursos naturais regiões semiáridas no Nordeste do Brasil**. Organizadores: Angela Küster, Jaime Ferré Martí, Ingo Melchers - Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer. 2006.

GNADLINGER, J. Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no Semiárido Brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 6. , 2007. Belo Horizonte - MG. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.

GOMES, J. M. C.; **contribuição para o estudo de sistemas de tratamento de água a adoptar em zonas economicamente desfavorecidas**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia. Universidade Nova de Lisboa. Portugal, 2011.

GOULD, J. E. **Is rainwater safe to drink? A review of recent findings**. In: Proceedings of the Ninth International Rainwater Catchment Systems Conference, 1999.

GRAF, J.; TOGOUET, S. Z.; KEMKA, N.; NIYITEGEKA, D.; MEIERHOFER, R.; PIEBOJI, J. G. Health gains from solar water disinfection (SODIS): evaluation of a water quality intervention in Yaounde', Cameroon. **Journal of Water and Health**. v. 8, n. 4, p. 779-796, 2010.

GUSMÃO, P. T. R. de. **Manual de Orientações – Filtro Doméstico**. Proveniente da Pesquisa: “Filtros domésticos: Avaliação de sua eficácia e eficiência na redução de agentes patogênicos”. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2008.

GUSMÃO, P. T. D. **Filtros domésticos: avaliação de eficácia e eficiência na redução de agentes patogênicos**. 3º Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública / Fundação Nacional de Saúde. Brasília: FUNASA, 2013.

HEIERLI, U. **Marketing safe water systems**. SDC – Swiss Agency for Development and Cooperation, Employment and Income Division. 1ª ed., 2008.

HERCULANO, L. M. L. **Implantação de tecnologias alternativas de saneamento como forma de garantir água de qualidade, quantidade e higiene no semiárido moçambicano. Caso do Distrito de Funhalouro**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

HEYWORTH, J. **A diary study of gastroenteritis and tank rainwater consumption in young children in South Australia**. In: Proceedings of the 10th International Rainwater Catchment Systems Conference, 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Informação sobre os municípios brasileiros**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em 17 nov. 2013.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Monitoramento das Estações Automáticas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>. Acesso em 18 jan. 2014.

ITS- Instituto de Tecnologia Social. Você sabe o que é tecnologia social? Disponível em: <<http://www.itsbrasil.org.br/agenda/o-que-e-tecnologia-social/voce-sabe-o-que-e-tecnologia-social>> Acesso em 25 nov. 2013.

KEHOE, S. C.; JOYCE, T.M.; IBRAHIM, P.; GILLESPIE, J. B.; SHAHAR, R. A.; McGUIGAN, K. G. 2001 Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch process solar disinfectors. **Water Research**. v. 35, n. 4, p. 1061–1065, 2001.

KRUTI, J.; SHILPA, D. Solar Water Disinfection under real conditions with or without Solar collector. **Journal of Environmental Research and Development**. v. 7, n. 2A, oct-dez, 2012.

KWAADSTENIET, M.; DOBROWSKY, P. H.; DEVENTER, A. V.; KHAN, W. CLOETE, T. E. Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems. **Water Air Soil Pollut**. 224:1629, 2013.

LEE, J. Y.; YANG, J-S; HAN, M.; CHOI, J. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. **Science of the Total Environment**. n. 408, p. 896-905, 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

LIMA, J. C. A. L. **Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. Recife - PE, 2012.

LYE, D. J. Health risks associated with consumption of untreated water from household roof catchment systems. *J. Am. Water Research. Assoc.* 38, p. 1301–1306, 2002.

MENDONÇA, Z. C. L. **Tecnologias sociais aplicadas ao saneamento básico em Assentamento rural do semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Pernambuco. Recife – PE, 2013.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cad. Saúde Pública**. v. 10, 99-110, jan-mar, 1994.

MI - Ministério da Integração Nacional (2005). **Nova delimitação do semiárido Brasileiro**. Disponível em: <[www.mi.gov.br](http://www.mi.gov.br)>. Acesso em: 07 dez. 2013.

MI - Ministério da Integração Nacional (2011). **Água para todos**. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/agua-para-todos>>. Acesso em: 05 nov. 2013.

OLIVEIRA, L. A. **Estratégias de educação ambiental para promoção do manejo sustentável dos sistemas de captação de água de chuva em comunidades do Cariri-PB**. 2009. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. Campina Grande - PB.

PÁDUA, V. L. de. (coord.). **Proteção Sanitária das Cisternas Utilizadas na Reservação de Águas Pluviais para Uso Domiciliar: Aspectos Técnicos e Educacionais**. 5º **Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública**. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: FUNASA, 2013.

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. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 10, n. 1, p. 9-13, 2005.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.572**, de 27 de dezembro de 2011. Estabelece normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações do Estado de Pernambuco e dá outras providências. Disponível em: <http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&numero=14572&complemento=0&ano=2011&tipo=>>. Acesso em: 18 out. 2013.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 4.393**, de 16 de setembro de 2004. Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas da chuva e dá outras providências. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/135934/lei-4393-04-rio-de-janeiro-rj>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

RODRIGUES, H. K.; SANTOS, A. L.; BARCELOS, H.P.; PÁDUA, V.L. Dispositivo automático de descarte da primeira água de chuva. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva, 6. , 2007. Belo Horizonte - MG. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.

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

SÃO PAULO. **Lei nº 13.276**, de 04 de janeiro de 2002. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m<sup>2</sup>. Disponível em: <http://www.leispaulistanas.com.br/sites/default/files/ReservatorioDeAgua/LEI%2013276.PDF>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

SAZAKLI, E.; ALEXPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**. v. 41, p. 2039-2047, 2007.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA R. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. O autor, Campina Grande, 226p, 2001.

SILVA, M. J M. Desinfecção de água utilizando energia solar (SODIS): Inativação e recrescimento bacteriano. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 2004.

SILVA, C. V. **Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenado em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2006.

SILVA, S. R. da.; HELLER, L. VALADARES, J. de C; CAIRNCROSS, S. O cuidado domiciliar com a água de consumo humano e suas implicações na saúde: percepções de moradores em Vitória (ES). **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental.** v. 14, n. 4, p. 521-532, 2009.

SILVA, C. V. da.; HELLER, L. CARNEIRO, M. Cisternas para armazenamento de água de chuva e efeito na diarreia infantil: um estudo na área rural do semiárido de Minas Gerais. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental.** v. 17, n. 4, p. 393-400, 2012.

SOBSEY, M. D. **Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply.** Water, Sanitation and Health Department of Protection of the Human Environment: World Health Organization. Geneva, Switzerland, 2002.

SOUZA, S. H. B. **Avaliação da eficiência de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de águas de chuva no semiárido pernambucano.** 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.

WHO - World Health Organization (2011). Evaluating household water treatment options: health-based targets and microbiological performance specifications. World Health Organization. Disponível em: <<http://www.who.int>>. Acesso em 14 set. 2013.

XAVIER, J. B.; PICIOREANU, C.; ALMEIDA, J. S.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Monitorização e modelação da estrutura de biofilmes. **Boletim de Biotecnologia.** n. 76, p. 2-13. 2003.

XAVIER, R. P.; NÓBREGA, R.L.B.; MIRANDA, P.C.; GALVÃO, C.O.; CEBALLOS, B.S.O. Avaliação da eficiência de dois tipos de desvios das primeiras águas de chuva na melhoria da qualidade da água de cisternas rurais. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva, 7., 2009. Caruaru - PE. **Anais...** Caruaru: ABCMAC, 2009.

ZHU, K.; ZHANG. L.; HART, W.; LIU, M.; CHEN, H. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. **Journal of Arid Environments.** v. 57, p. 487-505, 2004.

WEGELIN, M., CANONICA, S., MECHSNER, K., FLEISHMANN, T., PESARO, F., METZLER, A. Solar Water Disinfection: Scope on process and analysis of radiation experiments. **Journal of Water Suply: Research and Technology – Aqua.** v. 43, n. 3, p. 154–169, 1994.

WEGELIN, M.; AHMED, R.; AHMED, N. Progress in solar water disinfection (SODIS).  
**WEDC Conference – Snitation and water for all.** 24<sup>th</sup> ed. Islamabad, Pakistan, 1998.