

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

**MÁRCIO PESSOA BOTTO**

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR (SODIS) E DE SUA  
VIABILIDADE SOCIAL NO ESTADO DO CEARÁ.

FORTALEZA  
2006

MÁRCIO PESSOA BOTTO

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR (SODIS) E DE SUA  
VIABILIDADE SOCIAL NO ESTADO DO CEARÁ.

Dissertação submetida à coordenação do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota

Fortaleza  
2006

MÁRCIO PESSOA BOTTO

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR (SODIS) E DE SUA  
VIABILIDADE SOCIAL NO ESTADO DO CEARÁ.

Dissertação submetida à coordenação do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento Ambiental.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas de ética científica.

Dissertação aprovada com louvor em 14 de agosto de 2006.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará

---

Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos  
Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba

---

Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino  
Universidade Federal do Ceará

Aos meus pais, João Marcos  
e Maria Dina. Ao meu  
irmão Marcos e à minha  
namorada Cláudia. Com  
eterno amor.

# AGRADECIMENTOS

---

Como poderei expressar toda a minha gratidão pelas pessoas que de alguma forma me apoiaram e incentivaram no decorrer da minha pesquisa?

Sei que as palavras que aqui escreverei não significam nada diante do meu contentamento de tê-los perto de mim em cada momento desta caminhada, mas através delas posso externar uma síntese do que mais se aproxima da gratidão eterna que tenho por todos vocês.

## Agradecimento Institucional:

- À Fundação Stanley & Johnson, pelo apoio financeiro à pesquisa, disponibilizando recursos para as análises microbiológicas, viagens e compra de materiais.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de mestrado.
- À Organização Não Governamental CEARAH Periferia pelo apoio logístico e operacional nas ações nas comunidades, pela oportunidade de trabalhar de forma integrada, pelo aprendizado social que me foi proporcionado e pela amizade e carinho de todos os integrantes da família CEARAH Periferia, especialmente, Suzany Costa, Joísa Barroso, Hilda Costa, Regina Maciel e Kirk Douglas.
- À Organização Não Governamental Cáritas Regional Ceará pelo apoio logístico e operacional nas comunidades.
- À Associação dos Amigos da Prainha do Canto Verde, pelo apoio nos trabalhos de campo nas comunidades.
- À Organização Não Governamental NICHOS pela disponibilização de sua estrutura bancária para viabilizar a transação dos recursos financeiros e compras de materiais.
- À Universidade Federal do Ceará pelo aprendizado adquirido no curso de mestrado através de seu corpo docente.
- Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará pela realização de análises laboratoriais.
- À Fundación SODIS – Bolívia, pelo apoio técnico.

## Agradecimento Pessoal:

- Aos meus pais João Marcos Tavares Botto e Maria Dina Pessoa Botto, por uma vida de ensinamentos, carinho e compreensão. Tudo o que eu sou, eu devo a vocês.
- Ao meu irmão Marcos Pessoa Botto, pelo amor fraternal e pelas discussões técnicas que engrandeceram o meu saber.
- À minha namorada Cláudia Maria Frota Lima, por compartilhar todos os momentos de felicidade e de angústia, pela compreensão nas horas de stress e pelo amor e satisfação de tê-la sempre ao meu lado.
- Ao professor e amigo Francisco Suetônio Bastos Mota pela orientação, compreensão e ensinamento.

- Ao professor e amigo Luis Renato Bezerra Pequeno pelas sugestões e pelo incentivo durante o decorrer de todo o mestrado.
- Ao professor e amigo Thales Vinícius de Araújo Viana a quem sou muito grato por ter disponibilizado a estação automática para coleta dos dados de temperatura, uma área no departamento de agrometeorologia para construção das superfícies de exposição e de todas as informações climatológicas presentes nesse estudo.
- À professora Maria Eugênia Vieira da Silva pela ajuda e orientação prestada no início da pesquisa.
- Ao professor Bemvindo Gomes pela amizade, realização das análises laboratoriais e por estar sempre disposto a ajudar e elucidar dúvidas.
- À equipe técnica do laboratório LIAMAR, CEFET, pela ajuda nas análises laboratoriais.
- À professora Beatriz Ceballos pela amizade, contribuição, incentivo durante a pesquisa e participação na banca julgadora.
- Ao amigo e Doutor André Bezerra pela sua contribuição na análise dos dados, pelo seu companheirismo e pelo incentivo no decorrer da pesquisa.
- À professora Marisete Dantas pela amizade e participação na banca julgadora.
- Às amigas, Ana Valéria Sena e Hulda Wehmann pela valiosíssima ajuda na coleta dos dados de campo nas comunidades.
- Aos amigos da turma de mestrado Saneamento Ambiental 2004.1, especialmente, Marcos Erick, Marcus Barbosa, Soraia Gradvohl, Eliezer Abdala, Paulo Henrique, Neyliane, Aparecida Milhone, Gustavo Weyne e Luewton Lemos.
- Aos eternos amigos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Germana Menescal, Gustavo Weyne, Marcus Barbosa, Érika Rocha, André Bezerra e Luis Henrique.
- Ao grande amigo Eriuelton pela sua amizade e por sempre estar presente nas horas em que o computador me deixou na mão.
- Ao eterno amigo Luewton Lemos pela amizade sincera, por compartilhar conhecimento e pelo seu companheirismo.
- À amiga Andréa Ferreira pelo apoio e sugestões nas pesquisas.
- Ao grande amigo Newton Becker pela amizade sincera, ajuda na coleta dos dados de campo e na sistematização dos mapas, pelo seu companheirismo e incentivo constante.
- Aos eternos amigos da engenharia civil, em especial: Yves Mourão, Wesley Serpa, Aroldo Alves, Gilney Bezerra e Daniel Nóbrega.
- Ao René Scharër pela oportunidade concedida de participação no Projeto Alternativas e pelo auxílio financeiro para as análises e despesas de campo.
- Ao Martin Wegelin pelo fornecimento de informações.
- À minha avó Maria Cabral Pessoa.
- Aos familiares: Francisca Maria Frota Lima, José Gomes A. Lima, Lívia Maria Frota Lima e José Fábio Frota Lima pelo incentivo constante.

Agradecimento especial:

Aos moradores das comunidades: Camurim, Nova Esperança, Prainha do Canto Verde e Cidade de Deus, especialmente aos multiplicadores.

***“Assim verei a minha gente  
com esperança de vida:  
alegria em cada casa e a  
água muito bem servida”***

Verso da comunidade do Pacífico colombiano. Em “Que Água Beberemos”. Projeto Cinara, Universidad del Valle, UNICEF, IRC, OMS, Cali.

## RESUMO

---

Apesar da importância do saneamento ambiental para o bem-estar do homem e para a conservação dos recursos naturais, uma grande parcela da população mundial não tem acesso aos serviços básicos de saneamento. Uma técnica caseira que vem sendo estudada e aplicada em países em desenvolvimento, como uma tecnologia segura para o tratamento microbiológico de água é a desinfecção solar, SODIS. Este método utiliza apenas o sol e garrafas PET como insumo. Atualmente, cerca de um milhão de pessoas utiliza regularmente o SODIS em 20 diferentes países. O presente estudo avaliou a eficiência de inativação de coliformes termotolerantes segundo o efeito da aerobiose, por meio da agitação manual das garrafas e da utilização de diferentes superfícies de exposição sob as condições climáticas do Estado do Ceará, bem como a viabilidade social deste método em quatro comunidades inseridas em cenários distintos (rural, litorâneo e urbano). Para tanto, compararam-se amostras agitadas e não agitadas, e amostras expostas sobre superfícies distintas: concreto pintado de branco, concreto pintado de preto, telha de barro, telha de amianto e bacias de alumínio. Para o estudo da viabilidade social, foram aplicados questionários aos usuários do método e analisadas amostras da água bruta e tratada pelo método SODIS. Verificou-se que apesar da agitação aferir uma concentração de 0,75mg/L a mais de OD nas amostras agitadas, esse efeito não foi capaz de aumentar significativamente a eficiência de inativação para essas amostras. O decaimento médio bacteriano das amostras agitadas foi 1,10 vezes maior comparado às amostras não agitadas. Os dados obtidos na etapa de superfície indicaram que também não há diferença significativa (teste T de Student, nível de confiança 0,05) de inativação em expor as garrafas sobre qualquer uma das superfícies pesquisadas. O decaimento médio bacteriano foi de:  $0,3049h^{-1}$ ,  $0,2624h^{-1}$ ,  $0,3152h^{-1}$ ,  $0,2747h^{-1}$ ,  $0,2874h^{-1}$ , respectivamente, para as amostras sobre o concreto pintado de branco, concreto pintado de preto, telha de amianto, telha de barro e bacia de alumínio. A máxima temperatura da água foi de 44°C e ainda assim obteve-se mais de 99,99% de remoção de coliformes termotolerantes em todos os ensaios. Em 67% dos ensaios, o SODIS foi capaz de inativar completamente concentrações de coliformes termotolerantes acima de  $10^5$  NMP.100mL<sup>-1</sup> durante as seis horas de exposição. O estudo de campo mostrou que o SODIS melhorou a qualidade microbiológica da água das quatro comunidades pesquisadas. No entanto, a permanência e em alguns casos a proliferação do indicador foi verificado quando os usuários expuseram as garrafas em locais sombreados. O SODIS foi bem aceito nas comunidades rurais e litorâneas, atingindo níveis de aceitação acima de 45%, se comparado aos da comunidade urbana, com apenas 8%. Além da grande aceitação do método, mais de 80% dos usuários responderam que iriam continuar a usar o SODIS.

**Palavras chave:** desinfecção solar, SODIS, tratamento de água, oxigênio dissolvido, superfície de exposição, aceitação social.

## ABSTRACT

---

Despite the importance of sanitation for well-being of the mankind and the natural resources conservation, still today a large proportion of the World's people do not have access to wastewater system neither to public water supply. One technique which has been studied and applied in developing countries as a safe household water treatment method is the solar disinfection, SODIS. The only two elements demanded to this method are PET bottles and the sun. Nowadays, around one million people use SODIS regularly in 20 different countries. This study evaluated the fecal coliform bacteria inactivation efficiency according to the effect of bottles' agitation and the use of different exposition surfaces under of State of Ceará climatic conditions, as well as SODIS social viability in four communities at distinct geographical location (peri-urban, rural and coastal). To achieve this, agitated and non-agitated samples and five different surfaces: concrete spotted in white color, concrete spotted in black color, abobe roofing tile, asbestos roofing tile and aluminum basins were investigated. To evaluate social acceptability, questionnaires had been applied to all users SODIS and raw water and treated water by SODIS were analyzed. It was verified that despite the agitation surveying a concentration more than 0,75mg/L of OD in the agitated samples, this effect was not capable to increase significantly the inactivation efficiency in these samples. The mean decay constant for bacterial population in agitated bottles was found to be a factor of 1.10 higher than in non-agitated bottles. The surface investigation indicated that no significant difference (paired Student's T-test at  $P=0,05$  significance level of  $\log_{10}$  transformed data) in inactivating fecal coliforms by exposing the bottles over the five surfaces examined were observed. The mean decay constant for bacterial population was:  $0,3049\text{h}^{-1}$ ,  $0,2624\text{h}^{-1}$ ,  $0,3152\text{h}^{-1}$ ,  $0,2747\text{h}^{-1}$ ,  $0,2874\text{h}^{-1}$ , respectively for the sample exposed over concrete spotted in white color, concrete spotted in black color, abobe roofing tile, asbestos roofing tile and aluminum basins. The maximum water temperature reached was  $44^{\circ}\text{C}$  and still thus, it was obtained reduction more than 99.99% of fecal coliforms. In 67% of the assays, SODIS was capable to completely inactivate concentrations of fecal coliforms above  $10^5 \text{NMP.100mL}^{-1}$  within six hours of exposition. The field study had shown that SODIS improved the microbiological water quality in the four communities. However, the permanence and in some cases the increase of fecal coliforms was verified when the users exposed the bottles in shaded areas. SODIS was well received in rural and coastal communities reaching acceptance levels over than 45%, compared to urban community, with only 8%. Beyond the great acceptance of the method, over 80% of the users answered that they would continue to use SODIS.

**Keywords:** solar disinfection, SODIS, water treatment, dissolved oxygen, exposed surface, social acceptability.

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1</b> - Mapa do Brasil dos domicílios sem abastecimento de água por rede geral.	26
<b>Figura 2</b> - Mapa dos domicílios do Ceará sem abastecimento de água por rede geral.	28
<b>Figura 3</b> - Mapa dos domicílios do Ceará sem esgotamento adequado. ....	29
<b>Figura 4</b> - Mapa dos domicílios do Ceará sem banheiro ou sanitário .....	29
<b>Figura 5</b> - Faixas da radiação solar visível.....	36
<b>Figura 6</b> - Zonas de viabilidade solarimétrica que mais se aplicam para o uso da desinfecção solar.....	38
<b>Figura 7</b> - Redução da radiação UV-A em função da profundidade da lâminha d'água e turbidez. ....	42
<b>Figura 8</b> - Curvas de inativação de <i>E.coli</i> em águas com 0, 30, 100 e 300NTU de turbidez expostas à radiação da Malásia.....	43
<b>Figura 9</b> – Taxa de inativação de coliformes termotolerantes pelo tempo de exposição para diferentes amostras: ar e UV, UV somente e ar somente. ....	47
<b>Figura 10</b> - Área experimental - Estação climatológica UFC. Fortaleza, Ceará. 2005.	55
<b>Figura 11</b> – Superfícies de exposição das garrafas (Fase 1). Fortaleza, Ceará. 2005 ...	57
<b>Figura 12</b> - Agitação manual das garrafas. Fortaleza, Ceará. 2005.....	60
<b>Figura 13</b> - Desenho esquemático da etapa com agitação das garrafas.....	61
<b>Figura 14</b> - Garrafas agitadas e não agitadas expostas à radiação solar. Fortaleza, Ceará. 2005 .....	62
<b>Figura 15</b> - Desenho esquemático com variação dos tipos de superfícies suportes das garrafas. ....	65
<b>Figura 16</b> - Garrafas expostas à radiação solar sobre diferentes superfícies: bacia de alumínio; cimento pintado de preto; cimento pintado de branco; telha de barro; telha de amianto. Fortaleza, Ceará. 2006. ....	66
<b>Figura 17</b> - Parâmetros do solver para otimização da função objetivo .....	72
<b>Figura 18</b> - Localização dos municípios selecionados para a pesquisa no Estado do Ceará. 2004.....	74
<b>Figura 19</b> – Valores médios, máximos, mínimos de radiação solar global registrados em 2004 e 2005 das 06:30 as 17:00, em Fortaleza, Ceará, e valores mínimos necessários para realizar o SODIS: 500W/m <sup>2</sup> e 600W/m <sup>2</sup> . ....	82
<b>Figura 20</b> - Valores de radiação solar e cobertura do céu por nuvens no ano de 2004. Fortaleza, Ceará.....	83
<b>Figura 21</b> - Valores de radiação solar e cobertura do céu por nuvens no ano de 2005. Fortaleza, Ceará.....	84
<b>Figura 22</b> - Variação da radiação solar global com o aumento de precipitação no ano 2004, e zona limite para desinfecção. Fortaleza, Ceará.....	85
<b>Figura 23</b> - Histograma dos dados de radiação solar com intervalo de 30 minutos entre o período de 09:00horas e 14:00horas de 2004 e 2005, gerado pelo SPSS.....	86

<b>Figura 24</b> - Histograma dos dados de radiação solar com intervalo de 30 minutos entre o período de 11:00horas e 13:00horas de 2004 e 2005, gerado pelo SPSS.....	86
<b>Figura 26</b> - Concentração média de OD das amostras agitadas e não agitadas em função do tempo. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005.....	89
<b>Figura 27</b> - Diagrama de dispersão mostrando a regressão linear de OD (mg/L) em função da temperatura (°C) para amostras agitadas e não agitadas. Pesquisa sobre SODIS, Fortaleza, Ceará. 2005. ....	90
<b>Figura 28</b> - Resultados médios de concentração de coliformes termotolerantes ao longo de 6 horas de exposição ao sol (amostras agitadas, não agitadas e controle). Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005.....	92
<b>Figura 29</b> - Teste estatístico t de student comparando as médias de OD das amostras agitadas e não agitadas com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre o SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005. ....	96
<b>Figura 30</b> - Teste estatístico t de student comparando as médias de concentração de coliformes termotolerante das amostras agitadas e não agitadas com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre SODIS, Fortaleza, Ceará. 2005.....	98
<b>Figura 31</b> - Valores médios de temperatura da água durante ao longo do período de período de exposição das amostras sobre as diferentes superfícies: concreto pintado de branco, concreto pintado de preto, bacia de alumínio, telha de amianto e telha de barro. Pesquisa sobre o SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005/2006.....	101
<b>Figura 32</b> – Inativação média de coliformes termotolerantes das amostras sobre as superfícies: concreto pintado de branco, concreto pintado de preto, telha de amianto, telha de barro e bacia de alumínio. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006....	104
<b>Figura 34</b> - Diagrama de dispersão correlacionando as temperaturas médias da água (°C) durante o horário de exposição ao sol e as constantes médias de inativação de todas as superfícies ( $h^{-1}$ ) para os três dias de ensaio. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006. ....	110
<b>Figura 35</b> - Diagrama de dispersão correlacionando as radiações médias globais ( $W/m^2$ ) durante o horário de exposição ao sol e as constantes médias de inativação de todas as superfícies ( $h^{-1}$ ) para os três dias de ensaio. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006. ....	110
<b>Figura 36</b> - Teste estatístico t de student comparando as médias de temperatura das amostras sobre a superfície concreto pintado de preto e bacia de alumínio com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	113
<b>Figura 37</b> - Teste estatístico t de student comparando as médias de temperatura das amostras sobre a superfície concreto pintado de preto e telha de amianto com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	114
<b>Figura 38</b> - Teste estatístico t de student comparando as médias de temperatura das amostras sobre a superfície concreto pintado de preto e telha de amianto com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	116
<b>Figura 39</b> - Forma de abastecimento de água das comunidades: Cidade de Deus, Nova Esperança, Camurim e Prainha do Canto Verde. Estado do Ceará. 2005.....	119
<b>Figura 40</b> - Classificação do usuário da qualidade de água consumida. Comunidades do Ceará. 2005.....	123

<b>Figura 41</b> - Percepção quanto à água de boa qualidade. (razão pela qual considera a água de boa qualidade). Comunidades do Ceará. 2005.....	124
<b>Figura 42</b> - Percepção quanto à água de má ou de péssima qualidade. (razão pela qual considera a água de má ou péssima qualidade). Comunidades do Ceará. 2005.....	124
<b>Figura 43</b> – Agitação das garrafas pelos usuários antes de expor ao sol. Comunidades do Ceará. 2005.....	126
<b>Figura 44</b> - Resultados de sustentabilidade da tecnologia SODIS, com relação de continuar a usar o SODIS. Estado do Ceará. 2005.....	131
<b>Figura D 1</b> – Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras não agitadas. Teste estatístico (t de Student): $p = 0,961$ .....	168
<b>Figura D 2</b> - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras agitadas. Teste estatístico (t de Student): $p = 0,956$ .....	168
<b>Figura D 3</b> - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre concreto pintado de branco. Teste estatístico (t de Student): $p = 0,845$ .....	169
<b>Figura D 4</b> - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre concreto pintado de preto. Teste estatístico (t de Student): $p = 0,752$ .....	169
<b>Figura D 5</b> - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre telha de amianto. Teste estatístico (t de Student): $p = 0,915$ .....	170
<b>Figura D 6</b> - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre telha de barro. Teste estatístico (t de Student): $p = 0,680$ .....	170
<b>Figura D 7</b> - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre bacia de alumínio. Teste estatístico (t de Student): $p = 0,828$ .....	171
<b>Figura F 1</b> - Questionário - Pré-diagnóstico.....	182
<b>Figura F 2</b> - Questionário de Reconhecimento.....	183
<b>Figura F 3</b> - Questionário SODIS 1.....	184
<b>Figura F 4</b> - Questionário SODIS 2.....	185
<b>Figura F 5</b> - Questionário Aceitabilidade.....	186
<b>Figura G 1</b> - Garrafas SODIS expostas sobre telhado de barro em Camurim.....	188
<b>Figura G 2</b> - Garrafas SODIS expostas sobre cisterna de placa em Camurim.....	188
<b>Figura G 3</b> - Garrafas expostas à radiação sobre telhado de barro de forma equivocada, em locais sombreados.....	189
<b>Figura G 4</b> - Garrafas expostas à radiação sobre cisterna de placas de forma equivocada, em locais sombreados.....	189
<b>Figura G 5</b> - Oficina de sensibilização em Nova Esperança.....	190
<b>Figura G 6</b> - Oficina de sensibilização em Camurim.....	190
<b>Figura G 7</b> - Capacitação dos multiplicadores na Prainha do Canto Verde.....	191
<b>Figura G 8</b> - Usuários SODIS em Nova Esperança.....	191
<b>Figura ANEXO 1</b> - Material distribuído aos multiplicadores, utilizado na difusão do SODIS.....	195

## LISTA DE TABELAS

---

<b>Tabela 1</b> - Mortalidade proporcional (%) por doença diarréica aguda em menores de cinco anos de idade. Brasil e grandes regiões – 1991, 1996 e 1998.....	26
<b>Tabela 2</b> - Indicadores de Cobertura de Serviços de Saneamento na área rural do estado do Ceará, ano de 2002. ....	30
<b>Tabela 3</b> - Principais doenças de veiculação hídrica. ....	32
<b>Tabela 4</b> - Métodos físicos de tratamento de água em escala doméstica. ....	34
<b>Tabela 5</b> - Faixas espectrais da radiação solar.....	35
<b>Tabela 6</b> -Tempo de inativação dos microrganismos inoculados em água expostos à radiação solar em recipientes de vidro Pyrex. ....	40
<b>Tabela 7</b> -Investigação sobre a eficiência do SODIS utilizando-se diferentes organismos.....	45
<b>Tabela 8</b> - Instituições que difundem o SODIS na América Latina. ....	50
<b>Tabela 9</b> – Níveis de risco à saúde em função da concentração de coliformes termotolerantes nos sistemas de abastecimento de água. ....	53
<b>Tabela 10</b> – Quadro geral dos ensaios SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005/2006. ....	67
<b>Tabela 11</b> - Parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água. Pesquisa sobre o SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005/2006. ....	69
<b>Tabela 12</b> - Cronograma físico dos ensaios técnicos.....	70
<b>Tabela 13</b> - Tabela de aplicação do modelo cinético de 1º ordem .....	72
<b>Tabela 14</b> - Cronograma das atividades desenvolvidas em campo (comunidades). Pesquisa sobre o SODIS. Ceará.....	78
<b>Tabela 15</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos da água bruta inoculada com esgoto doméstico antes de ser exposta a luz solar. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará...	88
<b>Tabela 16</b> – Eficiência média na inativação de coliformes termotolerantes – etapa de agitação. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005. ....	91
<b>Tabela 17</b> - Concentração média de coliformes termotolerantes nas amostras controle – etapa de agitação.....	92
<b>Tabela 18</b> - Modelo cinético de 1º ordem e constante de decaimento bacteriano das amostras não agitadas. Pesquisa sobre o SODIS, Fortaleza, Ceará. 2005.....	94
<b>Tabela 19</b> – Modelo cinético de 1º ordem e constante de decaimento bacteriano das amostras agitadas. Pesquisa sobre o SODIS, Fortaleza, Ceará. 2005. ....	94
<b>Tabela 20</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos da água bruta já diluída com esgoto doméstico para os ensaio da etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	99
<b>Tabela 21</b> - Valores médios de temperatura das amostras de água coletados no período de 12 de dezembro a 14 de fevereiro de 2006. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. Dezembro de 2005 a fevereiro de 2006.....	100

<b>Tabela 22</b> - Valores de desvio padrão de temperatura das amostras de água referentes às médias diárias e às médias obtidas durante o horário de pico de radiação (09h00min a 15h00min). Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. Dezembro de 2005 a fevereiro de 2006. ....	100
<b>Tabela 23</b> – Concentração média de coliformes termotolerante em função do tempo de exposição – etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	102
<b>Tabela 24</b> - Eficiência média de inativação de coliformes termotolerantes – etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	103
<b>Tabela 25</b> - Concentração média de coliformes das amostras de controle – etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	103
<b>Tabela 26</b> - Modelo cinético de 1° ordem das amostras de água colocadas sobre a superfície concreto pintado de branco. Pesquisa SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006. ....	105
<b>Tabela 27</b> - Modelo cinético de 1° ordem das amostras colocadas sobre a superfície concreto pintado de preto Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	106
<b>Tabela 28</b> - Modelo cinético de 1° ordem das amostras colocadas sobre a superfície telha de amianto. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006. ....	106
<b>Tabela 29</b> - Modelo cinético de 1° ordem das amostras colocadas sobre a superfície telha de barro. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	107
<b>Tabela 30</b> - Modelo cinético de 1° ordem das amostras colocadas sobre a superfície bacia de alumínio. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006. ....	107
<b>Tabela 31</b> – Constantes de decaimento bacteriano e temperaturas médias diárias das amostras de água sobre as cinco superfícies. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	109
<b>Tabela 32</b> - Constantes de decaimento bacteriano e valores médios diários de radiação solar global. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.....	109
<b>Tabela 33</b> - Termotolerancia de microrganismos.....	111
<b>Tabela 34</b> – Aplicação de algum método de tratamento de água caseiro antes (março de 2005) e depois (maio 2005) da ação dos multiplicadores nas quatro comunidades pesquisadas. Estado do Ceará. 2005.....	120
<b>Tabela 35</b> – Método de tratamento de água caseiro utilizado pelas famílias antes da ação dos multiplicadores, em março de 2005. Estado do Ceará.....	121
<b>Tabela 36</b> – Método de tratamento de água caseiro utilizado pelas famílias depois da ação dos multiplicadores, em maio de 2005. Estado do Ceará.....	121
<b>Tabela 37</b> - Tipo de superfície utilizada pelos usuários SODIS para exposição das garrafas. Comunidades do Ceará. 2005.....	126
<b>Tabela 38</b> - Resultados microbiológicos da água tratada pelo método SODIS nas quatro comunidades. Estado do Ceará. 2005.....	128
<b>Tabela 39</b> - Problemas com o SODIS relatados pelos usuários. Estado do Ceará. 2005. ....	130
<b>Tabela 40</b> - Resultados da pesquisa sobre aceitação do SODIS realizada pelo Instituto EAWAG.....	132

<b>Tabela A 1</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras de água bruta e de controle da etapa de agitação.....	146
<b>Tabela A 2</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras não agitadas expostas à radiação solar.....	147
<b>Tabela A 3</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras agitadas expostas à radiação solar.....	148
<b>Tabela A 4</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras de água bruta e de controle da etapa de superfície .....	149
<b>Tabela A 5</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre o concreto pintado de branco .....	150
<b>Tabela A 6</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre o concreto pintado de preto .....	151
<b>Tabela A 7</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre a telha de amianto.....	152
<b>Tabela A 8</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre a telha de barro .....	153
<b>Tabela A 9</b> - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre a bacia de alumínio.....	154
<b>Tabela B 1</b> - Monitoramento da temperatura da água das garrafas sobre superfícies: concreto branco, concreto preto, telha de barro, bacia de alumínio e telha de amianto, durante o horário de pico de radiação no período de 13 de dezembro de 2005 a 14 de fevereiro.....	156
<b>Tabela C 1</b> - Temperatura do ar (°C) e radiação solar global (W/m <sup>2</sup> ) durante os ensaios da etapa de agitação.....	165
<b>Tabela C 2</b> - Temperatura do ar (°C) e radiação solar global (W/m <sup>2</sup> ) durante os ensaios da etapa de superfície .....	166
<b>Tabela ANEXO 1</b> - Diluições decimais das amostras em séries de cinco tubos contendo meio A1 – Etapa de agitação. ....	193
<b>Tabela ANEXO 2</b> - Diluições decimais das amostras em séries de cinco tubos contendo meio A1 – Etapa de superfície.....	194

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---

a.C	- antes de Cristo (tempo)
Cagece	- Companhia de água e esgoto do Ceará
CINARA	- Instituto de Investigação e Desenvolvimento em Água Potável, Saneamento Básico e Conservação dos Recursos Hídricos – Colômbia
DNA	- ácido desoxirribonucléico
EAWAG	- Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMTA	- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INRESA	- Associação do Sistema Integrado de Energia Rural – Canadá
OMS (WHO)	- Organização Mundial de Saúde
ONG	- Organização Não Governamental
OPS	- Organização Pan-americana de Saúde
P1MC	- Programa 1 Milhão de Cisternas (Programa do governo federal)
PET	- Polietileno Tereftalato
PROSAB	- Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SANDEC	- Department of Water and Sanitation in Developing Countries
SEINFRA	- Secretaria da Infra-estrutura do Estado do Ceará
SODIS	- Solar disinfection
SOPAS	- Solar Pasteurization
THM	- Trihalomethanes (Trihalometanos)
Unicef	- Fundo das Nações Unidas para Infância e Adolescência (United Nations Children's Fund)
UV	- Radiação Ultravioleta
WSSCC	- Water Supply & Sanitation Collaborative Council

## LISTA DE SIMBOLOS

---

cm	- centímetro
$e$	- algarismo neperiano
h	- hora
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	- Peróxido de hidrogênio
kg	- Quilograma
KJ/(kg°C)	- unidade de calor específico (kilojoule por quilograma por °C)
kJ/m <sup>2</sup> /dia	- Quilojoule por metro quadrado por dia (unidade)
L	- litro
L/h	- litro por hora
m	- metro
mg/L	- miligrama por litro
min	- minuto
MJ/m <sup>2</sup>	- megajoule por metro quadrado
mL	- mililitro
mm	- milímetro
nm	- nanômetro (10 <sup>-9</sup> metros )
NMP	- Número Mais Provável
°C	- graus centígrados
OH <sup>-</sup>	- íon hidroxila
uT	- unidade de Turbidez
W/m <sup>2</sup>	- Watt por metro quadrado
$\mu$	- micro
$\mu$ W/cm <sup>2</sup>	- micro watt por centímetro quadrado
$\Sigma$	- somatório

# SUMÁRIO

---

<b>RESUMO.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....</b>	<b>16</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS .....</b>	<b>17</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>18</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>23</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. PANORAMA DA FALTA DE ÁGUA TRATADA; UMA CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.24</b>	
3.1.1. <i>Contexto mundial .....</i>	24
3.1.2. <i>Contexto nacional .....</i>	25
3.1.3. <i>Contexto estadual.....</i>	27
<b>3.2. SAÚDE PÚBLICA E SANEAMENTO.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3. PROCESSOS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVOS DE DESINFECÇÃO DE ÁGUA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4. ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>35</b>
3.4.1. <i>Distribuição e caracterização espectral da radiação solar para a desinfecção .....</i>	37
<b>3.5. DESINFECÇÃO SOLAR: UMA ABORDAGEM GERAL.....</b>	<b>39</b>
3.5.1. <i>O início da desinfecção solar.....</i>	39
3.5.2. <i>Características e eficiência da desinfecção solar.....</i>	41
3.5.3. <i>Tipo de recipiente utilizado no processo.....</i>	46
3.5.4. <i>O efeito da agitação .....</i>	46
3.5.5. <i>Superfície de Exposição .....</i>	48
3.5.6. <i>Aplicação em campo .....</i>	49
3.5.7. <i>Pesquisas sociais.....</i>	51
3.5.8. <i>Legislação e qualidade microbiológica de água .....</i>	53
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1. FASES DA PESQUISA E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2. PRIMEIRA FASE – EFICIÊNCIA DO SODIS.....</b>	<b>56</b>
4.2.1. <i>Estudo do efeito da agitação da água.....</i>	57
4.2.2. <i>Etapa de exposição das garrafas em diferentes superfícies.....</i>	62
4.2.3. <i>Monitoramento da Temperatura .....</i>	66
4.2.4. <i>Quadro Geral.....</i>	67
4.2.5. <i>Parâmetros analisados.....</i>	68
4.2.6. <i>Cronograma dos ensaios.....</i>	70
4.2.7. <i>Análises matemáticas .....</i>	70
<b>4.3. SEGUNDA FASE – APLICAÇÃO EM CAMPO.....</b>	<b>73</b>
4.3.1. <i>Área de Estudo .....</i>	74
4.3.2. <i>Transferência da Tecnologia à comunidade .....</i>	75
4.3.3. <i>Caracterização da amostra e período do estudo .....</i>	77
4.3.4. <i>Análises microbiológicas das amostras processadas pela comunidade .....</i>	77
4.3.5. <i>Cronograma das atividades realizadas nas comunidades .....</i>	78

<b>4.4. ESTUDO ESTATÍSTICO.....</b>	<b>78</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS – ESTADO DO CEARÁ .....</b>	<b>81</b>
5.1.1. <i>Melhor horário de exposição .....</i>	81
5.1.2. <i>Condições de nebulosidade.....</i>	83
5.1.3. <i>Viabilidade climática do SODIS no Estado do Ceará .....</i>	85
<b>5.2. ETAPA DO EFEITO DE AGITAÇÃO DA ÁGUA .....</b>	<b>88</b>
5.2.1. <i>Dados da amostra inoculada com esgoto .....</i>	88
5.2.2. <i>Oxigênio dissolvido e temperatura da água.....</i>	89
5.2.3. <i>Eficiência da agitação.....</i>	91
5.2.4. <i>Modelagem matemática da desinfecção.....</i>	93
<b>5.3. ESTUDO ESTATÍSTICO.....</b>	<b>95</b>
5.3.1. <i>Verificação da normalidade.....</i>	95
5.3.2. <i>Concentração de oxigênio dissolvido.....</i>	96
5.3.3. <i>Influência da agitação na inativação.....</i>	97
<b>5.4. ETAPA DE EXPOSIÇÃO DAS GARRAFAS EM DIFERENTES SUPERFÍCIES .....</b>	<b>99</b>
5.4.1. <i>Dados da amostra inoculada com esgoto .....</i>	99
5.4.2. <i>Monitoramento da temperatura da água dentro das garrafas.....</i>	99
5.4.3. <i>Eficiência das superfícies suporte das garrafas.....</i>	102
5.4.4. <i>Modelagem matemática .....</i>	105
<b>5.5. ESTUDO ESTATÍSTICO.....</b>	<b>112</b>
5.5.1. <i>Verificação da normalidade.....</i>	112
5.5.2. <i>Efeito da temperatura.....</i>	112
5.5.3. <i>Influência da superfície de exposição na inativação .....</i>	115
<b>5.6. APLICAÇÃO DO SODIS EM CAMPO .....</b>	<b>116</b>
5.6.1. <i>Pré-diagnóstico .....</i>	117
5.6.2. <i>Pesquisa SODIS .....</i>	118
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>133</b>
6.1. <b>QUANTO AOS ASPECTOS TÉCNICOS.....</b>	<b>133</b>
6.2. <b>QUANTO AOS ASPECTOS SOCIAIS .....</b>	<b>135</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>137</b>
7.1. <b>QUANTO AOS ASPECTOS TÉCNICOS.....</b>	<b>137</b>
7.2. <b>QUANTO AOS ASPECTOS SOCIAIS .....</b>	<b>138</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>139</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>145</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>155</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>167</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>172</b>
<b>APÊNDICE F .....</b>	<b>178</b>
<b>APÊNDICE G .....</b>	<b>187</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>192</b>

## 1. INTRODUÇÃO

---

O homem, com suas atitudes voltadas para um desenvolvimento irracional, é o causador de um dos problemas mais sérios na atualidade, a escassez e poluição dos recursos hídricos. A situação de maior precariedade se encontra nos bolsões de pobreza, nas favelas, nas periferias das cidades, na zona rural, principalmente em áreas difusas, pois além da escassez, essa população não dispõe de uma infra-estrutura adequada de abastecimento e tratamento de água.

A falta do abastecimento universal e igualitário de água tratada para a população é uma característica presente em países em desenvolvimento. Devido ao lançamento de efluentes de esgoto natural com elevada carga de poluição nos recursos hídricos e suas proximidades, a população está sujeita a captar uma água de poços ou mananciais superficiais, imprópria sanitariamente para consumo humano.

Apesar dos esforços realizados nas décadas de 80 e 90 para prover condições adequadas de saneamento, ainda hoje cerca de 1,1 bilhão de pessoas não possuem acesso a um abastecimento de água de boa qualidade (WHO/UNICEF, 2000). As crianças são as mais susceptíveis às doenças de veiculação hídrica, refletindo em um total de aproximadamente 2,2 milhões de crianças de 0 a 5 anos mortas por ano. Estima-se que 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos dos países em desenvolvimento sejam causados pelo consumo de água contaminada. (AGENDA 21, 2001)

O Brasil, bem como outros países da América Latina, se enquadra nesta realidade. Devido a custos elevados e a necessidade de mão-de-obra local especializada, não é possível fornecer, em curto prazo, uma água tratada a partir de métodos convencionais à população situada em áreas difusas. A construção de sistemas grandes e centralizados, nessas condições, não é uma boa opção, pois não podem ser mantidos por recursos locais. Porém, a necessidade de água tratada é imediata. Segundo WHO/UNICEF (2000), não se pode esperar pelos grandes investimentos em infra-estruturas para fornecer água saudável para todos os que precisam dela. Seria inaceitável não considerar as prioridades imediatas dos mais necessitados.

Wegelin *et al.* (1994) sugerem algumas ações essenciais para fornecer água desinfetada para essa população, como a redução de custos dos sistemas de abastecimento de água através do incremento de tecnologias apropriadas e de baixo custo, e também que esses sistemas possam ser geridos e sustentados a partir de recursos locais.

A fervura, e o uso de hipoclorito de sódio, pastilhas de cloro, filtro cerâmico e radiação ultravioleta são métodos de tratamento físico e químico já difundidos e aplicados em diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Algumas dessas técnicas já foram testadas sob condições controladas em laboratório e avaliadas em campo quanto a sua eficiência na produção de água com qualidade microbiológica aceitável. (WHO, 2002). Em nível doméstico, a fervura e o uso de compostos de cloro são comumente utilizados para desinfecção. Segundo Caslake *et al.* (2004), a falta de recursos e de infra-estrutura de distribuição torna a aplicação de métodos como a cloração caseira extremamente limitada nos países em desenvolvimento, onde os casos de doenças de veiculação hídrica são elevados. Quanto à fervura, o gasto energético é muito alto, sendo necessário o consumo de 1 kg de madeira para cada litro de água.

Uma técnica que vem sendo estudada e aplicada em países em desenvolvimento como uma tecnologia segura para o tratamento microbiológico de água é a desinfecção solar. Essa técnica, hoje denominada SODIS, sigla em inglês para desinfecção solar, foi primeiramente estudada por Aftim Acra, em 1984, e posteriormente aprimorada pelo instituto EAWAG, na Suíça. O SODIS, método em batelada, extremamente simples e barato, dispensa o fornecimento de energia elétrica e utiliza apenas garrafas tipo PET (Polietileno tereftalato) como insumo e o sol, universalmente disponível e gratuito (EAWAG/SANDEC, 2005).

Mercado; Romero; Coronado (2005) classificam o SODIS como um “método ambientalmente sustentável no tratamento de água para consumo humano a nível domiciliar em localidades onde a população corre risco de consumir água microbiologicamente contaminada.”.

Vários estudos (ACRA *et al.*, 1984; WEGELIN *et al.*, 1994; SOMMER *et al.*, 1997; REED, 1997) apontam para a eficiência do método, mostrando-se possível a inativação de 99,9% de coliformes termotolerantes durante um período, em média, de 5 horas de exposição ao sol. Essa eficiência, segundo esses autores, depende das condições de insolação do local, grau de nebulosidade, qualidade da água, tipo de

recipiente a ser utilizado, espessura da lâmina d'água, condição de aerobiose e superfície de suporte para exposição. A maior desvantagem do uso desta tecnologia é a ausência do residual na água, podendo ocasionar a recontaminação, dependendo das condições de armazenamento e higiene domiciliar.

Segundo Wegelin *et al.* (2005), atualmente cerca de um milhão de pessoas utilizam regularmente o SODIS como método de desinfecção em 20 diferentes países. Apenas na América Latina, até o final de 2004, mais de 200.000 usuários foram contabilizados. Existe uma grande aceitação do SODIS nas comunidades onde já houve sua disseminação. A porcentagem de usuários regulares está entre 40 e 80% do total de pessoas capacitadas. Os benefícios diretos do SODIS na saúde pública são evidentes. Segundo os estudos já realizados, observa-se uma redução de até 75% nos casos de diarreia entre os usuários regulares do SODIS. (WEGELIN *et al.*, 2005).

A presente pesquisa visa analisar a viabilidade do uso da desinfecção solar para as condições climáticas da região Nordeste, tomando como base o Estado do Ceará, visto a enorme demanda por água desinfetada em comunidades menos favorecidas desta região.

## 2. OBJETIVOS

---

### 2.1. Objetivo Geral

Estudar a viabilidade técnica e social do uso da desinfecção solar no tratamento de água para consumo humano, utilizando o método SODIS (solar disinfection).

### 2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as condições climáticas do estado do Ceará para o uso do método SODIS;
- Avaliar a eficiência do método SODIS na desinfecção de água para consumo humano a fim de atender a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, que trata dos padrões de potabilidade de água;
- Avaliar o efeito da aerobiose na desinfecção solar, através da comparação de resultados obtidos nos ensaios de agitação e não agitação de garrafas PET.
- Avaliar diversos tipos de superfícies de exposição das garrafas: alumínio, concreto pintado de branco, concreto pintado de preto, amianto e telha de barro (cerâmica), a partir da exposição de garrafas PET nessas superfícies e comparação das eficiências de inativação;
- Avaliar os aspectos sociais inerentes ao processo de transferência da tecnologia SODIS e a percepção dos moradores para a importância de uma água de boa qualidade;
- Avaliar a aceitabilidade e a sustentabilidade da tecnologia SODIS em quatro comunidades desprovidas de saneamento adequado situadas em cenários distintos no Estado do Ceará, a partir da concepção da observação participante e de entrevistas individuais.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 3.1. Panorama da falta de água tratada; uma contextualização do problema.

#### 3.1.1. Contexto mundial

Estima-se que 1,1 bilhão de pessoas não têm acesso à água segura para beber, para higiene pessoal e outros fins domésticos. Esse número totaliza cerca de um quarto dos 4,8 bilhões de pessoas que moram nos países em desenvolvimento, grande parte delas residente em áreas rurais. Devido à falta de água segura, ocorrem por ano 4 bilhões de casos de diarreia, com 2,2 milhões de mortes, a maioria entre crianças de 0 a 5 anos. Isto coloca a diarreia causada pela deficiência de água tratada, de higiene e de esgotamento sanitário como a sexta doença de maior incidência em escala global, um problema de saúde para o qual existe solução e que pode ser facilmente mitigado. (WHO/UNICEF, 2000).

Somente na América Latina e Caribe, segundo a OPS (2001), existem mais de 76 milhões de pessoas sem acesso a água segura e ainda 54 milhões de pessoas com acesso apenas a serviços básicos precários, como torneiras públicas e bombas manuais expondo a água a contaminações secundárias. De acordo com EAWAG/SANDEC (2005), é necessário melhorar a qualidade da água de pelo menos 130 milhões de pessoas na América Latina, isso sem considerar os casos com sistema de água intermitente e com deficiência na desinfecção.

Em média, até um décimo do tempo produtivo de cada pessoa ao longo de sua vida se perde devido a doenças relacionadas com a água (AGENDA 21, 2001). A carência de água de boa qualidade reduz a geração de renda e piora as condições de bem-estar social, prejudicando o desenvolvimento sócio-econômico da região.

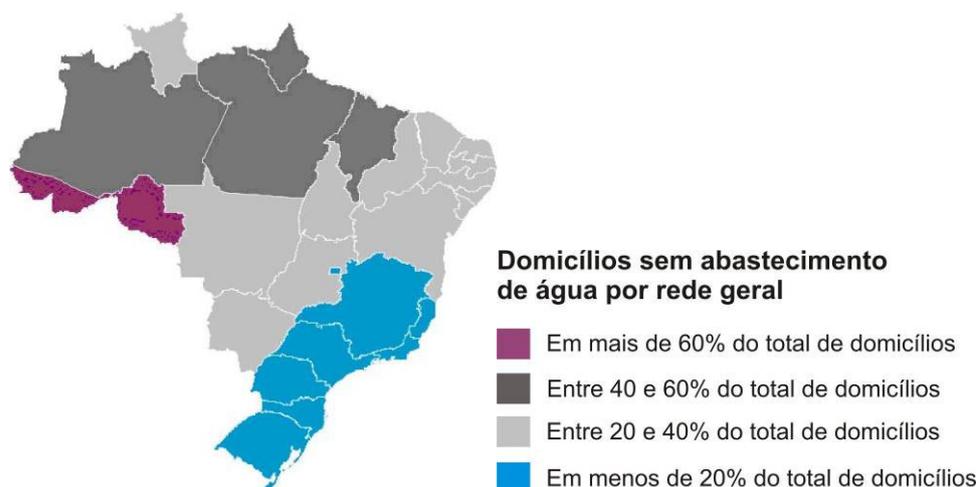
Um estudo do Pacific Institute of Oakland, na Califórnia, realizado como preparativo para Rio+10, indicou que o número de mortes em decorrência do uso de água de baixa qualidade pode ultrapassar o de mortes causadas pela pandemia global de Aids nas próximas duas décadas. Mesmo se os atuais objetivos das Nações Unidas forem alcançados, ainda assim, 76 milhões de pessoas, a maioria crianças, poderão morrer devido a doenças evitáveis de veiculação hídrica até 2020. (SAÚDE & TECNOLOGIA, 2002)

WSSCC (2003) afirma que, na maioria dos países em desenvolvimento, apenas 1% a 2% do gasto governamental é direcionado para projetos de saneamento de baixo custo. Uma das causas da crise da água é exatamente a obsessão que muitos países têm por construções grandiosas, sistemas de tratamento grandes e centralizados, que não podem ser mantidos por recursos locais. Enquanto uma minoria dispõe de um serviço moderno, a grande maioria vive, ou melhor, sobrevive sem nenhum benefício.

### *3.1.2. Contexto nacional*

O Brasil é um país com profunda desigualdade social que torna um desafio as ações de promoção da saúde. Segundo o Censo do IBGE 2000, 22% das residências do país não possuem abastecimento de água por rede pública.

Existe uma enorme disparidade nas condições de precariedade de saneamento entre as zonas rurais e urbanas. No Brasil, enquanto 54,6% dos domicílios rurais não possuem abastecimento de água na edificação, esse percentual cai para 6,8% na área urbana. A iniquidade regional também é evidente: enquanto a região sul e sudeste do país possuem mais de 80% dos domicílios abastecidos com água por rede pública, as outras regiões carecem de um sistema universal e igualitário, como mostra a Figura 1.



Fonte: IBGE Estatcart (2004)

**Figura 1** - Mapa do Brasil dos domicílios sem abastecimento de água por rede geral.

No Brasil, 17,4% das crianças e adolescentes vivem sem abastecimento de água interna no domicílio. Como consequência direta da falta de água tratada, a incidência de doenças de veiculação hídrica se torna elevada, ocasionando um excessivo número de óbitos, principalmente de crianças de 0 a 5 anos, por diarreia aguda, como pode ser observado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Mortalidade proporcional (%) por doença diarreica aguda em menores de cinco anos de idade. Brasil e grandes regiões – 1991, 1996 e 1998.

<b>Região</b>	<b>1991</b>	<b>1996</b>	<b>1998</b>
<b>Brasil</b>	9,3	6,9	6,8
<b>Norte</b>	14,4	7,8	7,6
<b>Nordeste</b>	12,0	10,9	11,9
<b>Sudeste</b>	6,1	4,5	3,3
<b>Sul</b>	8,8	4,6	4,2
<b>Centro-Oeste</b>	9,3	6,2	5,0

Fonte: OPS/OMS (2002), pg. 117.

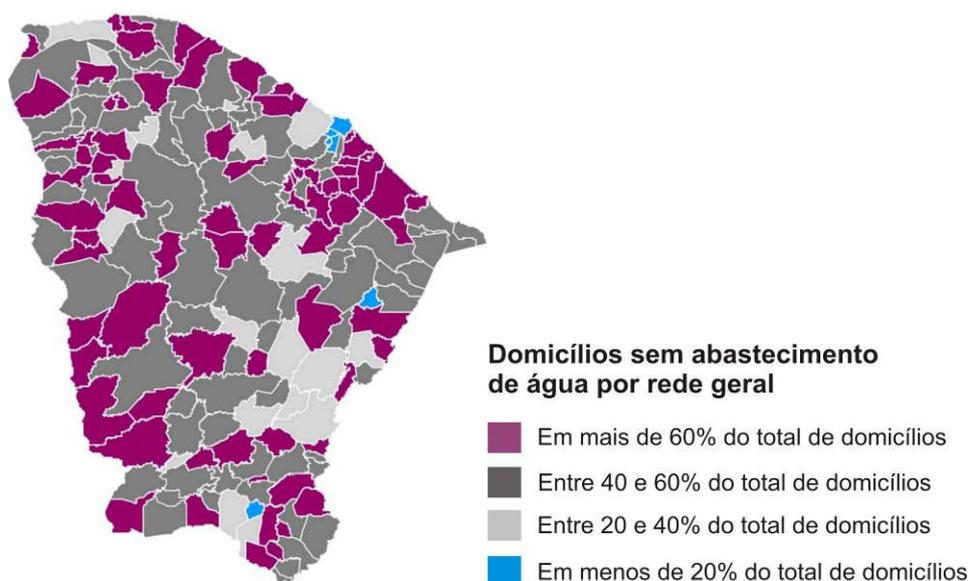
“O percentual de óbitos por doença diarreica aguda vem declinando progressivamente durante a década, em todas as regiões brasileiras, à exceção da região Nordeste, onde os valores permanecem estáveis e em patamares elevados” (OPS/OMS, 2002, pg.117).

A deficiência dos sistemas de tratamento, particularmente no que se refere à desinfecção da água e à prática de distribuição intermitente (rodízio na distribuição de água) é refletida nos índices elevados de incidência e das taxas de mortalidade associadas às doenças de origem hídrica. [...] As taxas de mortalidade por doenças infecciosas e parasitárias atingem, no Brasil, 24,81 mortes por 100.000 habitantes (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2000, pg. 117).

Segundo Prosab (2001), os dados de 2000 da Fundação IBGE apontam para um índice de mortalidade infantil de 35,5 óbitos de menores de um ano por mil nascidos no Brasil, um dos mais elevados das Américas. Ainda vale ressaltar que, além da fragilidade estatística, os dados de mortalidade infantil podem não retratar a realidade, pois nas regiões mais carentes do País muitos nascimentos e óbitos não são devidamente registrados.

### *3.1.3. Contexto estadual*

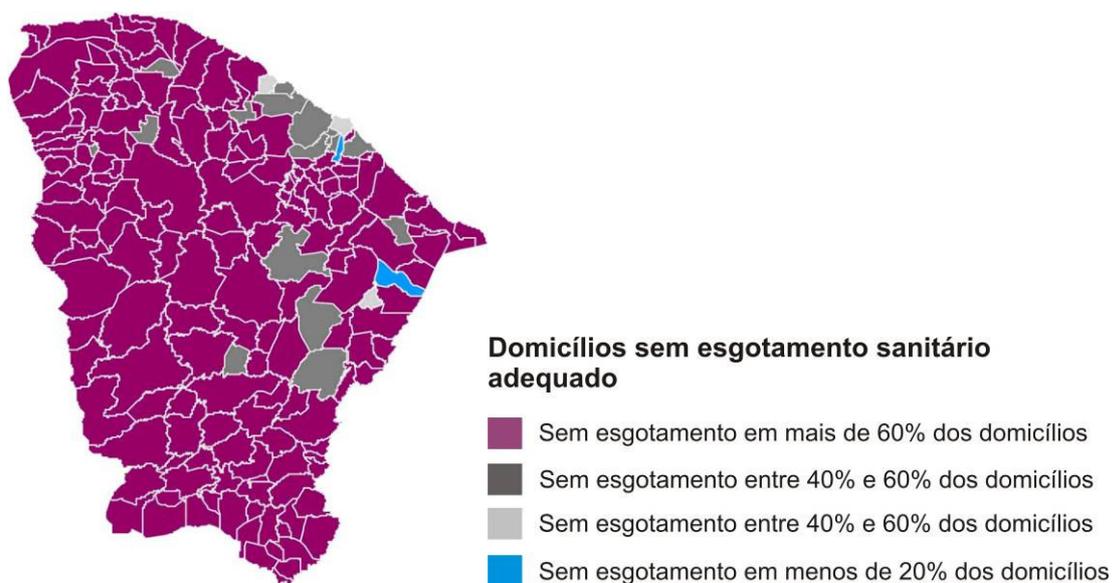
No Ceará, a situação precária dos serviços de saneamento ambiental não difere do panorama nacional. No mapa sistematizado a partir da base de dados do IBGE, 2000, Figura 2, verifica-se que apenas 6 municípios do estado dispõem de uma razoável oferta de água tratada (mais de 80% da população atendida com abastecimento de água por rede geral), enquanto o restante dos municípios, 178, principalmente aqueles em localidades rurais, estão totalmente carentes desta infra-estrutura. Ao todo, 40% das famílias do Ceará não possuem abastecimento de água por rede pública.



Fonte: IBGE Estatcart (2004)

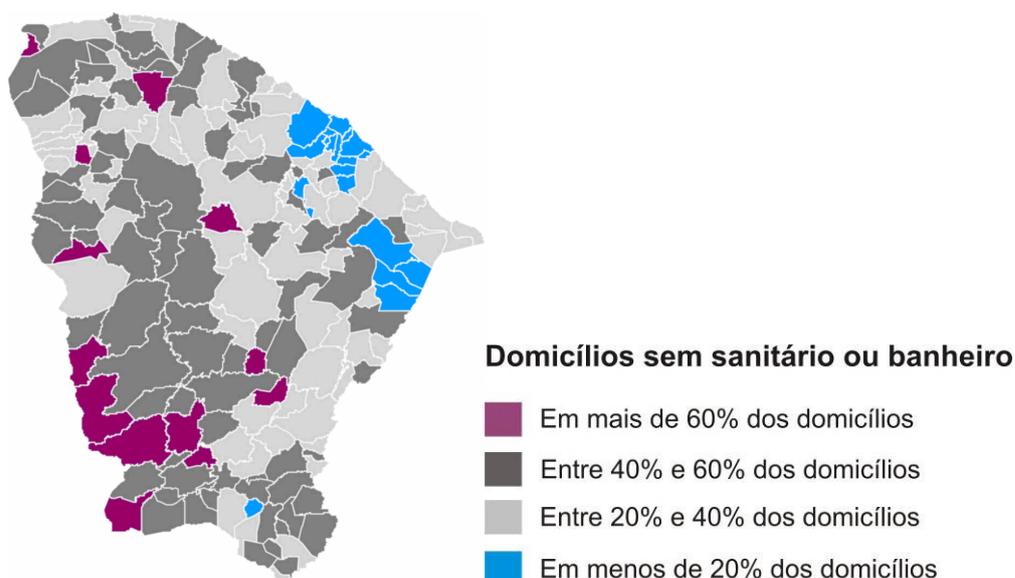
**Figura 2** - Mapa dos domicílios do Ceará sem abastecimento de água por rede geral.

Quanto ao esgotamento sanitário, os dados são mais alarmantes. Quase todos os municípios do estado do Ceará não possuem esgotamento público nem fossa séptica em mais de 60% dos domicílios. Apenas dois municípios possuem um índice acima de 80% de domicílios atendidos por esgotamento sanitário. Ao todo, 66% das famílias cearenses não têm suas casas conectadas aos serviços de coleta pública de esgoto. Não obstante, o indicador que mais impressiona é a falta de banheiros ou sanitários. Uma a cada quatro casas no estado do Ceará não dispõe de um sanitário ou um banheiro, condição básica para destinar adequadamente os resíduos fecais. Estes dados do censo do IBGE 2000 podem ser visualizados nas Figuras 3 e 4.



Fonte: IBGE Estatcart (2004)

**Figura 3** - Mapa dos domicílios do Ceará sem esgotamento adequado.



Fonte: IBGE Estatcart (2004)

**Figura 4** - Mapa dos domicílios do Ceará sem banheiro ou sanitário

A Tabela 2 apresenta a disparidade do saneamento entre localidades denominadas rurais e urbanas no Ceará.

**Tabela 2** - Indicadores de Cobertura de Serviços de Saneamento na área rural do estado do Ceará, ano de 2002.

Ano	População Residente (Hab)			População Beneficiada / Abastecimento de Água - Esgotamento Sanitário			
	Urbana (Cidades) (A)	Rural (Localidades) (B)	Total (A +B)	População Rural			
				Água	Esgoto	Pop.benef. Água (Hab)	Pop. benef. Esg (Hab)
<b>1980</b>	2.810.373	2.478.056	5.288.429	1,04%	0,000%	25,663	-
<b>1991</b>	4.162.007	2.204.640	6.366.647	1,55%	0,000%	34,069	-
<b>1999</b>	5.151.564	2.129.808	7.281.372	0,04%	0,040%	852	852
<b>2000</b>	5.315.318	2.115.343	7.430.661	0,50%	0,182%	10,605	3,855
<b>2001</b>	5.553.969	2.133.024	7.686.993	2,67%	0,181%	56,854	3,855
<b>2002</b>	<b>5.737.399</b>	<b>2.152.019</b>	<b>7.889.417</b>	<b>4,61%</b>	<b>0,179%</b>	<b>99,214</b>	<b>3,855</b>

Fonte: *Coordenadoria de Saneamento – CSA / SEINFRA.*

O acréscimo da população rural beneficiada com água tratada e esgotamento público, desde 1980 aos dias atuais, na área rural é muito anódino. O resultado desse quadro é a alta incidência de doenças causadas pela água, anteriormente mencionadas e posteriormente discutidas e definidas.

### 3.2. Saúde Pública e Saneamento

De acordo com Philippi Jr. (2005), o agravo à saúde, causado pela falta de abastecimento de água potável e pela falta de coleta segura de esgotos é o principal problema causada pela poluição divulgada em uma lista do Relatório de Gestão dos Problemas da Poluição no Brasil. A exposição à poluição ambiental é geralmente involuntária e muitas vezes as pessoas podem ignorar a presença dos poluentes e seus possíveis efeitos, impedindo-as de exercer algum controle sobre os riscos de exposição.

Ainda segundo o mesmo autor, o saneamento do meio é uma estratégia importante na mitigação ou reversão dos impactos negativos das modificações ambientais. É evidente que as ações do saneamento precisam ser bem planejadas, pois em diferentes localidades existem diferenças culturais, sociais, ambientais e econômicas, devendo ser respeitadas. Dessa forma, é necessária a busca de tecnologias

apropriadas de saneamento para cada realidade local. Como exemplo, as tecnologias adequadas para pequenas comunidades com capacidade financeira mais limitada, entre outras características socioculturais, diferem daquelas implantadas em áreas urbanas com densidade demográfica maior.

A contribuição da disponibilidade de água de boa qualidade à melhoria da saúde humana pode ser observada diretamente na redução de consultas médicas em postos de saúde. Os maiores benefícios da água segura são: a melhoria da qualidade de vida, incremento do setor produtivo, um maior aproveitamento escolar e conseqüentemente o aumento da expectativa de vida (PHILIPPI Jr. 2005).

As doenças de veiculação hídrica constituem o grupo de moléstias relacionadas à água no qual o agente patogênico é ingerido junto com a água. Os microrganismos presentes nas águas naturais são inofensivos, contudo, devido ao despejo indiscriminado de esgoto sanitário, poderão estar presentes microrganismos prejudiciais à saúde humana. Os microrganismos patogênicos incluem vírus, bactérias, protozoários e helmintos. A sobrevivência desses microrganismos no ambiente, a intensidade de exposição, a suscetibilidade do indivíduo exposto, a temperatura da água e a presença de partículas suspensas e coloidais são fatores para a prevalência das doenças de veiculação hídrica (PROSAB, 2001).

De acordo com EAWAG/SANDEC, 2005, as bactérias *Vibrio cholerae*, *Shigella* *Salmonella*, bem como diferentes cepas de *E.coli*, são os patogênicos mais importantes transmitidos pela água, podendo causar enfermidades graves e que geralmente requerem tratamento.

### **3.3. Processos convencionais e alternativos de desinfecção de água**

A desinfecção é uma etapa do tratamento que tem por finalidade precípua a inativação dos microrganismos patogênicos, realizada por intermédio de agentes físicos e/ou químicos. O tratamento da água, em especial a desinfecção, é considerado um dos mecanismos essenciais na preservação da saúde pública (PROSAB, 2001).

Existem três mecanismos de inativação de organismos patogênicos pela ação dos desinfetantes:

Destruição ou danificação da organização estrutural da célula, atuando sobre os constituintes da parede celular e combinando-se com ácidos ribonucléicos, no interior do núcleo; interferência no nível energético do metabolismo, ocorrendo pela inativação de enzimas; e interferência na biossíntese e crescimento através da ação combinada de vários mecanismos, como a síntese de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e células estruturais (STAINER *et al.*, 1963 apud PROSAB 2001, pg. 12).

De acordo com EAWAG/SANDEC (2005), a capacidade de sobrevivência no ambiente e o número necessário para infectar um hospedeiro são os principais fatores que determinam a importância dos patógenos de veiculação hídrica. A Tabela 3 apresenta os principais microrganismos de veiculação hídrica e suas características quanto à dose infectante, quantidade excretada por indivíduos e tempo de sobrevivência no ambiente (água).

**Tabela 3** - Principais doenças de veiculação hídrica.

Organismos	Principais doenças	Quantidade excretada por indivíduo infectado/g/fezes	Máxima sobrevivência na água (dias)	Dose infectante (a)
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite	10 <sup>8</sup>	90	10 <sup>2</sup> -10 <sup>9</sup>
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide	10 <sup>6</sup>	-	-
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	10 <sup>6</sup>	30	10 <sup>8</sup>
<i>Salmonella</i>	Salmonelose	10 <sup>6</sup>	60-90	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>
<i>Cryptosporidium (oocistos)</i>	Criptosporidiose	10 <sup>2</sup>	-	1-30 (b)
<i>Entamoeba histolytica</i>	Disenteria amebiana	10 <sup>7</sup>	25	10-100
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase	10 <sup>5</sup>	25	1-10
<i>Enterovírus</i>	Gastroenterite	10 <sup>7</sup>	90	1-72
<i>Rotavírus</i>	Gastroenterite	10 <sup>6</sup>	5-27	1-10

(a) Dose infectante que provoca sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados

(b) Variável com o estado de saúde humana

Fonte: Adaptado de Prosab (2001), organizado por Dias (2001), adaptado de Geldreich (1978), Kowal (1982) e Pros (1987) apud Craun (1996) e USEPA (1999), pg. 19

Burch e Thomas (1998) realizaram um estudo com o objetivo de identificar os melhores métodos de desinfecção de água que se aplicam aos países em desenvolvimento. Como resultados, observaram que existem diversos métodos apropriados, cada um com suas vantagens e desvantagens. Segundo esses autores, em escala comunitária (pequenas comunidades), a filtração lenta de areia é altamente recomendada, pois é uma tecnologia simples que não utiliza produtos químicos nem necessita de peças sobressalentes, contudo possui um alto custo inicial. O cloro (hipoclorito de sódio) ainda vai continuar sendo o mais utilizado, por se tratar de um método barato e que possui a importante propriedade de conferir residual à água. O método de desinfecção solar por batelada (SODIS) é extremamente fácil de ser aplicado, porém sua eficiência na prática é duvidosa, pois a água necessita ultrapassar a temperatura de 50°C. A fervura é um processo simples e que não possui custo inicial, no entanto há um gasto excessivo de material combustível (gás, lenha, etc). As lâmpadas de radiação UV são de fácil manejo, porém necessitam de eletricidade e de uma infraestrutura técnica para manutenção.

Conforme Wegelin *et al.* (1994), a fervura, o hipoclorito de sódio e os filtros cerâmicos são métodos de tratamento em escala doméstica, eficazes e propagados em populações difusas, no entanto, esses métodos possuem algumas desvantagens, como:

- Na fervura, há um excessivo custo energético, seja a lenha ou a gás.
- A utilização do hipoclorito para a desinfecção é muitas vezes rejeitada devido ao gosto e sabor indesejáveis proporcionados pela substância. Inclui-se ainda a irregularidade na distribuição do produto e a falta de informação dos usuários quanto à dosagem.
- O uso de filtros cerâmicos se torna inviável devido aos custos de manutenção e compra de velas.

Tecnologias alternativas de desinfecção apontadas como adequáveis, aplicáveis e sustentáveis são classificadas e qualificadas quanto ao aspecto econômico, técnico e de aceitação social, segundo a concepção do corpo técnico da Organização Mundial de Saúde. Essas informações foram sistematizadas em tabelas e apresentadas pela OMS em um relatório divulgado em sua página da internet (Tabela 4).

**Tabela 4** - Métodos físicos de tratamento de água em escala doméstica. <sup>1</sup>

<b>Método</b>	<b>Aplicabilidade e Praticidade</b>	<b>Dificuldades Técnicas</b>	<b>Custo (a)</b>	<b>Eficiência Microbiológica (b)</b>
<b>Fervura ou aquecimento com combustível</b>	Variada (c)	Baixo-moderada	Variado (c)	Elevada
<b>Exposição ao sol</b>	Elevada	Baixo-moderada	Baixo	Moderado
<b>Lâmpada UV</b>	Variada (d)	Baixo-moderada	Moderado-Elevado (d)	Elevada
<b>Sedimentação</b>	Elevada	Baixa	Baixo	Baixo
<b>Filtração (e)</b>	Variada (e)	Baixo-moderada	Variado (e)	Variada (f)
<b>Aeração</b>	Moderada	Baixa	Baixo	Baixa (g)
<b>Cloração</b>	Elevada a moderada	Baixa a moderada	Moderado	Elevado

- (a) Categoria dividida por custo anual em dólares americanos: Baixo: < \$10; Moderado: \$10 - \$100; Elevado: > \$100
- (b) Eficiência baseada na taxa de inativação de microorganismos patogênicos: Baixo: < 90%; Moderado: 90-99%; Elevado: >99%.
- (c) Depende do tipo de aquecimento utilizado, bem como da viabilidade e do custo do combustível. Varia desde baixo a elevado.
- (d) Depende da viabilidade e do tipo de lâmpada, bem como do custo de energia elétrica e de operação e manutenção (bombas e sistemas de limpeza).
- (e) Existem vários métodos de filtração. Praticidade, viabilidade e custo dependem do meio filtrante: granular, cerâmico, etc.
- (f) Depende do tamanho do poro e de outras características do meio filtrante. Alguns são altamente eficientes, com remoção microbiológica maior que 99%.
- (g) Aeração (oxigenação) pode atuar em sinergia com outros métodos, como a desinfecção solar ou com outro processo que oxide a molécula de oxigênio.

Nesse contexto, a OMS considera a desinfecção solar, tema do presente trabalho, como sendo uma tecnologia muito simples, de baixo custo, bastante aplicável, prática e moderadamente eficaz no tratamento microbiológico da água.

<sup>1</sup> Fonte: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/wsh0207/en/index9.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0207/en/index9.html)

### 3.4. Energia Solar

A energia solar, considerada um recurso renovável ao lado de outras fontes, como eólica, hídrica, biomassa e geotérmica, possui um enorme potencial. Essa fonte energética pode ser utilizada de diversas maneiras (aquecimento e refrigeração de ambientes, aquecimento doméstico de água, piscinas, eletricidade, fornalhas solares e eletricidade térmica); e ainda possui uma importante vantagem de gerar mínimos problemas ambientais (HINRIGCHS; KLEINBACH, 2003).

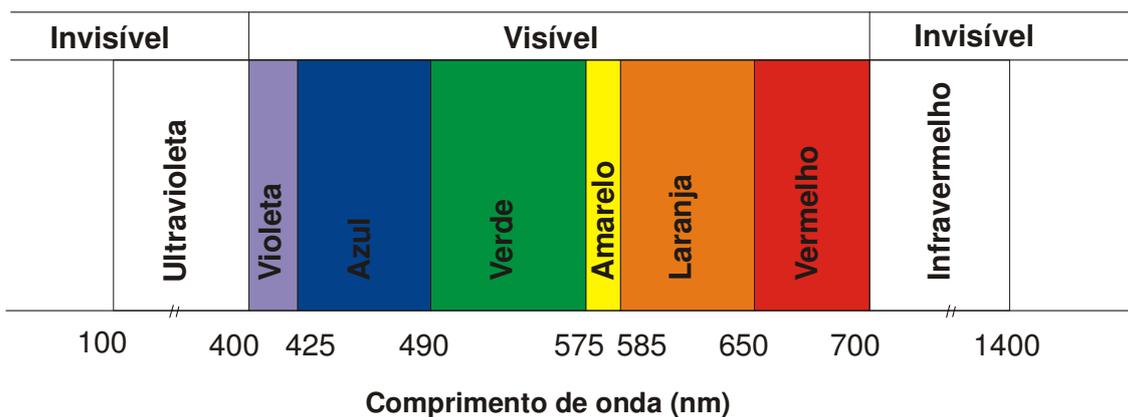
Diariamente, a Terra recebe mais energia do sol do que a consumida sob todas as outras formas, equivalente a 25.000 vezes mais, com média anual variando de 6.800 kJ/m<sup>2</sup>/dia no norte da Europa a 23.000 kJ/m<sup>2</sup>/dia nas regiões áridas próximas ao equador. (ACRA *et al.*, 1984; HIRINGCHS; KLEINBACH, 2003).

A radiação eletromagnética, ou seja, a radiação emitida pelo sol pode ser classificada, de acordo com o comprimento de onda, em: raios gama, raios-X, ultravioleta, visível e infravermelho, como mostra a Tabela 5. Do total da radiação solar, 9% é ultravioleta, 40% se localiza na região visível e aproximadamente 50% é infravermelha (HINRIGCHS; KLEINBACH, 2003). A radiação ultravioleta divide-se ainda em UV-A, UV-B e UV-C e a radiação visível em azul, verde, amarelo, laranja e vermelho, seguindo, respectivamente, esta ordem decrescente de comprimento de onda, apresentados na Figura 5.

**Tabela 5** - Faixas espectrais da radiação solar.

<b>Faixa</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
Raios Gama	<0.03
Raios-X	0.03 - 3
<b>Ultravioleta</b>	
UV extrema	3 - 200
UV-C	200 - 280
UV-B	280 - 320
UV-A	320 - 400
<b>Visível</b>	400 - 700
<b>Infravermelho</b>	700 - 14000

Fonte: Adaptado de Acra *et al.* (1984).



Fonte: Adaptado de Acra *et al.* (1984).

**Figura 5** - Faixas da radiação solar visível.

Porém, nem toda a radiação emitida pelo sol chega à superfície terrestre. Grande parte da radiação, quando atinge a atmosfera terrestre, é absorvida, refletida ou difundida pelos gases atmosféricos, vapores e pequenos particulados encontrados no ar. Aproximadamente 50% da radiação emitida pelo sol conseguem penetrar e atingir a superfície terrestre. O nitrogênio e oxigênio são responsáveis pela absorção da radiação de comprimento de onda pequeno, raios gama, raios-X e ultravioleta abaixo de 200nm. A camada de ozônio controla a passagem de radiação, absorvendo os raios ultravioletas entre 200 a 300nm (UV-C e UV-B). A parte da radiação de comprimento de onda longo (acima de 700nm), radiação vermelha e infravermelha, é seletivamente absorvida pelo dióxido de carbono e pelo vapor d'água. (HIRINGCHS e KLEINBACH, 2003; ACRA *et al.*, 1984; SODIS, 2003b).

A radiação total incidente que chega à superfície é composta de um feixe direto (radiação direta) e de uma componente difusa (radiação difusa), esta última causada pelo espalhamento e reflexão na passagem pela atmosfera. (HIRINGCHS; KLEINBACH, 2003). Acra *et al.* (1984) afirmam que em dias ensolarados com céu claro, a porcentagem de radiação difusa é de apenas 10%, ao passo que para dias nublados com nuvens densas e pesadas este valor pode subir de forma significativa, reduzindo a radiação total incidente ao nível do solo. Conforme SODIS (2003c), nesses dias completamente nublados, a intensidade da radiação UV-A pode reduzir em até 1/3 do seu valor.

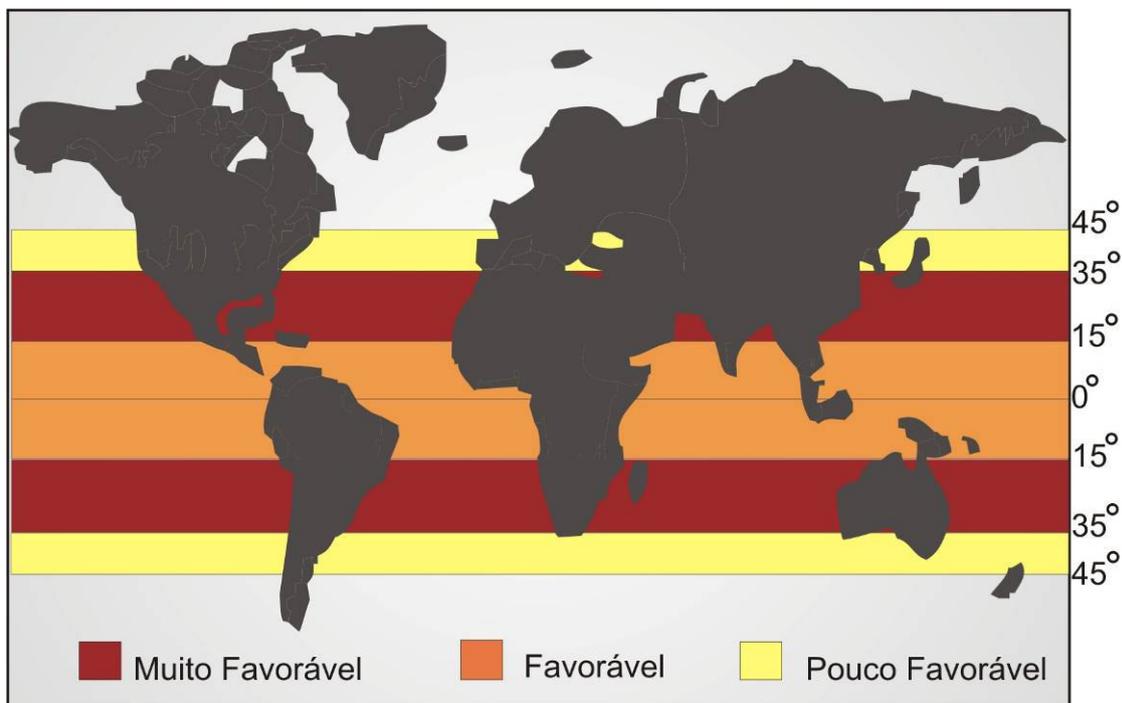
A radiação solar recebida em um determinado local da superfície terrestre pode variar entre 0 e 1050W/m<sup>2</sup> (HINRIGCHS; KLEINBACH, 2003), dependendo da latitude, localização geográfica, estação do ano, nebulosidade, poluição atmosférica, elevação ao nível do mar, altitude do sol e do horário do dia.

#### *3.4.1. Distribuição e caracterização espectral da radiação solar para a desinfecção*

O pré-requisito básico para viabilizar a desinfecção solar em certa localidade é o grau de radiação solar incidente. Conforme Zapp *et al.* (1987 *apud* Prosab 2001) é necessário um mínimo de duas horas de exposição a 600W/m<sup>2</sup> de radiação solar global direta, para se fazer uso da desinfecção solar.

Acra *et al.* (1984) dividiram as regiões dos hemisférios norte e sul em zonas de viabilidade solarimétrica que mais se aplicam para o uso da desinfecção solar. Estas zonas estão divididas, de acordo com a latitude, em: favorável, moderadamente favorável, pouco favorável e muito pouco favorável, como mostra a Figura 6. A zona favorável situa-se entre as latitudes de 15° e 35° de cada hemisfério, são regiões semi-áridas, com a radiação incidente composta de 90% de radiação direta. Possuem pouca nebulosidade e precipitação, e mais de 3.000 horas de insolação por ano. A zona moderadamente favorável situa-se entre a linha do equador e a latitude de 15°. Apesar de ser uma região com grande incidência de radiação, mais de 2.500 horas por ano, possui também grande nebulosidade, aumentando a porção de radiação difusa. As outras duas zonas, pouco favorável e muito pouco favorável, estão situadas entre 35° e 45° e acima de 45°, respectivamente. São zonas com a predominância de radiação difusa e com grande variação sazonal.

Ainda de acordo com Acra *et al.* (1984), a maioria dos países em desenvolvimento está situada nas regiões mais favoráveis, tornando, de antemão, a desinfecção de água por energia solar viável nestas localidades.



Fonte: adaptado de Acra *et al.* (1984)

**Figura 6** - Zonas de viabilidade solarimétrica que mais se aplicam para o uso da desinfecção solar.

A inativação de microorganismos patogênicos é inversamente proporcional ao comprimento de onda da radiação: luz visível → UV-A → UV-B → UV-C (SODIS, 2003b). De acordo com Bolton (1999 *apud* Prosab, 2001), o comprimento de onda com maior poder bactericida é 254nm; no entanto, este tipo de radiação inserido na faixa UV-C não atinge a superfície terrestre. Acra *et al.* (1984) acreditavam que a radiação UV-A contribuía com 70% no processo de desinfecção, e que os 30% restantes provinham da luz visível. Quase 10 anos após, Wegelin *et al.* (1994) chegaram à conclusão de que a principal faixa espectral da radiação solar responsável pela inativação de microorganismos é realmente a luz UV-A. Confirmou-se também que a luz violeta (400-459nm) também exerce uma importante função, e, juntamente com a UV-A, produzem um efeito sinérgico, aumentando a taxa de inativação em até três vezes, apesar da mesma sozinha não desempenhar nenhum efeito.

Segundo SODIS (2003f), o método SODIS, utiliza duas componentes da radiação: UV-A, responsável pela modificação do DNA dos microorganismos e a radiação infravermelha, responsável pelo aumento da temperatura da água.

### 3.5. Desinfecção solar: uma abordagem geral

#### 3.5.1. O início da desinfecção solar

Apesar da desinfecção solar ainda não despertar um grande interesse por parte dos pesquisadores brasileiros, há alguns anos esse tema vem sendo intensamente estudado em vários países da Europa, Ásia e América. Registros sobre a utilização da radiação solar para o tratamento de água na antiga Índia remontam a 2000 a.C (WHO 2005). De acordo com Acra *et al.* (1984), Downes e Blunt, no ano de 1877, em Londres, já documentavam o efeito da luz solar sobre as bactérias e outros organismos.

No entanto, foi apenas em 1979, que o professor Aftim Acra, da Universidade Americana de Beirute, deu início a uma série de estudos sobre desinfecção solar. Desde então, várias organizações, entidades e universidades vêm desenvolvendo pesquisas nessa área, destacando-se os trabalhos realizados pelo Instituto Federal Suíço para Ciências e Tecnologia (EAWAG), Instituto de Investigação e Desenvolvimento em Água Potável, Saneamento Básico e Conservação dos Recursos Hídricos (CINARA) em Cali, Colômbia, da rede de pesquisa montada pela Associação do Sistema Integrado de Energia Rural (INRESA), no Canadá, com participação de cinco países: Peru, Colômbia, Nigéria, Egito e Siri Lanka e ainda pelo apoio financeiro do UNICEF às pesquisas.

Pioneiros no estudo da desinfecção solar, Acra e colaboradores, realizando experimentos com água inoculada, em recipientes de vidro com capacidade de 1 a 3 litros expostos diretamente ao sol na cidade do Líbano, verificaram a destruição de 99,9% de bactérias do grupo coliforme num período de 95 minutos (sempre no intervalo entre 09h00min e 14h00min), ao passo que para os recipientes controle (distante da luz solar), foi necessário um tempo de 630 minutos para a mesma taxa de inativação.<sup>2</sup>

A partir dos experimentos, Acra *et al.* (1984) chegaram às seguintes conclusões e observações:

---

<sup>2</sup> Os dados de concentração inicial de coliformes não foram apresentados neste estudo

- Recipientes plásticos ou de vidro, transparentes ou de cor levemente azulada, de forma arredondada e com pequena espessura são os mais eficientes no processo de desinfecção, pois facilitam a penetração dos raios UV-A.
- A presença de sólidos suspensos elevando a turbidez é um fator limitante para a desinfecção solar, visto que as partículas podem servir de escudo para os microrganismos, absorvendo ou refletindo a radiação.
- A desinfecção solar mostrou-se viável para a inativação de pequenas quantidades de água, máximo de até 3 litros.
- *E.coli* mostrou-se mais resistente que outros microrganismos (Tabela 6), podendo então ser utilizado como indicador de contaminação no processo de desinfecção solar.

**Tabela 6**-Tempo de inativação dos microrganismos inoculados em água expostos à radiação solar em recipientes de vidro Pyrex.

<b>Microrganismo</b>	<b>Tempo de inativação (min) para a desinfecção solar</b>
<i>P. aeruginosa</i>	15
<i>S.flexneri</i>	30
<i>S.typhi</i>	60
<i>S.enteriditis</i>	60
<i>E.coli</i>	75
<i>S.paratyohi</i>	90

Fonte: Acra *et al.* (1984).

Wegelin *et al.* (1994) afirmam que os principais resultados alcançados pela rede de pesquisa montada, em 1985, pela Associação do Sistema Integrado de Energia Rural (INRESA), no Canadá, foram:

- Os testes de campo realizados em cinco países comprovam a eficiência bacteriológica da desinfecção solar, anteriormente pesquisada apenas em laboratório por Aftim Acra;
- A técnica de desinfecção solar pode ser aplicada, desde que haja um mínimo de 500W/m<sup>2</sup> de radiação solar disponível na localidade por um

período de cinco horas e que a contaminação da água bruta não exceda a 1000 coliformes fecais/100mL;

- Para o intervalo de 12° a 40°C de temperatura da água, não há alteração na taxa de inativação de bactérias, ou seja, a mesma é constante.

Joachim Hahn da Fundacion Universidad del Norte, Barranquilla, Colômbia elaborou um relatório com os resultados mais relevantes das publicações do INRESA e de outros institutos e universidades, sobre purificação solar da água. Dentre os vários resultados, destacam-se: o tempo de inativação de alguns microrganismos para diversas regiões estudadas, os melhores tipos de recipientes a serem utilizados e a taxa de radiação mínima requerida para a desinfecção.<sup>3</sup> Também se pode encontrar uma lista de contatos com nomes e endereços dos autores das publicações.<sup>4</sup>

### 3.5.2. Características e eficiência da desinfecção solar

A literatura especifica que a radiação ultravioleta estudada como alternativa à cloração, por ter o intuito de minimizar a formação de precursores de THM (trialometanos) e outros subprodutos, atua como meio físico, atingindo principalmente os ácidos nucléicos dos microrganismos, promovendo reações fotoquímicas que inativam os vírus e bactérias (PROSAB, 2001). Sabe-se, também, que o aquecimento da água tem efeito germicida, através da sensibilidade dos microrganismos às altas temperaturas. O sol, fonte inesgotável, universal e gratuita tanto de radiação UV como de calor, alia esses dois efeitos para ser o insumo principal de um sistema de desinfecção de água, considerado uma opção simples e de baixo custo, principalmente para o uso em comunidades difusas (MONTEIRO; BRANDÃO; SOUZA, 2002).

Sommer *et al.* (1997) publicaram uma sinopse dos resultados das pesquisas realizadas em diferentes localidades (Colômbia, Jordânia, Tailândia e Costa Rica), pelo instituto EAWAG, durante os anos de 1991 a 1997. Nesta sinopse, os autores comprovaram que a intensidade de radiação UV-A decresce com o aumento da

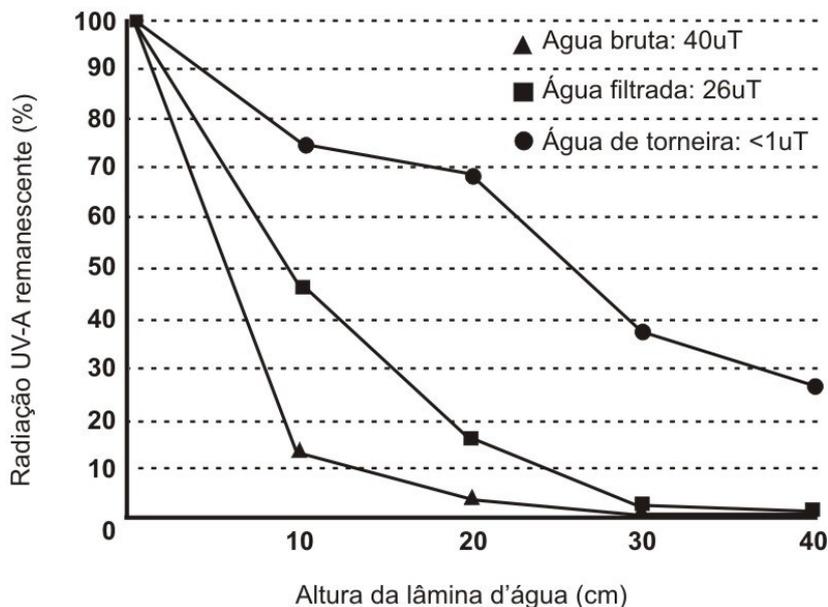
---

<sup>3</sup> <http://idrinfo.idrc.ca/Archive/Corpdocs/048838/g-Purification.pdf>

<sup>4</sup> <http://idrinfo.idrc.ca/Archive/Corpdocs/048838/h-Directory.pdf>

profundidade da lâmina d'água e da turbidez, sugerido anteriormente, em 1984, pelo professor Aftim Acra.

A Figura 7 mostra que a radiação UV-A ao penetrar em uma lâmina d'água com 10 cm de profundidade e com turbidez de 26uT reduz-se em até 50%. (SODIS, 2003d)



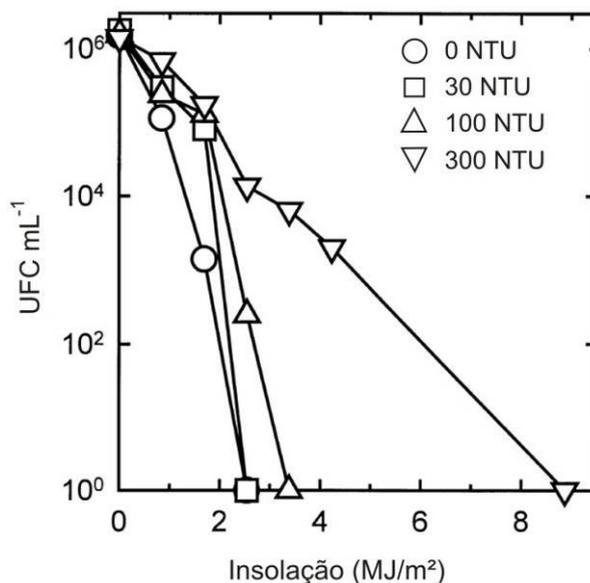
Fonte: Sommer *et al.* (1997).

**Figura 7-** Redução da radiação UV-A em função da profundidade da lâminha d'água e turbidez.

Todos os autores que investigaram o efeito da turbidez na desinfecção solar chegaram à mesma conclusão de que quanto maior a mesma, menor é a eficiência, pois os sólidos em suspensão possuem a propriedade de absorver ou refletir a luz solar. Segundo Sommer *et al.* (1997), Wegelin (1994), SODIS (2003d), para se fazer uso do SODIS, o valor máximo de turbidez recomendado é 30uT.

Kehoe *et al.* (2001), utilizando amostras de água com turbidez de 300uT em garrafas PET de 500mL, conseguiram total destruição de *E.coli* em um período de 8,5 horas para dias totalmente ensolarados na Malásia (radiação média de 956W/m<sup>2</sup>). Já para dias nublados (média de 190W/m<sup>2</sup>), apenas as amostras com 100uT foram completamente inativadas, ocorrendo ainda o recrescimento bacteriológico após 24 horas. Portanto, mesmo para águas com elevada turbidez, ainda é possível ocorrer a desinfecção, dependendo das condições climáticas do local. Na Figura 8 é mostrada a

curva de inativação de *E.coli* em função da insolação, para diferentes qualidades de água (turbidez).



Fonte: Kehoe *et al.* (2001).

**Figura 8-** Curvas de inativação de *E.coli* em águas com 0, 30, 100 e 300NTU de turbidez expostas à radiação da Malásia.

A partir de estudos realizados em Cochabamba, Bolívia, Encinas e Iriarte (2005) recomendam expor as garrafas à luz solar por um período maior de 6 horas para condições climatológicas desfavoráveis, ou seja, dias nublados. SODIS (2003h) sugerem que este período seja de dois dias consecutivos.

Oates *et al.* (2003), aplicando o SODIS no Haiti, chegaram à conclusão de que seria mais seguro sempre expor as garrafas ao sol por um período de 2 dias consecutivos, independente das condições climatológicas. Os testes realizados, mesmo com água de baixa turbidez (1,3uT), mostraram que apenas 66% das amostras expostas a condições favoráveis de radiação (5 horas de pico médio de 718W/m²) e temperatura da água (2 horas acima de 45°C) chegaram à completa desinfecção de *E.coli*. Porém, quando a exposição ao sol era de dois dias, a eliminação sempre alcançava 100%. A única situação onde ocorria inativação de todas as amostras em apenas 1 dia, era quando a temperatura da água atingia valores superiores a 45°C durante 5 horas seguidas.

No Brasil, o estudo da desinfecção solar iniciou em 1993. Ceballos; Sousa; Konig (1993) estudaram o efeito da luz solar na inativação de coliformes termotolerantes e estreptococos fecais utilizando recipientes de vidro transparente. Segundo esses autores, a luz solar tem elevada ação bactericida. Os resultados de seus experimentos apontaram uma redução acumulada de 99,24% de coliformes termotolerantes e a remoção total de estreptococos em 5 horas de exposição.

Brandão *et al.* (2000), na Universidade de Brasília, buscaram avaliar o tempo de exposição necessário para a inativação de patógenos, considerando diferentes espessuras de lâmina d'água, qualidades de água e indicadores microbiológicos com resistências distintas (vírus e bactérias). Utilizando bolsas plásticas com água sintética envoltas em recipientes de vidro, esses autores verificaram que para eliminar *E.coli* a uma concentração inicial de  $10^4$  NMP.100mL<sup>-1</sup>, em recipientes de 5 de cm espessura de lâmina d'água, foram necessárias 3 horas de exposição ao sol.

Desde o trabalho pioneiro de Acra et al (1984) até 2005, vários gêneros e espécies de microrganismos patogênicos já foram submetidos aos efeitos da luz solar. Conforme EAWAG/SANDEC (2005) existem documentados estudos sobre a inativação dos seguintes microrganismos, pelo método SODIS:

- Bactérias: *Escherichia coli* (*E.coli*), *Vibrio cholerae*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhii*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella paratyphi*.
- Vírus: Bacteriófagos f2, Rotavírus, Colifagos, Vírus da Encefalomiocarditis.
- Fungos e Leveduras: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Candida*, *Geotrichum*.
- Parasitas: *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*.

A Tabela 7 sintetiza os trabalhos relevantes tratando com SODIS águas contaminadas por diferentes espécies de microrganismos patogênicos.

**Tabela 7**-Investigação sobre a eficiência do SODIS utilizando-se diferentes organismos.

<b>Microrganismo</b>	<b>Eficiência relativa</b>	<b>Condições de experimento*</b>	<b>Referência</b>
<b>a) bactérias</b>			
<i>Escherichia coli</i>	+++	Artificial/Sol	Acra 1990; Wegelin 1994; Encinas 2003
<i>Streptococcus faecalis</i>	+++	Artificial/Sol	Wegelin 1994
<i>Enterococcus spp.</i>	+++	Artificial/Sol	Wegelin 1994
<i>Shigella dysenteria</i>	+++	Sol	Kehoe 2004
Coliformes fecais	+++	Artificial/Sol	Acra 1990; Ceballos 1993; Brandão 2000; Encinas 2003; Paterniani 2005
Coliformes totais	+++	Artificial	Acra 1990
<b>b) vírus</b>			
Rotavírus (cepa bovina UK)	+++	Artificial	Wegelin 1994
Vírus da encefalomiocarditis	+++	Artificial	Wegelin 1994
Colifago f2	++	Artificial	Wegelin 1994
Colifagos	++	Sol	Navarro 2004
<b>c) Parasitas</b>			
<i>Giardia lamblia</i>	++	Artificial/Sol	Zerbini 1999; Almanza 2002;
<i>Cryptosporidium parvum</i>	++	Artificial/Sol	Zerbini 1999; Almanza 2002; McGuigan 2004

+++ Remoção ótima

++ Remoção parcial

\* Condições artificiais: radiação artificial, simulando o sol.

Fonte: Adaptado de EAWAG/SANDEC (2005).

Para uma completa investigação do efeito do método SODIS, faz-se necessário uma análise da viabilidade do microrganismo patogênico após o processo de desinfecção. Apesar da não haver total remoção de *Cryptosporidium* com uso do SODIS, investigações em camundongos mostraram que 92,5% da população de oocistos de *Cryptosporidium* perdem sua viabilidade em 6 horas e 100% em 12 horas de exposição ao sol, ou seja, reduz acentuadamente sua capacidade de causar danos à saúde humana (EAWAG/SANDEC, 2005).

### 3.5.3. Tipo de recipiente utilizado no processo

Quanto ao tipo de recipiente utilizado para exposição da água, Sommer *et al.* (1997) afirmam que existem diferenças na quantidade de radiação solar transmitida à água dependendo do recipiente (PET, vidro, polietileno). Para as garrafas PET a perda da componente UV-A é de aproximadamente 30%; para garrafas de vidro:  $\approx 25\%$ ; e para bolsas plásticas (polietileno):  $\approx 10\%$ . Para recipientes coloridos, a perda foi de, no mínimo, seis vezes maior que para os recipientes transparentes.

De acordo com EAWAG/SANDEC (2005), as garrafas PET são ideais para o SODIS, pois:

- Deixam passar a radiação UV-A;
- Não excedem uma profundidade de 15cm, quando são expostas horizontalmente;
- Podem permanecer fechadas, evitando a contaminação da água purificada;
- Encontram-se facilmente disponível a um baixo custo;
- São fáceis de manipular;
- São bastante duráveis.

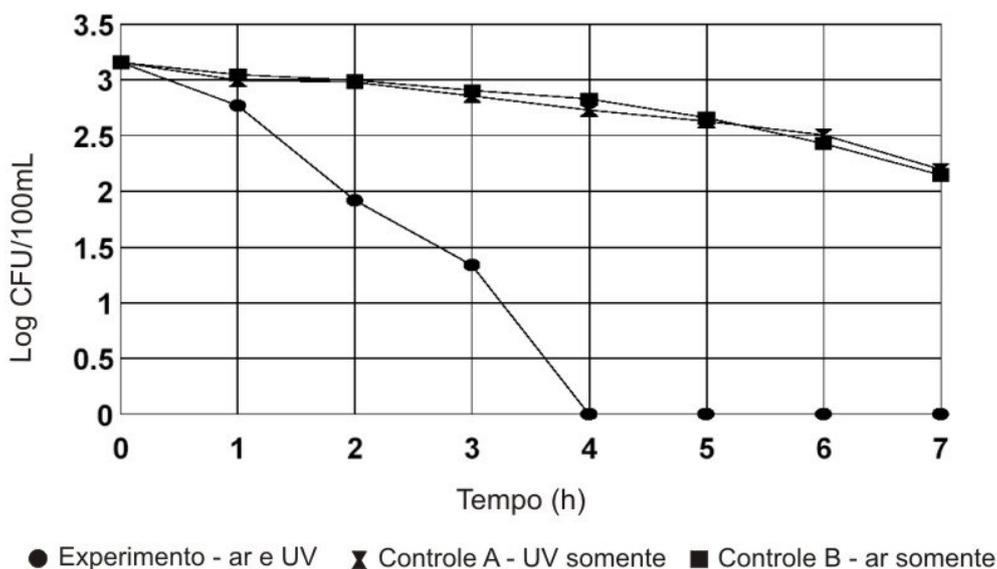
### 3.5.4. O efeito da agitação

Segundo Curtis *et al.* (1992); Gourmelon *et al.* (1994); Reed (1997) *apud* Kehoe (2001), o efeito bactericida da radiação solar na água depende do nível de oxigênio dissolvido. Conforme Meyer e Reed (2001), algumas espécies de bactérias fecais possuem resistência à inativação pela radiação na ausência de oxigênio.

Por meio da presença da luz solar, de substâncias húmicas e de reações de oxidação, peróxidos de hidrogênio são formados, e, através de catálise, o  $H_2O_2$  pode ser convertido em radical hidroxila (OH $\cdot$ ), com reatividade inferior apenas ao flúor. Essas espécies químicas são altamente oxidantes e têm grande importância no ponto de vista da desinfecção, auxiliando na inativação de microrganismos, através do processo chamado de desinfecção foto-oxidativa solar (DE MATTOS *et al.*, 2002; SODIS;

2003e). Todas as moléculas formadas têm o poder de danificar o DNA de bactérias. Apesar de esses radicais serem muito reativos, os mesmos possuem curto período de vida, limitando sua eficiência no processo de desinfecção (MEYER; REED, 2001).

Reed (1997); Meyer e Reed (2001) afirmam 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. Esse processo, denominado de SOLAIR (“solar + air”), combina o uso da radiação solar e oxigênio, encontrado de forma natural no meio ambiente. Em seus experimentos, Meyer e Reed (2001) utilizaram três tipos de tratamento das amostras de água: 1) água contaminada agitada 5 minutos antes de expor à luz solar; 2) água desoxigenada por nitrogênio ( $N_2$ ) e exposta a luz solar, controle tipo A; e 3) água em recipientes protegidos da luz solar, controle tipo B. Todos os recipientes foram agitados a cada hora. Observou-se que após um período de 4 horas, naqueles agitados e expostos à radiação solar houve destruição total de coliformes termotolerantes, ao passo que, nos recipiente controle tipo A (com radiação UV) ocorreu redução de CT de 14% e no tipo B (com ar) de apenas 10% (Figura 9).



Fonte: Meyer e Reed (2001).

**Figura 9** – Taxa de inativação de coliformes termotolerantes pelo tempo de exposição para diferentes amostras: ar e UV, UV somente e ar somente.

Kehoe *et al.* (2001); SODIS (2003e) recomendam não encher completamente a garrafa e agitá-las durante 1 minuto antes de expor, a fim de garantir um teor máximo de oxigênio dissolvido inicial.

### 3.5.5. Superfície de Exposição

O calor específico de uma substância é definido como sendo a quantidade de calor necessária para fazer um grama de determinada substância elevar 1 grau Celsius. Quanto maior o calor específico do material, mais lentamente ocorrerão as trocas de calor. Por outro lado, quanto menor o calor específico de uma substância, com mais facilidade ela perderá ou receberá calor.<sup>5</sup> O calor específico do concreto é de 0,88 kJ/(kg°C), da telha cerâmica de 0,63 kJ/(kg°C), do amianto de 0,79 kJ/(kg°C) e do alumínio de 0,91 kJ/(kg°C).<sup>6</sup> Portanto, acredita-se que características refletoras e absorvedoras de radiação e calor de diferentes superfícies de exposição podem influenciar na inativação dos microrganismos.

Conforme Wegelin *et al.* (1998), 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 SODIS (2003d), 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.

Martín-Domínguez *et al.* (2005) testaram o SODIS e concentradores solares no México (Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua - IMTA). Tais concentradores solares eram superfícies retangulares, quadradas e parabólicas revestidas com material refletor (alumínio, papel espelhado, folha de alumínio). Os concentradores retangulares foram dimensionados com capacidade para conter 4 garrafas de 2 litros, os quadrados, para 3 garrafas e o parabólico, para apenas duas garrafas. Foram expostas amostras de

---

<sup>5</sup> Fonte: [http://br.geocities.com/galileon/2/termo/quant\\_calor.htm](http://br.geocities.com/galileon/2/termo/quant_calor.htm)

<sup>6</sup> Fonte: <http://myspace.eng.br/eng/mat/prop1.asp>

água contidas em: garrafas transparentes, garrafas totalmente pintadas de preto e garrafas pintadas de preto na sua semi-seção horizontal. Os autores concluíram que o uso de concentrador solar com as garrafas pintadas metade de preto aumenta a eficiência da inativação de coliformes totais e termotolerantes, reduzindo o tempo de exposição para apenas duas horas. Contudo, eles afirmam que não é necessário fazer uso do concentrador solar, pois a completa desinfecção é atingida no período de um dia, quando se faz uso apenas do SODIS.

Sommer *et al.* (1997) pesquisaram o aumento da temperatura da água dentro de bolsas plásticas transparentes expostas a sol sobre diversas superfícies: madeira, microfibras, pequeno suporte de metal e grande suporte de metal. A superfície de exposição que proporcionou o maior aumento de temperatura foi o suporte metálico, e a menos eficiente de todas foi a madeira.

#### *3.5.6. Aplicação em campo*

O SODIS é uma tecnologia utilizada em mais de 20 países, sendo difundida por organismos locais, nacionais, internacionais, governamentais e não-governamentais. De acordo com Wegelin *et al.* (2005), atualmente, existem cerca de 1 milhão de usuários do SODIS, estimando-se 200.000 somente na América Latina até o final do ano de 2004. A Tabela 8 apresenta as instituições de fomento do SODIS nos países da América Latina.

**Tabela 8** - Instituições que difundem o SODIS na América Latina.

No	País	Instituição	No	País	Instituição
1	Bolívia	SAVE THE CHILDREN	22	Honduras	Acción contra el Hambre
2	Bolívia	IPTK	23	Honduras	IHER
3	Bolívia	Project Concern International PCI	24	Honduras	PRRAC
4	Bolívia	Ministerio de Salud/ EXTENSA	25	Honduras	Ministerio de Salud San Francisco Morazón
5	Bolívia	UNICEF	26	Honduras	UEBD/SANAA
6	Bolívia	CENPOSEP	27	Guatemala	Catholic Relief Services (CRS)
7	Bolívia	CARE Tarija	28	Guatemala	Project Concern Internacional (PCI)
8	Bolívia	ADRA	29	Guatemala	Ministerio de Salud/ Area Salud Guatemala
9	Bolívia	CARITAS	30	Nicarágua	Project Concern Internacional (PCI)
10	Peru	IDER-CV	31	Nicarágua	CEPS
11	Peru	Cruz Roja Peruana	32	Nicarágua	ALISTAR
12	Peru	ADRA	33	Nicarágua	ANASAM
13	Peru	DISA/CHANKA	34	Nicarágua	NICALIT
14	Peru	PIWANDES	35	Nicarágua	FUNDEMUNI
15	Peru	AYUDA EM ACCIÓN	36	Nicarágua	ADP
16	Equador	PLAN Internacional	37	Nicarágua	PROJECT HOPE
17	Equador	ZUMAR	38	Nicarágua	WISCONSIN PARTNERS
18	Equador	Ministerio de Salud/DPSO	39	Nicarágua	INPRHU
19	Equador	Salud Pública Internacional	40	El Salvador	PROVIDA
20	Equador	Ministerio Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)/SAPYSB	41	El Salvador	Ayuda Obrera Suiza (AOS)
21	Equador	SEMBRES	42	El Salvador	ACODI
			43	El Salvador	PCI
			44	El Salvador	Ministerio de Salud /SIBASI
			45	Brasil	Amigos da Prainha do Canto Verde, Caritas, CEARAH Periferia

Fonte: Wegelin *et al.* (2005).

### 3.5.7. Pesquisas sociais

As pesquisas podem ser divididas em dois grandes blocos: experimentais e qualitativas. O método experimental consiste em submeter um fato à experimentação em condições de controle e apreciá-lo coerentemente com critérios de rigor. A pesquisa qualitativa, ao contrário da metodologia baseada no experimentalismo, não busca a generalização de resultados, mas sim responder a questões muito particulares de um grupo social, de uma organização, de uma instituição ou representação, preocupando-se com um nível de realidade que não pode ser quantificado, ou seja, trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que compreende fenômenos e processos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis (PHILIPPI Jr., 2005).

Uma pesquisa social empírica compreende várias técnicas, como a observação, entrevistas e levantamento de dados secundários de caráter quantitativo. O trabalho de campo consiste no levantamento das falas (entrevistas), junto a uma observação sistemática acerca dos múltiplos aspectos inerentes ao cotidiano dos indivíduos com o intuito de caracterizar a sua dinâmica social (PHILIPPI Jr., 2005).

Moser; Heri; Mosler (2005) realizaram uma pesquisa qualitativa social bastante minuciosa a respeito do SODIS, no ano de 2004, em comunidades situadas em áreas geograficamente distintas na Bolívia. Ao todo, 644 chefes de famílias foram entrevistados em 8 comunidades. Desse total, 60% eram abastecidos pela rede pública de distribuição, 22% por água de poço, 12% por carros pipa e 4% por água de rios. Quanto ao armazenamento de água, 77% utilizavam baldes “*buckets*” e 14% barris. 81,2% das famílias faziam uso de algum tipo de tratamento de água, com 45,5% utilizando a fervura e 32,6% o SODIS. Entre as famílias que usavam regularmente SODIS, foram observados alguns problemas: 9% estavam fazendo SODIS com garrafas e tampas sujas; 8% estavam expondo as garrafas em locais sombreados e 30% estavam utilizando garrafas com capacidade maior que 3 litros. A diferença do número de casos de diarreia entre dois grupos, os que tratavam a água com o SODIS e os que não tratavam com este método, mostrou a eficiência do processo. Observou-se uma baixa incidência de diarreias, estatisticamente significativa, no grupo que tratava a água pelo método SODIS.

A redução significativa nos casos de diarreias severas, a prevenção da cólera e a eliminação de mais de 90% do indicador de contaminação fecal são os principais resultados dos estudos de campo a respeito dos benefícios trazidos pelo SODIS para a saúde humana. (EAWAG/SANDEC, 2005)

A I Conferência Internacional sobre Promoção de Saúde, em Ottawa, Canadá, em 1986, destacou que a promoção da saúde é o processo de capacitação da comunidade, atuando na melhoria de sua qualidade de vida e de saúde por meio do exercício da cidadania (PHILIPPI JR. 2005).

Para a transferência do SODIS à comunidade, a Fundación SODIS baseia-se no princípio básico de que a iniciativa de tratar a água e melhorar a saúde parta de uma decisão da própria comunidade após perceber e ser informada sobre os problemas locais associados com a qualidade da água identificados previamente. As ações de implementação do SODIS praticadas pela Fundación SODIS são participativas e democráticas. A partir de oficinas de sensibilização, motivação e capacitação, são transmitidas informações básicas sobre desinfecção de água e sua importância para a saúde. Todos os setores da comunidade (escolas, igreja e organizações locais) são envolvidos no processo de difusão e promoção dessa tecnologia, atentando sempre para o fato de comunicar os líderes, associações e responsáveis pelo posto de saúde local antes de iniciar qualquer atividade junto à comunidade. A etapa de capacitação desses diversos setores é a fase mais duradoura de implementação da tecnologia, pois, para cada grupo (professores de escolas, multiplicadores, profissionais de saúde e famílias), existe uma metodologia diferenciada. A ação dos multiplicadores, ou seja, pessoas locais têm a função de replicar conhecimentos básicos sobre saúde e o uso correto de métodos domésticos de desinfecção (SODIS, fervura e cloração) à comunidade. Essa é uma estratégia de grande aceitação por parte dos moradores e gera um melhor acompanhamento do uso correto do SODIS, usando visitas domiciliares. (EAWAG/SANDEC, 2005)

Segundo SODIS (2003i), os equívocos mais frequentes cometidos pelos usuários do método são: exposição das garrafas em locais inadequados, sombreados por árvores ou casas e colocação das garrafas com a parte pintada de preto voltada para cima.

### 3.5.8. Legislação e qualidade microbiológica de água

Segundo a Organização Mundial de Saúde existem diferentes níveis de risco de contaminação associados à concentração de coliformes termotolerantes na água (Tabela 9).

**Tabela 9** – Níveis de risco à saúde em função da concentração de coliformes termotolerantes nos sistemas de abastecimento de água.

No de coliformes termotolerantes/ 100mL	Descrição
0	Cumprir com as normas da OMS
1-10	Baixo risco
10-100	Médio risco
100-1000	Alto risco
>1000	Risco muito alto

Fonte: EAWAG/SANDEC (2005).

Segundo a Portaria nº518/GM, do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, a água para consumo humano em conformidade quanto ao padrão microbiológico deverá utilizar como parâmetro de qualidade sanitária o *Escherichia coli* ou os coliformes termotolerantes, devendo ser preferencialmente adotado o primeiro. O valor máximo exigido para os dois casos citados acima é a ausência em 100mL.

A Portaria nº518/GM – MS define água potável como: “água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde” (BRASIL, 2004).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

---

### 4.1. Fases da pesquisa e características da área

A pesquisa foi realizada no Estado do Ceará, constituindo-se, basicamente, de duas fases:

- 1- Estudo da eficiência do método SODIS sob diferentes condições técnicas.
- 2- Estudo da viabilidade técnica e social do método SODIS aplicado em campo (comunidades).

O Estado do Ceará está localizado um pouco abaixo da linha do Equador, numa posição nitidamente tropical entre 2°46'30" e 7°52'15" de latitude sul e 37°14'54" e 41°24'45" de longitude ocidental, possuindo excelentes condições de insolação (2800 horas/ano) e de baixa nebulosidade (média: 3,70).<sup>7</sup>

A área experimental, onde se realizou a primeira etapa da pesquisa, está localizada na estação climatológica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. A escolha deste local se deu pelo fato da proximidade com a estação automática, equipamento recolhedor dos dados meteorológicos, e por ser uma área plana, sem edificações ou vegetação robusta que proporcionassem sombras (Figura 10).

---

<sup>7</sup> Fonte: <http://www.ceara.com.br/cepg/recursoshidricos.htm>



**Figura 10** - Área experimental - Estação climatológica UFC. Fortaleza, Ceará. 2005.

Para a realização da etapa experimental, foram construídas bancadas e superfícies para exposição das garrafas, e instalada uma nova estação automática.

Em maio de 2004, instituições não governamentais nacionais e internacionais começaram a desenvolver um projeto de intervenção em educação sanitária e saneamento ambiental em comunidades no Estado do Ceará. O projeto consistia basicamente na implementação de tecnologias sociais de saneamento com o objetivo de melhorar a saúde e a qualidade de vida de comunidades cearenses desprovidas de saneamento adequado. Esse era, então, um momento oportuno para o desenvolvimento de uma pesquisa qualitativa social da aplicação do método SODIS.

## 4.2. Primeira Fase – Eficiência do SODIS

Foram construídas três superfícies, sendo: 1) superfície de amianto; 2) superfície de alumínio e 3) superfície de concreto com três divisórias, uma parte pintada de preto, e duas partes pintadas de branco, onde, em uma, dispunham-se telhas cerâmicas (de barro), quando necessário (Figura 11).

Segundo Acra *et al.* (1984), para obter uma maior eficiência da desinfecção solar, os recipientes devem permanecer expostos à radiação em uma posição inclinada de acordo com a latitude do local, apontados para o sul, nos países do hemisfério norte, e para o norte nos países do hemisfério sul. Nesse contexto, todas as superfícies foram construídas com uma inclinação de 4°, referente à latitude do local da pesquisa, e apontadas para o norte.

Com o intuito de medir de forma contínua a temperatura da água, foi montada, ao lado das bancadas, uma estação automática cedida pela Universidade Federal do Ceará. A mesma estava equipada com: estrutura de sustentação, sistema de aquisição de dados: datalogger (Campbell Scientific, Inc, modelo: CR 10X), fonte de alimentação do sistema: painel solar (Campbell Scientific, Inc, modelo: SX 10M), caixa de proteção e sensores analógicos: 12 termopares tipo T. Os termopares ficaram enterrados no solo e protegidos por tubulação de PVC com diâmetro de 25 mm. A fim de evitar interferência de fator externo, como a radiação solar incidindo diretamente sobre o fio de cobre-constantan e ocasionando possíveis alterações em sua diferença de potencial (DDP) gerada entre os terminais, todos os termopares foram envoltos em papel alumínio.

Para medir a temperatura na água das garrafas a serem expostas ao sol, foram realizados pequenos furos no centro das tampas e introduzidos os termopares até aproximadamente o centro das garrafas. Arames recozidos foram utilizados como guia para os termopares, facilitando o posicionamento correto de cada um na massa de água, sempre à meia-altura (aproximadamente 6cm da superfície). Para evitar algum vazamento da água pelo furo na tampa, foi usado silicone líquido para uma boa vedação.



**Figura 11** – Superfícies de exposição das garrafas (Fase 1). Fortaleza, Ceará. 2005

Essa primeira fase de avaliação da eficiência do método SODIS sob condições técnicas se desenvolveu durante os meses de novembro de 2005 a fevereiro de 2006. Esta fase subdividiu-se em duas etapas:

- 1- Verificação do efeito da agitação das garrafas com água, no processo SODIS – (etapa de agitação).
- 2- Verificação do efeito da exposição das garrafas sobre diferentes superfícies – (etapa de superfície).

#### *4.2.1. Estudo do efeito da agitação da água*

Em novembro de 2005, deram-se início aos experimentos de avaliação do efeito da agitação (oxigenação da água) na inativação de coliformes termotolerantes.

#### 4.2.1.1. Coleta de água

Apesar da existência de vários poços contaminados com carga microbiológica (coliformes termotolerantes) de até  $10^3$ NMP.100mL<sup>-1</sup>, em Fortaleza (BIASOLI 2000), para realização da pesquisa necessitava-se de amostras de águas com características bastante atípicas. O intuito era estudar os casos mais desfavoráveis, ou seja, água com contaminação na concentração inicial de coliformes termotolerantes de  $10^4$  a  $10^6$ NMP.100mL<sup>-1</sup>. Para obter uma água com tamanha carga microbiológica foi necessário fazer diluições com efluente de esgoto doméstico.

O esgoto doméstico utilizado foi coletado em um poço de visita da CAGECE, no Campus do PICI (Universidade Federal do Ceará). Foi realizada uma amostragem composta com coleta de amostra de três em três horas (08:00; 11:00, 14:00 e 17:00 horas) para a caracterização microbiológica desse esgoto.

A água foi obtida de um poço, localizado ao lado da estação climatológica da UFC. O mesmo possui profundidade de 49 metros, nível estático de 23 metros, nível dinâmico de 43 metros, vazão de 4.200L/h e abastece a edificação do Departamento de Engenharia Agrícola, estação climatológica. A água é utilizada para consumo humano, rega de jardim, banheiros e cozinha.

O esgoto doméstico era coletado um dia antes do experimento, utilizando amostras composta já citadas e, então, mantido refrigerado a  $\pm 4^\circ\text{C}$ , das 17h30min às 06h00min. No dia do ensaio, uma hora antes do início do experimento, o esgoto era diluído com a água do poço. Foram utilizadas duas diluições, uma na proporção de 500mL de esgoto bruto para 20L de água nos dois primeiros ensaios e outra de 80mL de esgoto para 20L de água no último ensaio. Optou-se, inicialmente, por trabalhar com água bruta na concentração de coliformes termotolerantes de  $10^6$  NMP.100mL<sup>-1</sup>, contudo, a partir dos primeiros resultados, decidiu-se reduzir essa concentração para  $10^5$  NMP.100mL<sup>-1</sup>, aproximando-se um pouco mais de valores reais encontrados em águas brutas superficiais contaminadas.

Através da Expressão 3.1, foi determinado o volume de esgoto bruto necessário para obter a concentração inicial desejável do indicador fecal.

$$V_e \cdot C_e = V_{af} \cdot C_{af} \quad 3.1$$

Em que:

$V_e$ : Volume do esgoto bruto usado para inocular a água teste. (mL)

$C_e$ : Concentração de coliforme termotolerante do esgoto bruto (NMP. 100mL<sup>-1</sup>).

$V_{af}$ : Volume final necessário para preencher todas as garrafas (volume do esgoto bruto + volume total de água) (mL).

$C_{af}$ : Concentração adotada de coliforme termotolerante do afluyente final (NMP.100mL<sup>-1</sup>).

O volume da água teste inoculada com esgoto é a soma do volume de água bruta do poço mais o volume do esgoto bruto (Expressão 3.2).

$$V_{af} = V_a + V_e \quad 3.2$$

Em que:

$V_a$ : Volume de água bruta (mL)

#### 4.2.1.2. Preparo das garrafas

Garrafas transparentes tipo PET (volume de dois litros) de refrigerantes foram escolhidas para servirem de recipientes. Mesmo sendo um material de baixa transmitância da radiação UV-A (SOMMER *et al.* 1997), é o mais acessível para moradores de comunidades difusas e também é o material difundido pela Fundación SODIS nos países em que dá suporte.

Garrafas coloridas (azuis e verdes) não foram testadas, pois os trabalhos sobre o assunto citam que as cores absorvem radiação, reduzindo a eficiência. Foi padronizada a utilização de apenas uma marca de garrafa, visto que, para marcas distintas, existe diferença na espessura do material, o que influencia na penetração da radiação solar. Foram então escolhidas garrafas de um único refrigerante de ampla penetração no mercado, por serem mais fáceis de encontrar e as mais usadas pelas populações envolvidas no trabalho.

As garrafas foram recolhidas em restaurantes e seus rótulos foram retirados. Estas foram lavadas com detergente neutro e enxaguadas várias vezes com a mesma água do poço utilizada na diluição.

#### 4.2.1.3. Agitação das garrafas

As garrafas foram preenchidas com água inoculada com esgoto (água teste) até 2/3 de sua capacidade, com a finalidade de deixar um espaço interno com ar, para equilibrar a concentração de oxigênio. Seguindo a metodologia utilizada por Kehoe *et al.* (2001), cada garrafa foi agitada manualmente, por um período de 1 minuto, correspondendo a 20 braçadas (Figura 12), completadas com a água inoculada e, então, expostas à radiação solar sobre a superfície de concreto pintado de branco. As garrafas não agitadas foram preenchidas com água inoculada até à boca da garrafa e expostas à radiação sobre a mesma superfície de concreto pintado de branco.



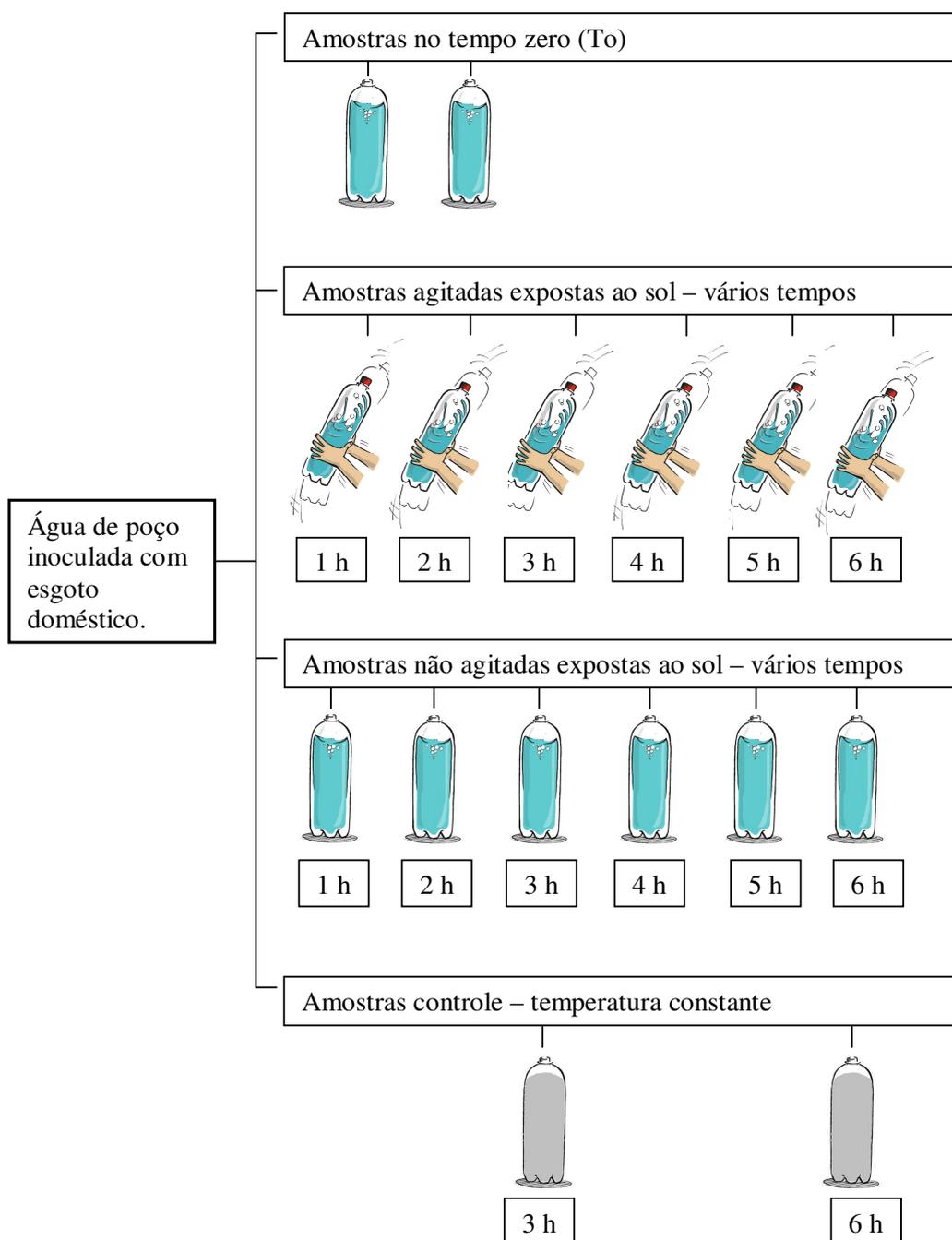
**Figura 12** - Agitação manual das garrafas. Fortaleza, Ceará. 2005

#### 4.2.1.4. Desenho Experimental

Em cada bateria de ensaio, foram expostas à radiação solar 12 garrafas PET. Dessas 12 garrafas, 6 foram agitadas e 6 não foram agitadas (Figuras 13 e 14) Duas outras garrafas foram envoltas em papel alumínio e serviram de controle, mantidas

longe da radiação solar, em ambiente seco, arejado e com temperatura do ar entre 27 a 31°C. Estes controles foram usados para comparar o comportamento da população de coliformes termotolerantes ao longo do experimento, sem influência da luz solar.

Cada bateria de ensaio foi realizada no intervalo das 09h00min até 15h00min, período escolhido por ser o horário de maior insolação, como mostrou a série de dados de radiação solar global para Fortaleza (Figuras 21 e 22, capítulo 5).



**Figura 13** - Desenho esquemático da etapa com agitação das garrafas



**Figura 14** - Garrafas agitadas e não agitadas expostas à radiação solar. Fortaleza, Ceará. 2005

Após cada hora de exposição ao sol, duas garrafas eram retiradas, uma agitada e outra não agitada. Os tempos para retirada das amostras, utilizados por Wegelin *et al.* (1994) e Sommer *et al.* (1997) foram de 1, 2, 4 e 6 horas. No entanto, seguindo o raciocínio de Monteiro; Brandão; Souza (2000), a frequência de amostragem adotada foi de hora em hora (1, 2, 3, 4, 5, 6 horas), a fim de melhor definir o intervalo de tempo de inativação. Para cada bateria de ensaio, foram realizadas medições de turbidez, cor, pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água e concentração de coliformes termotolerantes. Foram coletados os dados meteorológicos: radiação solar global, pluviometria, temperatura do ar e insolação.

#### *4.2.2. Etapa de exposição das garrafas em diferentes superfícies*

Em janeiro de 2006, deram-se início aos experimentos para avaliar o efeito das diferentes superfícies que serviram de suporte das garrafas. Foram utilizadas cinco superfícies: concreto pintado de branco, concreto pintado de preto, telha de barro, bacias

de alumínio e telha de amianto. Esses materiais foram escolhidos conforme sua utilização generalizada em domicílios urbanos e rurais.

O cimento pintado de branco foi escolhido devido à expansão da construção de cisternas de placa através do Programa do Governo Federal P1MC, tornando-o assim, uma superfície de fácil acesso para a colocação das garrafas para uso do SODIS em zonas rurais. Portanto, a utilização dessa superfície serviu para simular o uso do SODIS sobre as cisternas de placas.

A literatura destaca que pintando meia seção da garrafa de preto e expondo ao sol com esta parte voltada para baixo, aumenta-se consideravelmente a eficiência do método SODIS. Seguindo essa linha de pensamento, pintou-se o concreto na cor preta (tinta óleo – preto fosco) evitando assim possíveis equívocos em pintar as garrafas e expô-las de forma errônea e também o trabalho de pintar todas as garrafas utilizadas no processo.

A telha de barro, bem como a telha de amianto, são materiais bastante utilizados em cobertas de domicílios.

E por último, conforme a revisão bibliográfica, baseando-se no fato de que superfícies espelhadas ou de alumínio funcionam como concentradores solar, foi empregado um objeto bastante utilizado e de fácil acesso em qualquer comunidade: a bacia de alumínio.

#### *4.2.2.1. Coleta de água*

A metodologia utilizada para a coleta da água e do esgoto foi análoga à etapa de agitação. A concentração inicial de coliformes permaneceu em  $10^5$  NMP.100mL<sup>-1</sup>.

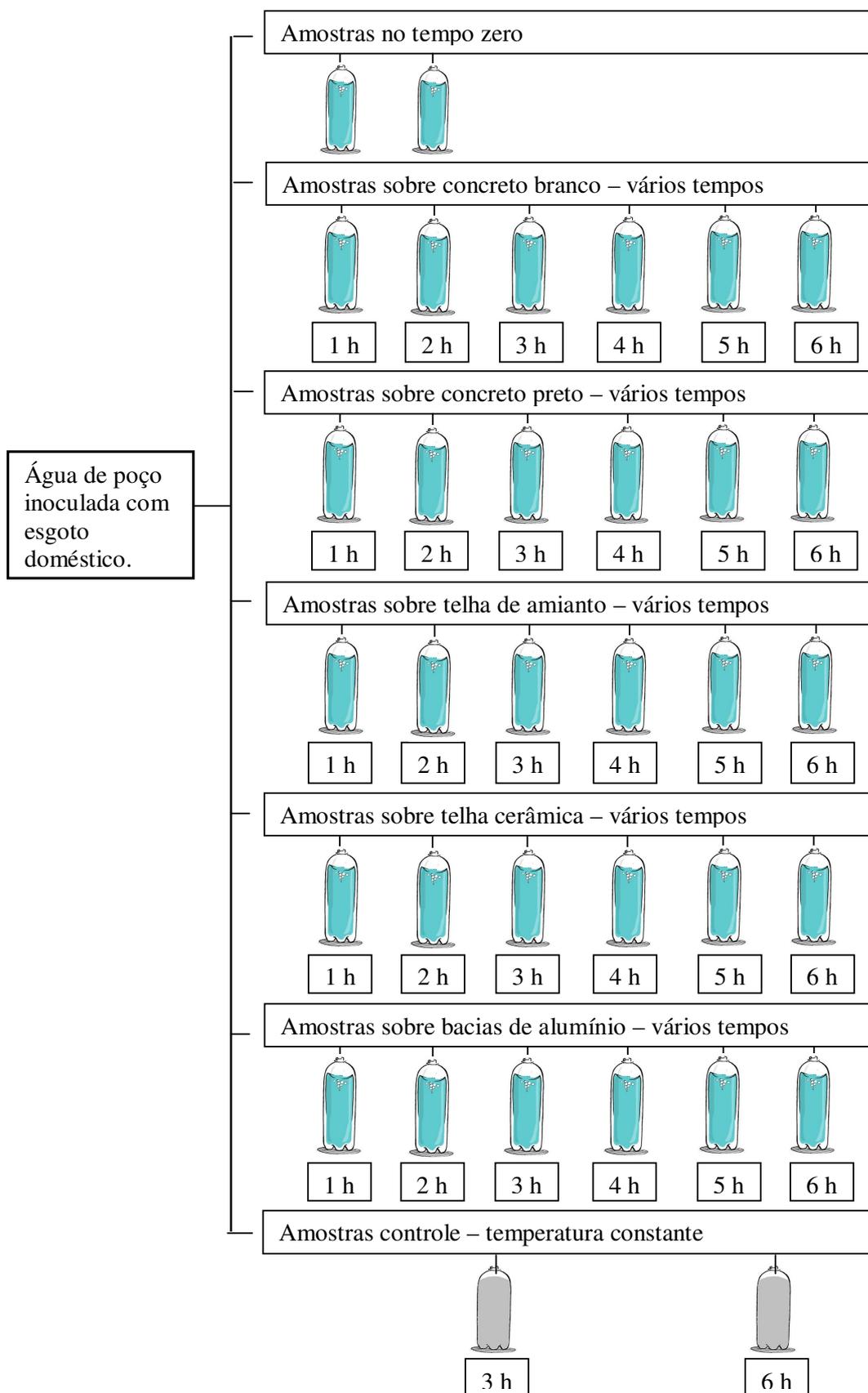
#### *4.2.2.2. Preparo das garrafas*

A metodologia utilizada para o preparo das garrafas PET foi análoga à etapa de agitação.

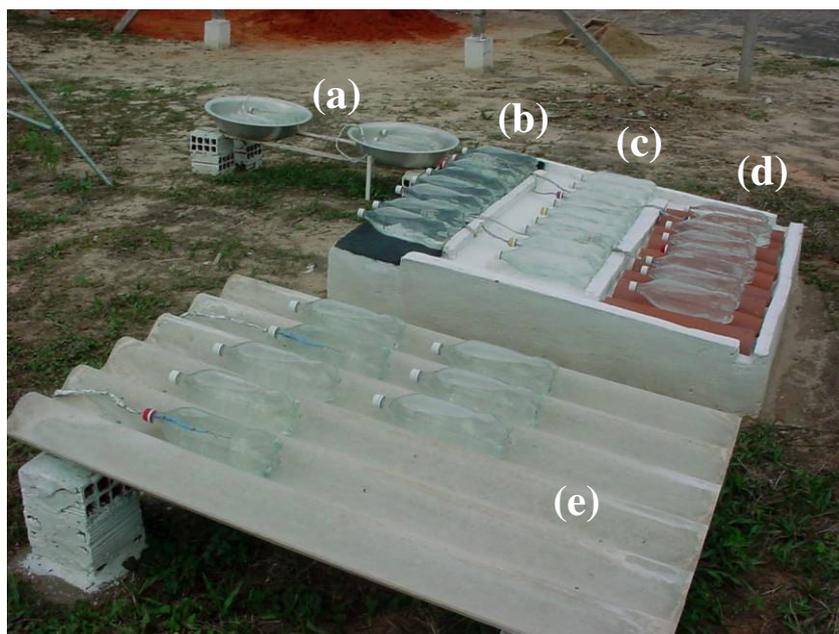
#### *4.2.2.3. Desenho Experimental*

Em cada superfície foram expostas à radiação seis garrafas PET transparentes, totalizando 30 garrafas por ensaio mais duas garrafas controle localizadas em um ambiente longe do sol (Figuras 15 e 16).

Todas as garrafas foram preenchidas completamente e expostas sobre as superfícies durante o horário de 09h00min as 15h00min. De hora em hora (10h00min, 11h00min, 12h00min, 13h00min, 14h00min, 15h00min) uma garrafa de cada superfície era retirada para análises físicas e microbiológicas iguais às citadas na etapa de agitação, com exceção do parâmetro OD. Todos os dados climáticos também foram coletados.



**Figura 15** - Desenho esquemático com variação dos tipos de superfícies suportes das garrafas.



**Figura 16** - Garrafas expostas à radiação solar sobre diferentes superfícies: (a) bacia de alumínio; (b) cimento pintado de preto; (c) cimento pintado de branco; (d) telha de barro; (e) telha de amianto. Fortaleza, Ceará. 2006.

#### 4.2.3. Monitoramento da Temperatura

Tendo em vista que a ação da temperatura é um fator importante na desinfecção solar, foi realizado o monitoramento, durante 24 horas, deste parâmetro. Durante os meses de dezembro de 2005 a fevereiro de 2006, foram coletados os valores máximos, mínimos e médios de temperatura com intervalos de 30 minutos. Sobre cada superfície, duas garrafas eram monitoradas. Os dados eram retirados quinzenalmente do datalogger, utilizando um módulo armazenador e transferidos ao computador, através de software (PC 208W, Campbell Scientific, Inc). Os dados foram, então, sistematizados, e as médias das temperaturas das duas garrafas expostas em cada superfície foram calculadas.

#### 4.2.4. Quadro Geral

A tabela 10 apresenta um quadro resumo dos ensaios realizados nas etapas de agitação das garrafas e de variação das superfícies suportes das garrafas.

**Tabela 10** – Quadro geral dos ensaios SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005/2006.

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Amostra (tratamento)</b>	<b>Especificações</b>
<b>1º Etapa</b>	<b>Estudo do efeito da agitação da água</b>	água inoculada com esgoto	amostra inicial (água bruta) - tempo 0
		SODIS com agitação sobre superfície concreto pintado de branco	Garrafas transparentes + agitação - tempos: 1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas
		SODIS sem agitação sobre superfície concreto pintado de branco	Garrafas transparentes sem agitação - tempos: 1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas
		Controle	Garrafas transparentes envoltas em papel alumínio mantidas na escuridão
<b>2º Etapa</b>	<b>Exposição das garrafas em diferentes superfícies</b>	água inoculada com esgoto	amostra inicial (água bruta) - tempo 0
		água inoculada com esgoto	amostra inicial (água bruta) - tempo 0
		SODIS sobre superfície concreto pintado de branco	Garrafas transparentes + superfície concreto branca - tempos:1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas
		SODIS sobre superfície concreto pintado de preto	Garrafas transparentes + superfície concreto preto - tempos: 1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas
		SODIS sobre superfície telha de barro	Garrafas transparentes + superfície telha de barro - tempos:1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas
		SODIS sobre superfície telha de amianto	Garrafas transparentes + superfície telha de amianto - tempos:1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas
		SODIS sobre superfície bacia de alumínio	Garrafas transparentes + superfície bacia de alumínio - tempos:1, 2, 3, 4, 5 e 6 horas
		Controle	Garrafas transparentes envoltas em papel alumínio mantidas na escuridão

#### 4.2.5. Parâmetros analisados

As determinações de OD e temperatura da água durante a etapa de agitação foram feitas mediante sonda “in situ”, utilizando oxímetro (YSI-55). Durante a etapa de avaliação das superfícies, a temperatura foi determinada usando termopares. Os demais parâmetros físicos e microbiológicos foram analisados no Laboratório Integrado de Água de Mananciais e Residuárias; CEFET Ceará.

Para medição de OD, um volume de 350mL da amostra foi retirado da garrafa, colocado em becker de 400mL e feita a leitura com oxímetro, tomando devidos cuidados para evitar contaminações secundárias e turbulências na água, que causariam uma falsa concentração de OD.

Para a determinação de coliformes, o método usado foi o da Fermentação em Tubos Múltiplos com Meio A1 DIFCO® baseado no NMP (Número Mais Provável). Essa metodologia está preconizada pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, publicação da *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (WEF)*.

A fermentação de tubos múltiplos foi escolhida por ser a técnica utilizada no laboratório do LIAMAR no CEFET, onde foram realizados todos os ensaios.

A Tabela 10 apresenta um resumo das metodologias dos parâmetros medidos em laboratório.

**Tabela 11** - Parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água. Pesquisa sobre o SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005/2006.

<b>Parâmetro</b>	<b>Metodologia</b>
Potencial Hidrogeniônico (pH)	<p>Potenciométrico</p> <p>➤ Instrumento: Potenciômetro marca MICRONAL, modelo B474 com eletrodo combinado, previamente calibrado.</p>
Turbidez (uT)	<p>Nefelométrico</p> <p>➤ Instrumento: Espectrofotômetro marca HACH, modelo DR/2000, calibrado e com comprimento de onda ajustado para 450nm.</p>
Cor aparente (uH)	<p>Nefelométrico</p> <p>➤ Instrumento: Espectrofotômetro marca HACH, modelo DR/2000, calibrado e com comprimento de onda ajustado para 455nm.</p>
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	<p>Fermentação em Tubos Múltiplos - Meio A1 DIFCO®.</p> <p>Inoculação de diluições decimais da amostra em séries de cinco tubos contendo meio A1, incubação em estufa bacteriológica regulada a 35°C por 3 h e em banho-maria regulado a 45°C por 21h, seguido de contagem dos tubos com turvação e produção de gás e conversão a NMP.100mL<sup>-1</sup> por meio de tabelas de probabilidade com nível de confiança de 95%.</p> <p>As diluições e os volumes inoculados encontram-se descritos nas tabelas ANEXO 1 e 2 nos Anexos.</p> <p>➤ Instrumento: Estufa bacteriológica marca QUIMIS modelo Q-316M-5, regulada a 35°C. Banho-maria marca HAAKE, modelo n6, regulado a 45°C.</p>

Fonte: APHA, 1998

#### 4.2.6. Cronograma dos ensaios

A Tabela 11 apresenta o cronograma físico dos ensaios de agitação e de avaliação das superfícies, realizados na Universidade Federal do Ceará.

**Tabela 12** - Cronograma físico dos ensaios técnicos

Etapas	Data	Quantidade de amostras			
		Água bruta	Expostas ao sol	Controle	Total
Etapa da agitação	22/11/2005	2	12	2	16
	6/12/2006	2	12	2	16
	8/12/2006	2	12	2	16
Etapa de superfície	18/1/2006	2	30	2	34
	31/1/2006	2	30	2	34
	14/2/2006	2	30	2	34
<b>Total</b>		12	126	12	<b>150</b>

#### 4.2.7. Análises matemáticas

A taxa de mortalidade bacteriana é geralmente estimada pela lei de Chick, Expressão 3.3 (VON SPERLING, 1996).

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = k \cdot \int_{t_0}^t dt \quad 3.3$$

A expressão integrada em termos de concentração de inativação pode ser escrita, segundo a Expressão 3.4:

$$N = N_0.e^{-k.t} \quad 3.4$$

Em que:

N = Concentração de coliforme termotolerante no tempo t

N<sub>0</sub> = Concentração inicial de coliforme termotolerante.

k = constante de inativação para um determinado procedimento

t = tempo expresso em horas.

Quando as concentrações foram de <2 NMP.100mL<sup>-1</sup>, ou seja, admitida como nula, consideraram-se concentrações corrigidas iguais a 1 (uma) unidade, pois, caso fossem consideradas zero, este valor não seria admitido na Expressão 3.4, nem pelos cálculos logarítmicos utilizados para gerar os gráficos de inativação.

O método utilizado para a determinação da constante de decaimento bacteriano k foi o método dos mínimos quadrados, de Reed-Therault (VON SPERLING, 1996).

O modelo matemático consistiu em um processo iterativo que procurou otimizar uma função objetivo. Essa função foi descrita em termos de minimização dos erros quadrados (coluna D) entre os valores observados (coluna B) e calculados (coluna C) pela expressão 3.3 (Tabela 12). A ferramenta “solver” do Excel foi utilizada para otimizar essa função, em que a constante (k) é a célula variável e o “∑ do erro” é a célula de destino (Figura 17).

**Tabela 13** - Tabela de aplicação do modelo cinético de 1º ordem

<b>No (A):</b>		<b>log(N<sub>0</sub>)</b>	
<b>Tempo (t)</b>	<b>Log<sub>10</sub> Observado (B)</b>	<b>Modelo Cinético (C)</b>	<b>Erro (D)</b>
0	log(N <sub>0</sub> )	(A).e <sup>(k.0)</sup>	((B <sub>0</sub> )-(C <sub>0</sub> )) <sup>2</sup>
1	log(N <sub>1</sub> )	(A).e <sup>(k.1)</sup>	((B <sub>1</sub> )-(C <sub>1</sub> )) <sup>2</sup>
2	log(N <sub>2</sub> )	(A).e <sup>(k.2)</sup>	((B <sub>2</sub> )-(C <sub>2</sub> )) <sup>2</sup>
3	log(N <sub>3</sub> )	(A).e <sup>(k.3)</sup>	((B <sub>3</sub> )-(C <sub>3</sub> )) <sup>2</sup>
4	log(N <sub>4</sub> )	(A).e <sup>(k.4)</sup>	((B <sub>4</sub> )-(C <sub>4</sub> )) <sup>2</sup>
5	log(N <sub>5</sub> )	(A).e <sup>(k.5)</sup>	((B <sub>5</sub> )-(C <sub>5</sub> )) <sup>2</sup>
6	log(N <sub>6</sub> )	(A).e <sup>(k.6)</sup>	((B <sub>6</sub> )-(C <sub>6</sub> )) <sup>2</sup>
		$\Sigma$ do erro	SOMA(D <sub>0</sub> :D <sub>6</sub> )
		<b>k (h<sup>-1</sup>)</b>	<b>gerado</b>

**Figura 17** - Parâmetros do solver para otimização da função objetivo

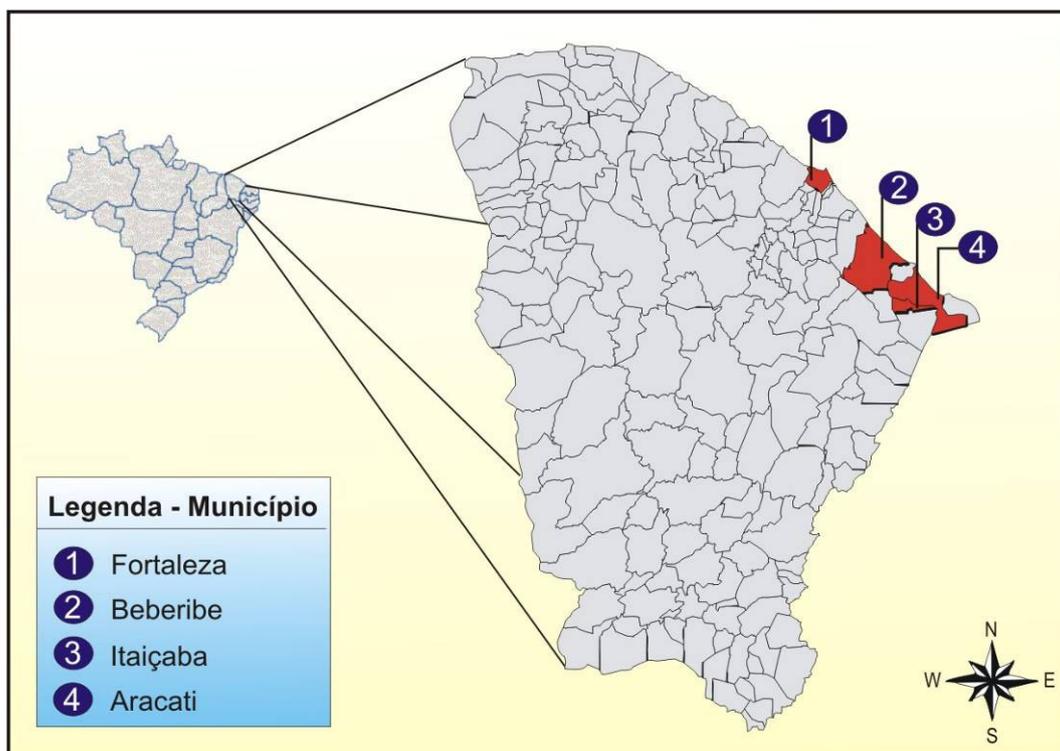
### **4.3. Segunda Fase – Aplicação em campo**

Esta etapa foi realizada em parceria com ONGs nacionais (Instituto Terramar, CEARAH Periferia, Associação dos Amigos da Prainha do Canto Verde e Cáritas Arquidiocesana Ceará), internacionais (Fundación SODIS, Stanley Johnson) e a Universidade Federal do Ceará. Visando uma avaliação mais precisa, essa tecnologia foi implantada experimentalmente em quatro comunidades localizadas em diferentes cenários: urbano, rural e litorâneo.

A escolha das comunidades considerou o perfil do saneamento ambiental das mesmas no contexto estadual. Mapeando-se os dados levantados pelo Censo do IBGE de 2000, verificou-se que os municípios localizados no Nordeste do Ceará apresentam maior carência quanto aos serviços básicos de saneamento (Figuras 02, 03 e 04). Considerou-se, também, a existência de trabalhos assistencialistas nas comunidades selecionadas promovidos por Organizações não-Governamentais e outras associações.

#### 4.3.1. Área de Estudo

Os quatro municípios no Ceará onde se localizam as comunidades pesquisadas estão identificados na Figura 18.



**Figura 18** - Localização dos municípios selecionados para a pesquisa no Estado do Ceará. 2004.

Respeitando os critérios de escolha, as localidades selecionadas foram:

1. **Cidade de Deus**, no bairro São João do Tauape, em **Fortaleza**: ocupação irregular recente na área do Lagamar, com 180 famílias, onde se verifica ausência de esgotamento sanitário adequado, a falta de banheiros e a existência de abastecimento de água por sistemas clandestinos que comprometem a qualidade da água que é consumida sem tratamento.
2. **Prainha do Canto Verde**, em **Beberibe**: comunidade litorânea pesqueira com 200 famílias, que possui uma liderança comunitária bastante organizada e fortalecida, contando com o apoio assistencialista das ONGs Instituto Terramar e Amigos da Prainha do Canto Verde. A existência de fossas rudimentares em

grande parte dos domicílios e a superficialidade do lençol freático comprometem a qualidade da água consumida, proveniente de poços artesanais.

3. **Camurim**, em **Itaiçaba**: comunidade rural com 58 famílias que vivem da agricultura de subsistência e da extração de produtos da carnaúba. Sem abastecimento por rede geral e passando por períodos de escassez de água durante as secas, a grande maioria das famílias foi beneficiada com cisternas de placas construídas pela Fundação Cáritas Arquidiocesana do Ceará. Apesar de ter amenizado o problema de escassez, a água das cisternas, armazenada de forma precária e contendo sedimentos e contaminantes do telhado, é consumida sem tratamento adequado. Além disso, uma grande parcela dos domicílios não possui banheiro.
4. **Nova Esperança**, em **Aracati**: comunidade rural localizada às margens da CE-040, cujas 75 famílias vivem basicamente da agricultura de subsistência. Os domicílios da localidade, em sua maioria de taipa, contam com abastecimento de água por rede geral, que funciona de forma precária, havendo falta de água semanalmente, de acordo com relatos dos moradores. Recentemente, foram construídos e instalados alguns “kits” de banheiro, caixa d’água e tanque em algumas residências, pela Fundação Cáritas Arquidiocesana do Ceará, mas o número foi insuficiente para atender a demanda. Nas casas não beneficiadas, as condições de esgotamento e armazenamento de água são inadequadas e comprometem a saúde e o bem-estar dessas famílias.

#### *4.3.2. Transferência da Tecnologia à comunidade*

Para obter um efeito positivo e duradouro na saúde pública, é necessária a combinação de ações, como o tratamento de água, seu armazenamento seguro, a educação sanitária e o saneamento adequado (EAWAG/SANDEC, 2005). Portanto, trabalhos de sensibilização para a importância dos hábitos de tratar (desinfetar) a água, hábitos de higiene pessoal e ambiental e hábitos de destinar adequadamente os resíduos fecais foram realizados a partir de oficinas participativas com a comunidade, distribuição de cartilhas educativas e parcerias com as escolas e postos de saúde. A estratégia de difusão dos conhecimentos sobre SODIS e de educação sanitária foi padronizada para todas as comunidades.

A metodologia utilizada na transferência da tecnologia à comunidade pôde ser dividida nos seguintes tópicos:

1. **Pré-diagnóstico sócio-econômico ambiental.** Em cada localidade, questionários sócio-econômicos foram aplicados através de amostragem aleatória perfazendo 30% das famílias, incluindo perguntas sobre escolaridade, renda, abastecimento, armazenamento de água e esgotamento. Esses questionários não tinham por finalidade caracterizar estatisticamente as comunidades trabalhadas, pois a amostra levantada não representa o universo pesquisado, e sim apenas identificar suas principais necessidades e nortear a forma de trabalho a ser implantada em cada localidade. O modelo deste questionário é apresentado no Apêndice F, Figura F1.
2. **Sensibilização** – Após um período de contato com as lideranças e agentes de saúde, foram apresentados, aos moradores, os resultados obtidos a partir do pré-diagnóstico sócio-econômico e discutido de forma participativa o processo de implementação do projeto. Oficinas sobre higiene e educação sanitária foram ministradas.
3. **Educação** – O processo educativo foi iniciado com treinamentos e capacitações sobre água e saúde. Os métodos convencionais de desinfecção foram revisados através de dinâmicas participativas e atividades lúdicas. Após a explicação de diferentes técnicas (fervura e cloração), o método SODIS foi apresentado. Foi repassado à comunidade o correto manejo desta tecnologia, apresentadas suas vantagens e desvantagens e sanadas as eventuais dúvidas. O objetivo dessas oficinas não era de impor nenhum método específico de desinfecção e sim mostrar as alternativas existentes e conscientizar para a necessidade de se fazer uso de alguma tecnologia, não importando qual. Como temas transversais foram também discutidos: a importância de destinar adequadamente os resíduos fecais e a forma adequada de dispor e coletar os resíduos sólidos.
4. **Multiplicadores** – Pessoas das comunidades foram escolhidas a partir de suas motivações e interesse para trabalhar como multiplicadores do projeto. Em fevereiro de 2005, 27 multiplicadores foram intensamente treinados em educação sanitária, métodos caseiros de desinfecção e manejo do SODIS. Os multiplicadores ou promotores foram divididos por área e cada um ficou responsável por visitar e acompanhar um grupo de no máximo 20 famílias.

Foram distribuídos aos multiplicadores materiais didáticos e educativos, como apostilas sobre água e cartilhas quanto ao uso do SODIS (Figura ANEXO 1, nos Anexos). Durante os meses de março a julho de 2005, os multiplicadores visitaram os moradores das comunidades, aplicando questionários e repassando os conhecimentos adquiridos sobre educação sanitária. Acredita-se que a ação dos multiplicadores, pessoas locais, seja bem mais valorizada pela comunidade. Com o auxílio do trabalho dessas pessoas, utilizando a aplicação de questionários de monitoramento, foi possível avaliar a aceitabilidade e a sustentabilidade do método SODIS.

#### *4.3.3. Caracterização da amostra e período do estudo*

O universo amostral abrangeu todas as famílias das comunidades, entretanto, 10 famílias da Prainha do Canto Verde (3%), 2 famílias de Nova Esperança (2%) e 20 famílias da Cidade de Deus (10%) se recusaram a responder as perguntas. Os questionários foram respondidos pelo chefe de família. Em caso de sua ausência, aplicavam-se as perguntas ao responsável pelo domicílio naquele momento.

Foram aplicados 4 tipos de questionários nas quatro comunidades. O primeiro, denominado de “Reconhecimento”, foi aplicado apenas uma vez durante o mês de março, com a finalidade de conhecer melhor as famílias e avaliar a sua percepção quanto ao problema da baixa qualidade de água. O segundo, “SODIS 1” refere-se ao manejo do método e foi aplicado duas vezes, uma em março e outra em maio de 2005. O terceiro modelo, chamado de “SODIS 2”, foi aplicado durante o mês de maio de 2005, e o quarto, intitulado de “Aceitação”, com intuito de avaliar a sustentabilidade do SODIS, foi aplicado no mês de junho do mesmo ano. Os modelos dos questionários estão apresentados nas Figuras F2 a F5, no Apêndice F.

#### *4.3.4. Análises microbiológicas das amostras processadas pela comunidade*

Durante os meses de junho e julho de 2005, nas comunidades selecionadas, foram coletadas água bruta (antes de aplicar SODIS) e água tratada pelo método, para a análise de coliformes termotolerantes. As garrafas SODIS foram preparadas e

manuseadas pelos próprios moradores, e expostas ao sol no período da manhã, aproximadamente às 07h00min. Entre as 14h30min e 17h00min do mesmo dia, as garrafas eram retiradas do sol, mantidas refrigeradas em um isopor com gelo e encaminhadas para o laboratório em Fortaleza, nunca ultrapassando um intervalo maior que 8 horas entre a coleta e o início da análise. O motivo desse intervalo entre as coletas (14h30min e 17h00min) era a distância percorrida de automóvel entre uma comunidade e outra. Nesta etapa, foi utilizado o método tubos múltiplos para a quantificação de coliformes termotolerantes.

#### 4.3.5. Cronograma das atividades realizadas nas comunidades

A Tabela 13 apresenta o cronograma físico das atividades desenvolvidas nas comunidades.

**Tabela 14** - Cronograma das atividades desenvolvidas em campo (comunidades).  
Pesquisa sobre o SODIS. Ceará.

2004	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Pré-Diagnóstico</b>									
<b>Sensibilização</b>									
<b>Educação - capacitação</b>									
2005	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
<b>Educação - oficinas</b>									
<b>Capacitação dos Multiplicadores</b>									
<b>Implementação das tecnologias</b>									
<b>Acompanhamento e coleta dos dados</b>									

#### 4.4. Estudo Estatístico

Foram utilizadas duas ferramentas computacionais, “STATDISK 9.1” 9th Edition by Mario Triola, para análise dos dados técnicos, da primeira fase, e “SPSS”

(*Statistical Package for the Social Sciences*) 10.0 for Window para análise dos dados coletados em campo.

Os resultados das etapas de agitação das garrafas e de variação das superfícies de exposição foram analisados através de comparações entre as médias aritméticas de duas amostras emparelhadas. Para isso, utilizou-se a razão t, ou teste de t de Student. As amostras estudadas foram consideradas emparelhadas, ou seja, combinadas, pois provinham do mesmo sujeito (mesma qualidade de água).

A fim de evitar o emprego de um teste inadequado que poderia levar a falsas conclusões, alguns requisitos básicos precisaram ser observados antes de aplicar a distribuição t. Esses requisitos, chamados de supostos paramétricos, foram:

- A variável é quantitativa contínua, medida pelo menos em uma escala intervalar;
- Distribuição normal dos dados: o emprego da razão t em amostras pequenas pressupõe que a variável observacional tenha distribuição normal na população.

Todas as amostras observadas eram contínuas e intervalares. A comprovação da hipótese da normalidade dos dados foi realizada a partir da prova de curtose. A curtose é uma medida de dispersão que caracteriza o "achatamento" da curva da função de distribuição. (BISQUERRA; SARRIERA; MARTÍNEZ, 2004). Essa prova foi aplicada calculando um valor z e comparando este valor com um valor crítico, baseado no nível de significância desejável. Quando o valor z calculado excedia o valor crítico, então a distribuição não se ajustava à normalidade. O valor crítico adotado foi de  $\pm 1,96$ , a um nível de significância de 0,05 ( $\alpha$ ).

O valor estatístico (z) é calculado para a curtose usando a seguinte expressão:

$$z_{\text{curtose}} = \frac{\text{curtose}}{\sqrt{\frac{24}{N}}}$$

Em que:

N: tamanho da amostra.

O valor da curtose foi obtido com o software Excel, da Microsoft.

O teste estatístico “t” tem como ponto de partida o estabelecimento de hipóteses estatísticas (BISQUERRA; SARRIERA; MARTÍNEZ, 2004):

- Hipótese Nula ( $H_0$ ): A diferença é estatisticamente nula, ou seja, as diferenças observadas se devem às oscilações do acaso.
- Hipótese Alternativa ( $H_a$ ): As diferenças observadas não podem ser explicadas pelas oscilações do acaso, isto é, as diferenças são estatisticamente significativas.

A existência de correlações dos dados, as curvas de dispersão e a aquisição do coeficiente de Pearson foram determinadas com auxílio da ferramenta computacional Excel, da Microsoft.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

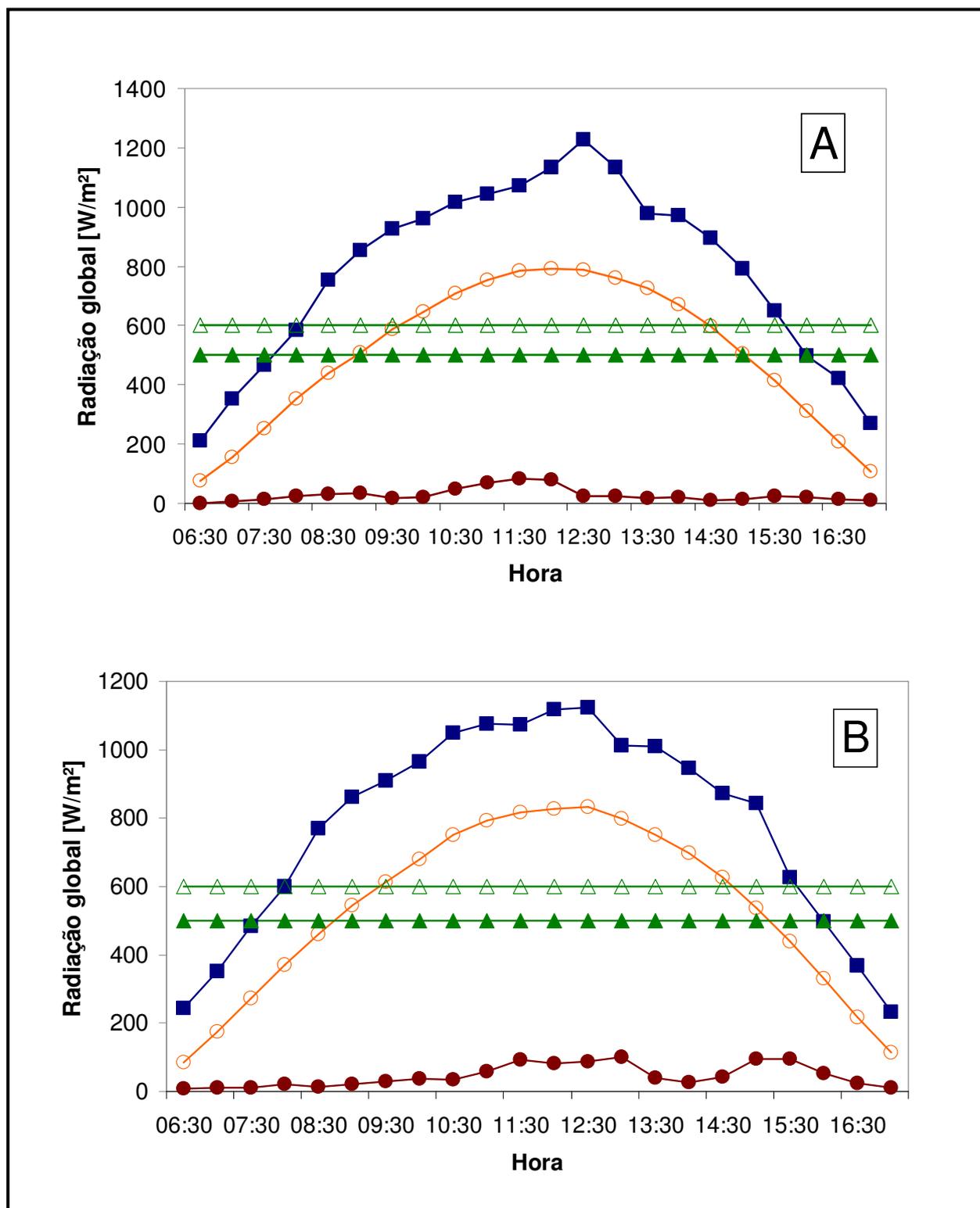
---

Os resultados estão organizados segundo as etapas que foram definidas na metodologia e nos objetivos específicos.

### 5.1. Condições climáticas – Estado do Ceará

#### 5.1.1. Melhor horário de exposição

A partir do cálculo das médias horárias de radiação solar global de 2004 e 2005, observa-se que o melhor horário de exposição das amostras para desinfecção pela luz solar no Estado do Ceará é das 09h00min as 15h00min (Figura 19). Pode-se ainda verificar que, durante esse intervalo de tempo, os valores de radiação solar global são superiores aos recomendados pela literatura, de 500W/m<sup>2</sup> (LAWAND *et al.*, 1988 apud WEGELIN *et al.*, 1994) e 600W/m<sup>2</sup> (ZAPP *et al.*, 1987 apud PROSAB, 2001).



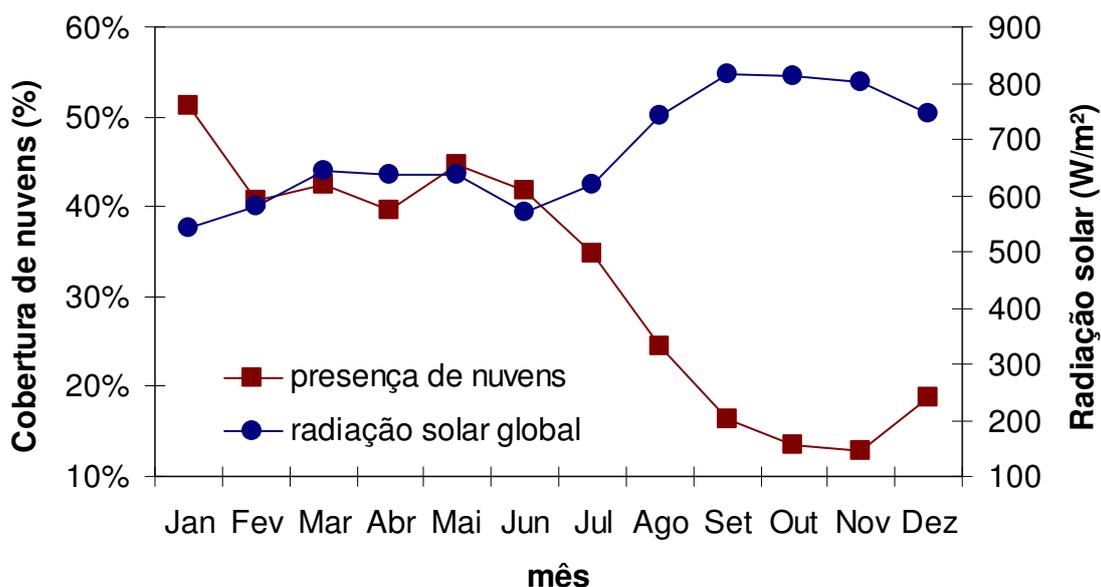
Fonte: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (dados para Fortaleza)

**Figura 19** – Valores médios (○), máximos (■), mínimos (●) de radiação solar global registrados em 2004 (A) e 2005 (B) das 06:30 as 17:00, em Fortaleza, Ceará, e valores mínimos necessários para realizar o SODIS: 500W/m<sup>2</sup> - Lawand *et al.* (1988 apud Wegelin *et at.* 1994) (▲) e 600W/m<sup>2</sup> - Zapp *et al.* (1987 apud Prosab 2001) (△).

### 5.1.2. Condições de nebulosidade

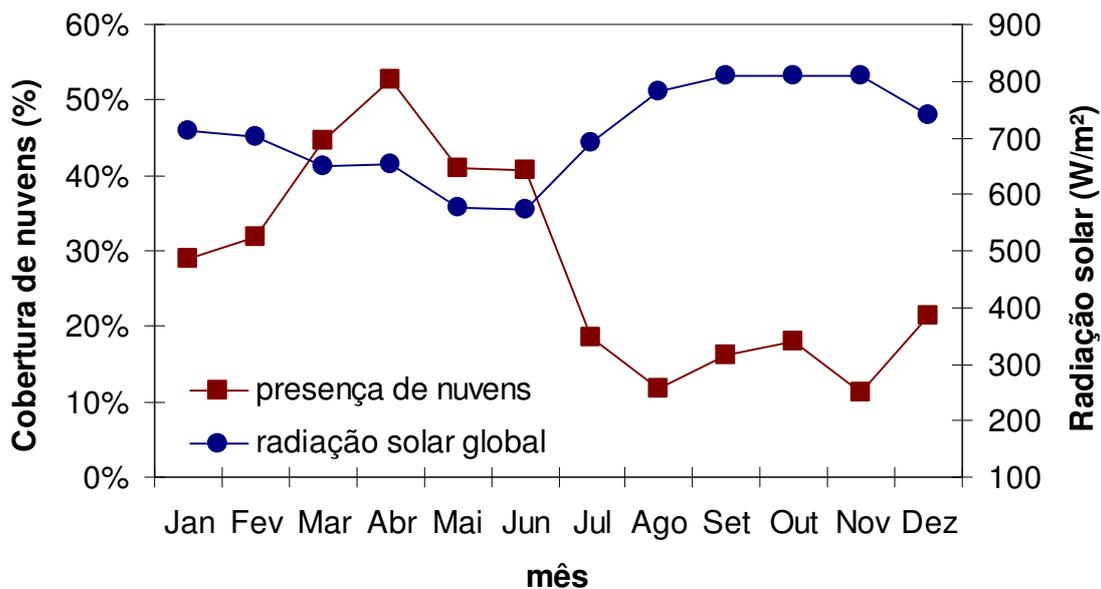
Em Beirute, Acra *et al.* (1990) observaram, durante o mês de maior intensidade de radiação, junho, valores médios de radiação UV-A de  $1820\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$  e no mês de menor intensidade,  $479\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

Por não dispor da fração de radiação correspondente às ondas curtas (UV-A), realizou-se a sistematização das médias mensais de radiação solar global e do período diurno em que o céu encontrou-se coberto por nuvens, dos anos de 2004 e 2005 (Figuras 20 e 21). Esse período coberto por nuvens é calculado a partir dos dados de insolação, ou seja, horas de brilho solar livre de quaisquer nuvens capazes de interrompê-lo (VIANELLO; ALVES, 1991), obtidos com o heliógrafo na Universidade Federal do Ceará.



Fonte: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (dados para Fortaleza).

**Figura 20** - Valores de radiação solar (●) e cobertura do céu (■) por nuvens no ano de 2004. Fortaleza, Ceará.



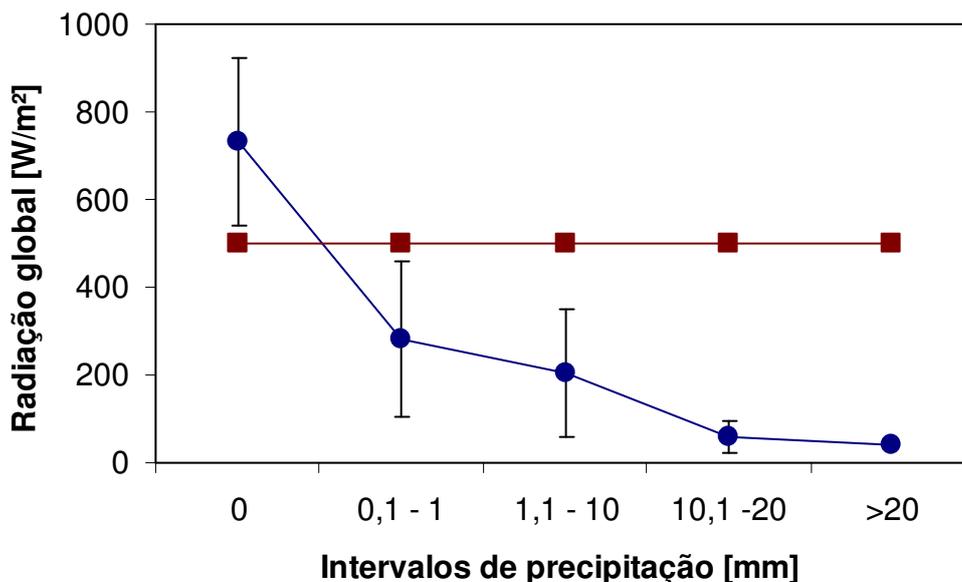
Fonte: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (dados para Fortaleza).

**Figura 21** - Valores de radiação solar (●) e cobertura do céu (■) por nuvens no ano de 2005. Fortaleza, Ceará.

Note-se que quanto maior a porcentagem do período diurno coberto por nuvens, menor é a radiação solar. Esta redução pode ser explicada pela combinação de efeitos da inclinação dos raios solares, aumento da umidade (vapor d'água) e absorção causada pela presença de nuvens densas.

Os valores de menor radiação registrados nos anos de 2004 e 2005 são observados nos meses de janeiro a junho, correspondendo ao período chuvoso no Estado do Ceará.

A Figura 22 apresenta os valores médios de radiação solar, para 2004, durante o período de pico, correlacionados com intervalos de precipitação. Note-se que para valores de precipitação acima de 0,1mm, a radiação solar sempre está abaixo do recomendado por Lawand *et al.* (1988 apud Wegelin *et al.* 1994). Os valores médios de radiação foram: 731,80; 282,36; 203,19; 59,73 e 39,97W/m<sup>2</sup>, respectivamente, para os intervalos de precipitação de 0; 0,1 a 1,0mm; 1,1 a 10; 10,1 a 20 e >20mm.



Fonte: Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (dados para Fortaleza)

**Figura 22** - Variação da radiação solar global com o aumento de precipitação (●) no ano 2004, e zona limite para desinfecção – Sommer *et al.* (1997) (■). Fortaleza, Ceará.

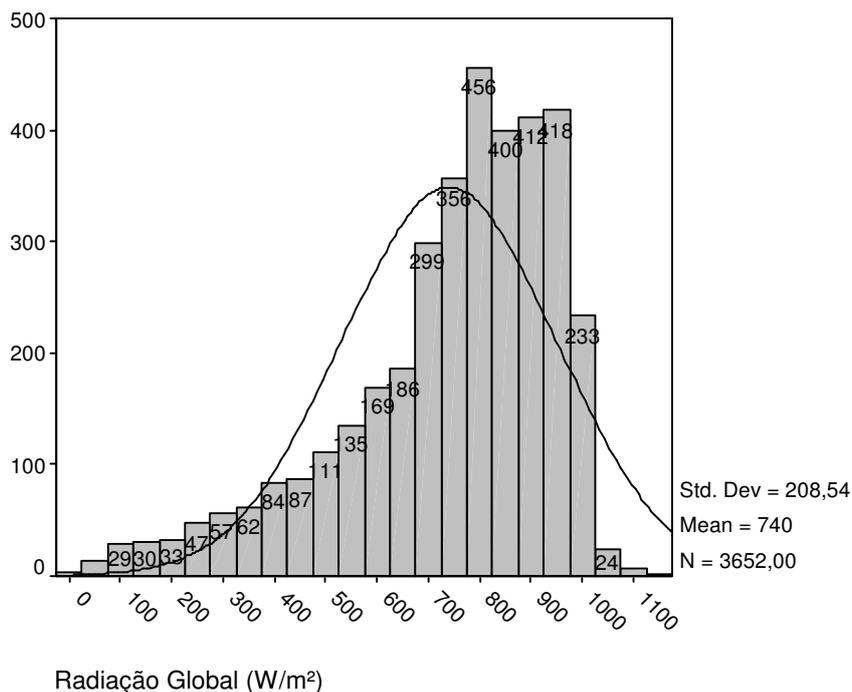
### 5.1.3. Viabilidade climática do SODIS no Estado do Ceará

Além das médias de radiação solar, faz-se necessário uma análise de distribuição de frequência para poder inferir a respeito de quantos dias do ano se pode realizar o SODIS no Estado do Ceará. Para isso, levaram-se em consideração as duas hipóteses já citadas sobre a quantidade mínima de radiação necessária para se obter a devida eficiência do método SODIS.

Hipótese 1: Radiação mínima de  $500\text{W/m}^2$  por um período de cinco horas ininterruptas. (LAWAND *et al.*, 1988 apud Wegelin *et at.* 1994)

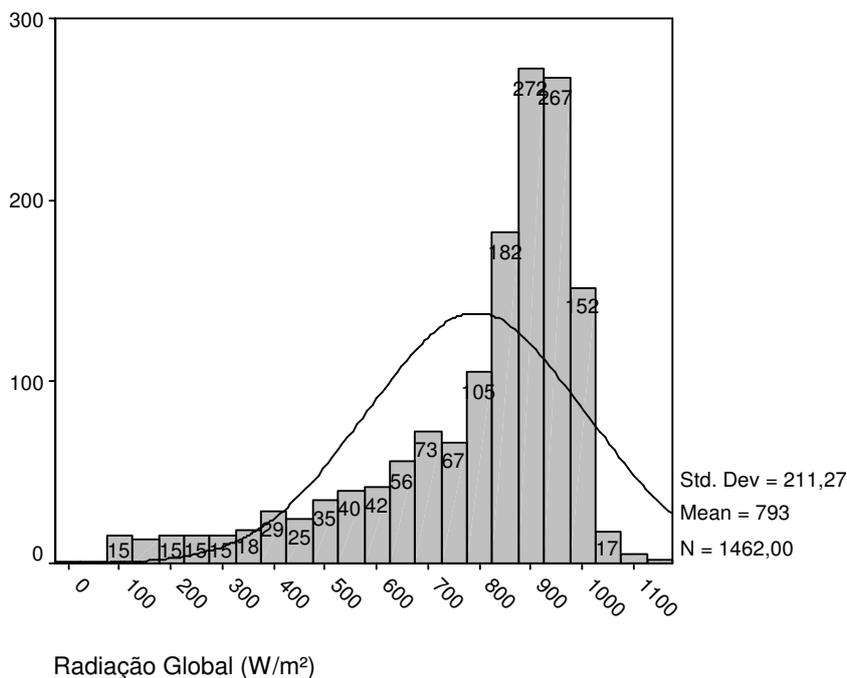
Hipótese 2: Radiação mínima de  $600\text{W/m}^2$  por um período de duas horas ininterruptas. (ZAPP *et al.*, 1987 apud PROSAB, 2001)

As Figuras 23 e 24 mostram os histogramas de radiação solar segundo as hipóteses 1 e 2, respectivamente.



Fonte: Departamento de Engenharia Agrícola, Univesidade Federal do Ceará.

**Figura 23** - Histograma dos dados de radiação solar com intervalo de 30 minutos entre o período de 09:00horas e 14:00horas de 2004 e 2005, gerado pelo SPSS.



Fonte: Departamento de Engenharia Agrícola, Univesidade Federal do Ceará.

**Figura 24** - Histograma dos dados de radiação solar com intervalo de 30 minutos entre o período de 11:00horas e 13:00horas de 2004 e 2005, gerado pelo SPSS.

Avaliando o histograma de radiação referente à primeira hipótese, verifica-se que a distribuição é assimétrica negativa, significando que, a curva se estende para a esquerda, ou seja, um desvio à direita, o qual denota que, para os dados dispostos, prevalecem valores de radiação superiores às médias, acima de  $740\text{W/m}^2$ . Pela distribuição de frequência, apenas 14% das horas pesquisadas dos anos 2004 e 2005 corresponderam a valores de radiação abaixo de  $500\text{W/m}^2$ .

Conforme os dados da segunda hipótese, ou seja, referentes ao período de onze horas às treze horas, constata-se, pelo histograma, o mesmo enviesamento da curva à direita, prevalecendo, também, valores acima da média de  $793\text{ W/m}^2$ . Analisando a distribuição de frequência para esse intervalo de tempo, gerada pelo SPSS, apenas 11% das horas dos anos de 2004 e 2005 corresponderam a valores de radiação abaixo de  $600\text{W/m}^2$ .

A partir dessas análises, acredita-se que em mais de 85% dos dias do ano, pode-se realizar o SODIS no Estado do Ceará.

Note-se que os gráficos apontam uma grande viabilidade climática para se fazer uso do método SODIS, com condições de radiação solar, no Estado do Ceará, bastante favoráveis. Apenas nos dias chuvosos não se recomenda utilizar o método, já que o céu encontra-se completamente coberto por nuvens, reduzindo a intensidade de radiação solar global abaixo de  $500\text{W/m}^2$  (Figura 22).

Esta inferência da viabilidade do SODIS no Ceará não se aplica para as regiões serranas, como o maciço de Baturité e a serra da Ibiapaba, pois, conforme Oates *et al.* (2003), em regiões montanhosas, devido à existência de adversos microclimas, como grande nebulosidade, a eficácia do SODIS pode ser reduzida consideravelmente.

## 5.2. Etapa do efeito de agitação da água

### 5.2.1. Dados da amostra inoculada com esgoto

Ao todo, 48 amostras de água inoculada com esgoto doméstico bruto foram analisadas microbiologicamente tendo como indicador o grupo dos coliformes termotolerantes. Os parâmetros pH, cor e turbidez também foram determinados.

A concentração de coliforme termotolerante do esgoto bruto doméstico foi de  $2,7 \times 10^7$  NMP.100mL<sup>-1</sup>. As características físicas e microbiológicas da amostra inoculada com esgoto doméstico são apresentados na Tabela 14.

**Tabela 15** - Parâmetros físicos e microbiológicos da água bruta inoculada com esgoto doméstico antes de ser exposta a luz solar. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará.

Etapa	Data	Turbidez [uT]	Cor [uH]	pH	Coliforme termotolerante [NMP/100mL]		
					AB 1	AB 2	Média
SODIS - agitação das garrafas	22/11/2005	6,50	39,50	7,54	1,70E+06	2,40E+06	2,05E+06
	6/12/2005	6,00	30,50	7,40	1,70E+06	2,20E+06	1,95E+06
	8/12/2005	1,00	11,00	7,62	2,40E+05	3,00E+05	2,70E+05

AB1 – água Bruta 1 (etapa: agitação das garrafas. Figura 13).

AB2 – água Bruta 2 (etapa: agitação das garrafas. Figura 13).

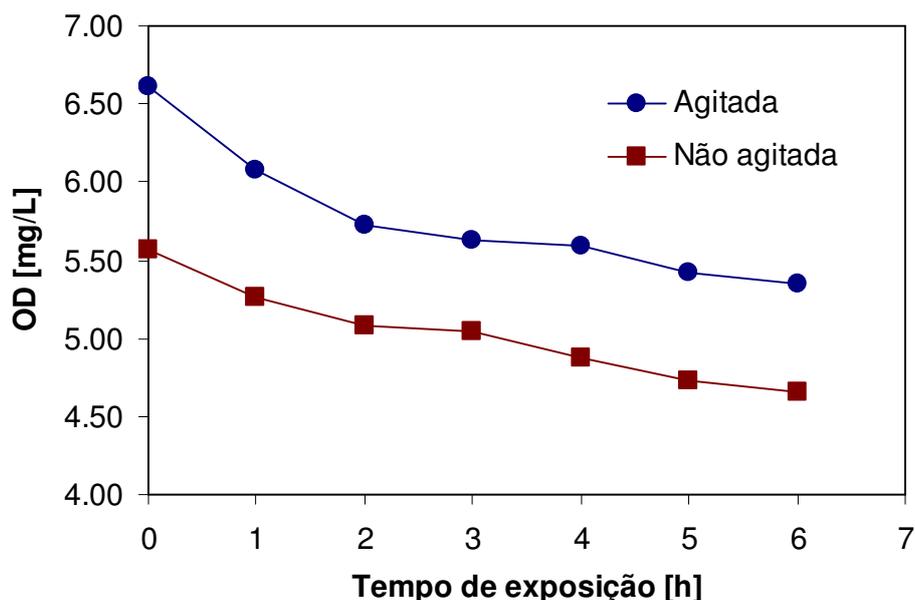
Os valores da concentração inicial de coliformes variaram entre  $10^5$  e  $10^6$  NMP.100mL<sup>-1</sup>. A turbidez, em todas as amostras afluentes, ficou abaixo do valor recomendado por Wegelin *et al.* (1994), de 30uT, garantindo, dessa forma, a boa eficiência do SODIS.

### 5.2.2. Oxigênio dissolvido e temperatura da água

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) é um fator diferencial que se supõe que auxilia na eficiência do SODIS, através de reações foto-oxidativas ocasionados pela formação de espécies altamente reativas, como o radical hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ).

O oxigênio se dissolve nas águas naturais, proveniente da atmosfera, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura (VON SPERLING, 1996).

A Figura 26 apresenta o comportamento da concentração de OD das amostras agitadas e não agitadas, ao longo das 6 horas de exposição.



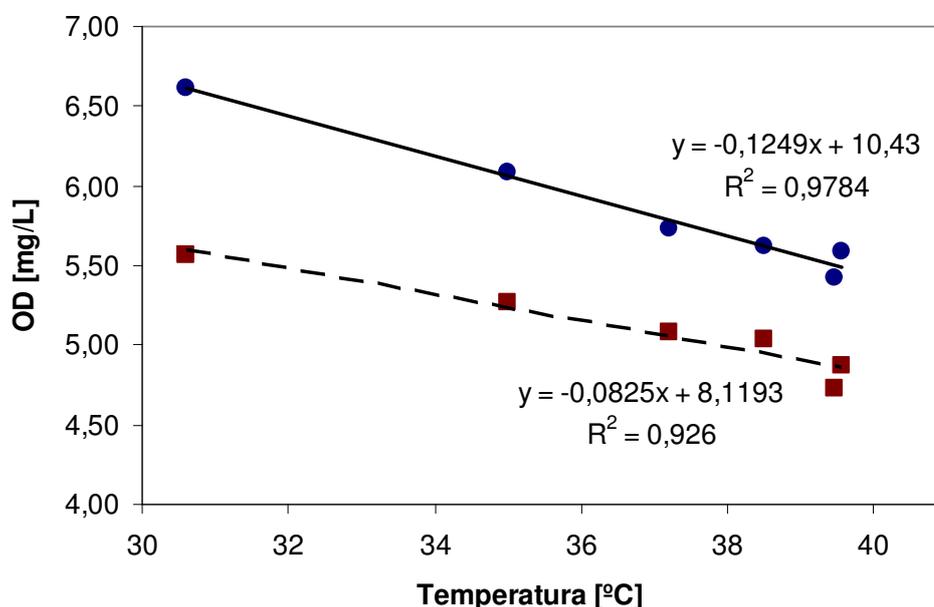
**Figura 26** - Concentração média de OD das amostras agitadas e não agitadas em função do tempo. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005.

Observa-se, na Figura 26, que o fato de agitar as garrafas antes de expor ao sol aferiu uma concentração média de 0,75mg/L de OD a mais nas amostras agitadas, em relação às que não foram submetidas à agitação.

Meyer e Reed (2001) encontraram diferenças de concentrações de O.D entre garrafas agitadas e não agitadas superiores às obtidas no presente estudo, contudo as circunstâncias experimentais eram distintas. Foram utilizadas amostras agitadas por 5 minutos antes da exposição ao sol e amostras desoxigenadas por nitrogênio, resultando em uma diferença média de 2mg/L e sem decaimento deste valor ao decorrer do tempo, isto por que as amostras agitadas eram submetidas à agitação manual de hora em hora durante o período de exposição.

Ao correlacionar os dados de OD com a temperatura da água, para os dois procedimentos, através de um diagrama de dispersão, evidenciou-se uma forte correlação linear, pois os coeficientes  $R^2$  obtidos foram de 0,9784, para os dados com agitação, e 0,926, para os dados sem agitação (Figura 27).

O coeficiente de decaimento de OD ( $k$ ) encontrado para a curva de agitação foi 1,5 vezes maior que para a de não agitação. Os valores obtidos foram:  $0,1249 \text{ h}^{-1}$  e  $0,0825 \text{ h}^{-1}$ . Isto indica que a concentração de oxigênio dissolvido na água quando a garrafa é agitada decai a uma velocidade 1,5 vezes maior comparada àquela que não sofre processo de agitação (Figura 27).



**Figura 27** - Diagrama de dispersão mostrando a regressão linear de OD (mg/L) em função da temperatura (°C) para amostras agitadas (●) e não agitadas (■). Pesquisa sobre SODIS, Fortaleza, Ceará. 2005.

Resultados semelhantes de taxas médias de decaimento de OD, comparando os processos de agitação e não agitação, foram evidenciados por Kehoe *et al* (2001), no entanto, com diferenças mais significativas. Esses autores observaram que nas amostras agitadas o O.D decaia a uma taxa duas vezes maior que nas não agitadas. Os valores de k encontrados foram  $0,103 \text{ h}^{-1}$  para as amostras agitadas e  $0,053 \text{ h}^{-1}$  para as não agitadas.

### 5.2.3. Eficiência da agitação

A eficiência média de inativação de coliformes termotolerantes nas garrafas não agitadas foi de 99,993% ao final de 6 horas de exposição, enquanto, nas garrafas agitadas foi de 99,997%. Note-se a pequena diferença entre os processos, de apenas 0,014% de eficiência (Tabela 15).

**Tabela 16** – Eficiência média na inativação de coliformes termotolerantes – etapa de agitação. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005.

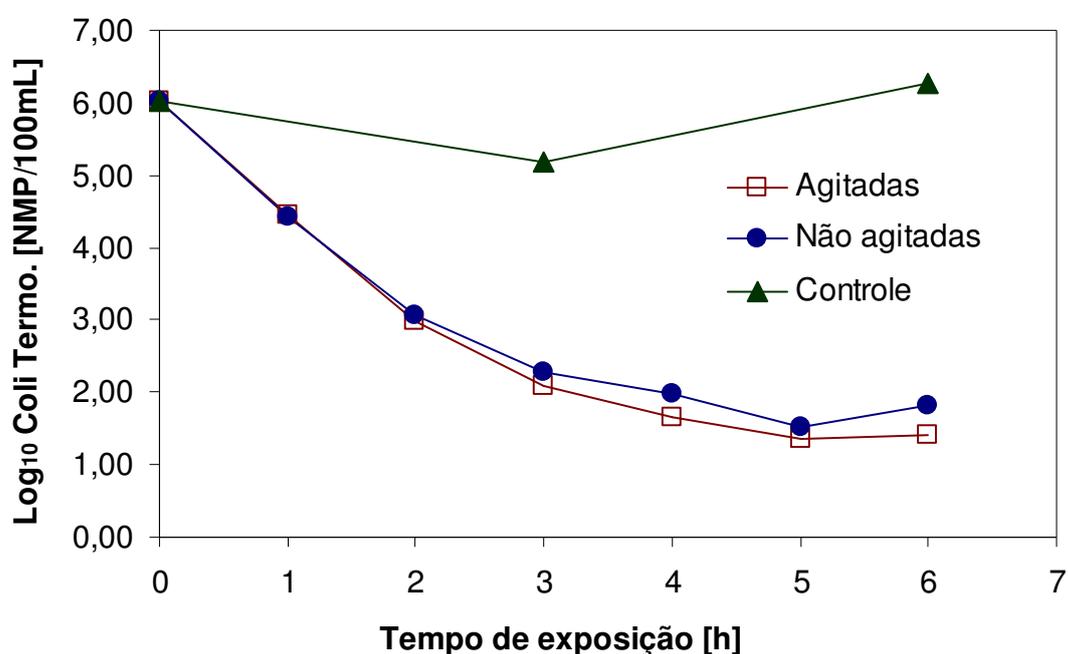
Tempo	Sem agitação		Com agitação	
	Coli. termo. (NMP/100mL)	Eficiência (%)	Coli. termo. (NMP/100mL)	Eficiência (%)
0	1,03E+06	0,000%	1,03E+06	0,000%
1	2,66E+04	97,403%	2,87E+04	97,197%
2	1,15E+03	99,888%	9,79E+02	99,905%
3	1,88E+02	99,982%	1,25E+02	99,988%
4	9,69E+01	99,991%	4,62E+01	99,995%
5	3,27E+01	99,997%	2,29E+01	99,998%
6	6,67E+01	99,993%	2,60E+01	99,997%

Na tabela 16, apresentam-se as concentrações de coliformes termotolerantes das amostras controle, ou seja, não submetidas à radiação solar.

A figura 28 contém o diagrama com os resultados médios de coliformes ao longo de 6 horas de ensaio.

**Tabela 17** - Concentração média de coliformes termotolerantes nas amostras controle – etapa de agitação.

Tempo	Controle
	Coli. termo. (NMP/100mL)
0	1,03E+06
3	1,50E+05
6	1,86E+06



**Figura 28** - Resultados médios de concentração de coliformes termotolerantes ao longo de 6 horas de exposição ao sol (amostras agitadas, não agitadas e controle). Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005.

Apoiando-se nos resultados obtidos, considera-se que a mortalidade bacteriana seja causada pelos fatores climáticos, em especial a luz solar, uma vez que, verificou-se a permanência no número de coliformes termotolerante para as amostras controle ao final de 6 horas (Tabela 16 e Figura 28).

Vale destacar algumas observações importantes em relação aos ensaios realizados:

- A amostra controle do terceiro dia de ensaio e após três horas de exposição ao sol apresentou um caimento de  $10^2 \text{NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$  no número de coliformes

termotolerantes, voltando a subir, após 6 horas, para  $10^5$  NMP.100mL<sup>-1</sup> (Tabelas A2 e A3, Apêndice A). Levando em consideração que a metodologia adotada de determinação de coliformes é probabilística, essa discrepância observada pode ter sido originada por erros analíticos.

- Verificou-se que nos dois primeiros ensaios com concentração inicial de coliformes termotolerantes de  $10^6$  NMP.100mL<sup>-1</sup>, não foi possível reduzir a concentração abaixo de  $10^4$  NMP. 100mL<sup>-1</sup> (Tabela A3, Apêndice A).
- Em alguns casos, tanto as amostras agitadas como as não agitadas apresentaram, na sexta hora de exposição, valores de coliformes termotolerantes acima dos observados na quinta hora, elevando a concentração média final em pouco mais de 30 NMP.100mL<sup>-1</sup> para as amostras não agitadas e de 5 NMP.100mL<sup>-1</sup> para as amostras agitadas, como mostra a Figura 28. Contudo, esses valores são bastante pequenos, originados provavelmente do erro probabilístico do método de fermentação por tubos múltiplos a um nível de confiança de 95%.

É importante salientar que não houve alterações severas nos valores de pH, cor e turbidez das amostras analisadas nas 6 horas de exposição ao sol, nem quando comparadas as amostras agitadas e não agitadas (Tabelas A2 e A3, Apêndice A).

#### *5.2.4. Modelagem matemática da desinfecção.*

Calculando os dados médios de inativação expressos em termos logarítmicos pelo modelo cinético de 1º ordem, as constantes de decaimento médio bacteriano ( $k$ ) foram  $-0,2837\text{h}^{-1}$  para as amostras não agitadas (Tabela 17) e  $-0,3132\text{h}^{-1}$  para as agitadas (Tabela 18). O valor negativo da constante indica que a concentração do indicador está reduzindo ao longo do tempo.

**Tabela 18** - Modelo cinético de 1º ordem e constante de decaimento bacteriano das amostras não agitadas. Pesquisa sobre o SODIS, Fortaleza, Ceará. 2005.

<b>No: 6.011</b>			
<b>Tempo</b>	<b>Log<sub>10</sub> Observado</b>	<b>Modelo Cinético</b>	<b>Erro</b>
0	6.011	6.011	0.000000
1	4.426	4.526	0.010105
2	3.061	3.408	0.120425
3	2.275	2.566	0.084536
4	1.986	1.932	0.002942
5	1.515	1.455	0.003588
6	1.824	1.095	0.531233
$\Sigma$ do erro			0.752830
<b>k (h<sup>-1</sup>)</b>			<b>-0.2837</b>

**Tabela 19** – Modelo cinético de 1º ordem e constante de decaimento bacteriano das amostras agitadas. Pesquisa sobre o SODIS, Fortaleza, Ceará. 2005.

<b>No: 6.011</b>			
<b>Tempo</b>	<b>Log<sub>10</sub> Observado</b>	<b>Modelo Cinético</b>	<b>Erro</b>
0	6.011	6.011	0.000000
1	4.459	4.395	0.004086
2	2.991	3.213	0.049461
3	2.098	2.349	0.062878
4	1.665	1.717	0.002763
5	1.360	1.256	0.010906
6	1.414	0.918	0.246266
$\Sigma$ do erro			0.376360
<b>k (h<sup>-1</sup>)</b>			<b>-0.3132</b>

A constante de decaimento médio bacteriano com agitação ( $k = 0,3132$ ), foi maior do que a constante sem agitação ( $k = 0,2837$ ), indicando maior eficiência na desinfecção quando se agitam as garrafas. Dessa forma, a velocidade de decaimento bacteriano das amostras agitadas foi 1,10 vezes maior do que as das não agitadas.

O ajuste dos dados observados em campo com os dados do modelo cinético de primeira ordem foi verificado tanto para as amostras agitadas quanto para as não agitadas, obtido através do teste t de student, com elevados graus de significância ( $p > 0,05$ ), utilizando-se para isso a ferramenta computacional SPSS. (Apêndice D, Figuras D1 e D2,).

### **5.3. Estudo Estatístico**

#### *5.3.1. Verificação da normalidade*

O estudo estatístico preliminar para a verificação da concentração de OD e de coliformes termotolerantes quanto ao ajuste da normalidade está apresentado na Tabela A13, no Apêndice A.

Como a concentração de coliformes termotolerantes no tempo 0 é a mesma para os dois procedimentos, decidiu-se excluir esses valores dos testes estatísticos.

O teste da normalidade pelo método da curtose resultou em valores aceitáveis, não excedendo os valores críticos de  $\pm 1,96$  baseados no nível de significância de 0,05.

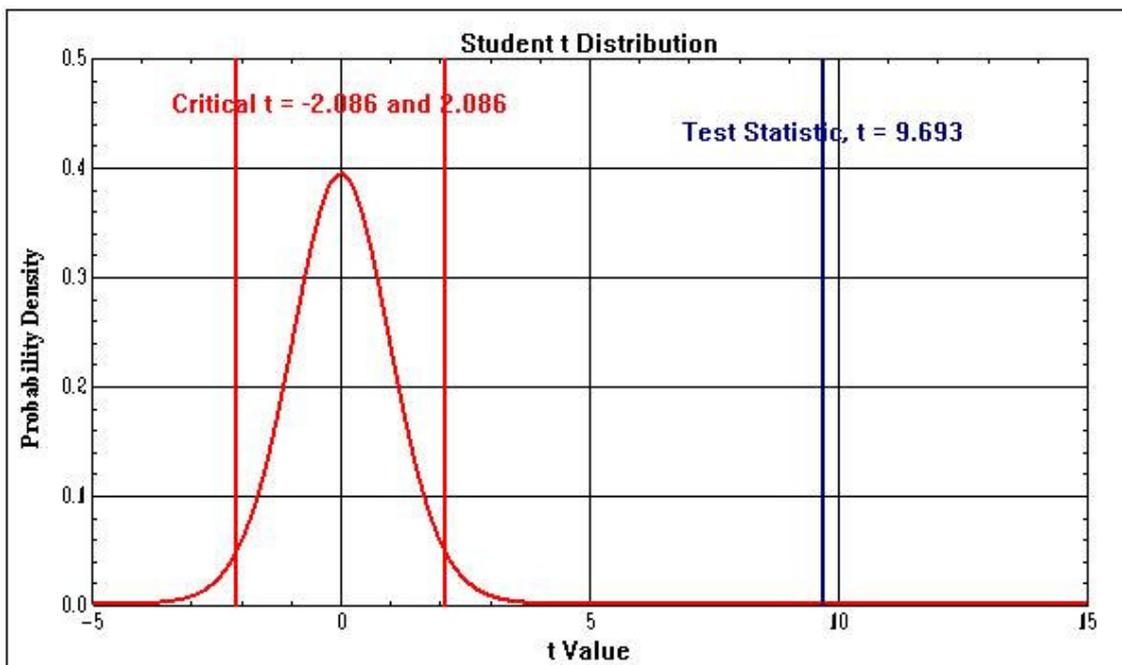
Partindo dos resultados destes testes preliminares, supõe-se ser possível utilizar o teste t de Student, como prova estatística avaliadora dos parâmetros oxigênio dissolvido e coliforme termotolerante.

### 5.3.2. Concentração de oxigênio dissolvido

Comparando as concentrações de OD das amostras agitadas com as não agitadas, consideraram-se as seguintes hipóteses a serem aplicadas no teste de diferença entre as duas médias amostrais:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): A concentração de oxigênio dissolvido na água não difere para o fato de agitar e não agitar as garrafas PET.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): A concentração de oxigênio dissolvido na água difere para o fato de agitar e não agitar as garrafas PET.

A Figura 29 mostra o resultado do teste t de Student ao comparar dados de oxigênio dissolvido (OD) das amostras agitadas e não agitadas



**Figura 29** - Teste estatístico t de student comparando as médias de OD das amostras agitadas e não agitadas com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre o SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005.

Para rejeitar a hipótese nula ao nível de 0,05, o t observado deve estar dentro da zona crítica, ou seja fora do intervalo entre -2.086 e +2.086. No caso em

questão, obteve-se  $t = 9.693 > 2.086$  (Figura 29). Portanto, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa.

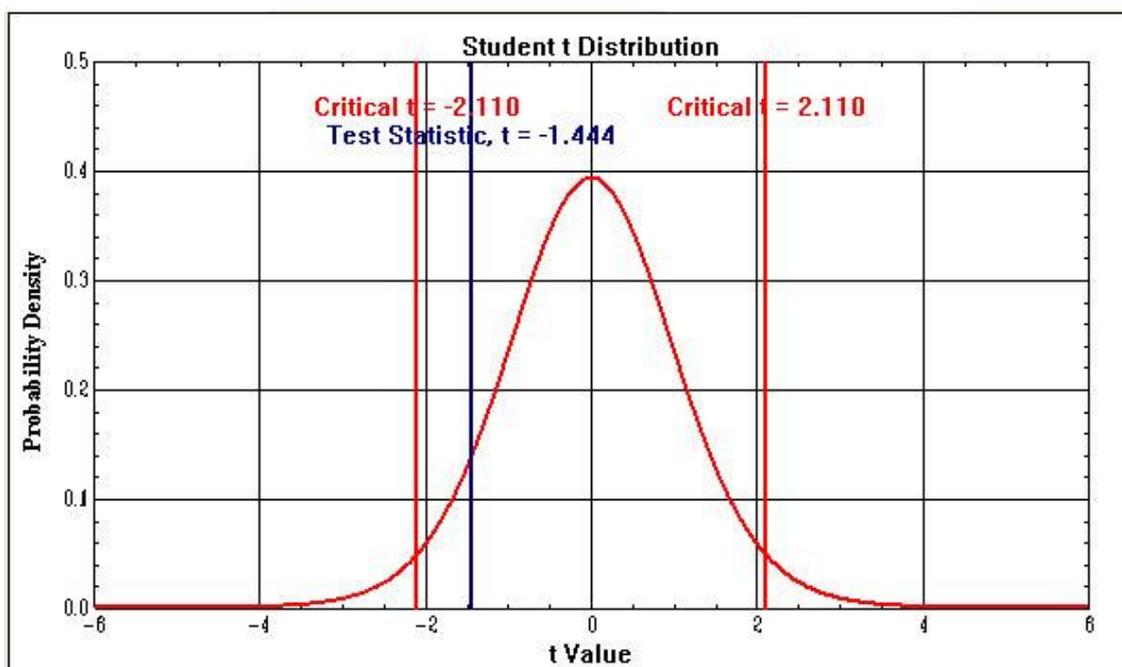
Por conseguinte, tem-se 95% de confiança de que o fato de agitar as garrafas realmente pode conferir à água uma concentração maior de oxigênio caso as mesmas não fossem agitadas.

### 5.3.3. *Influência da agitação na inativação*

Os dados de inativação das garrafas agitadas e não agitadas foram comparados estatisticamente, a partir das seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): Taxa de inativação não varia em função da “agitação” ou “não agitação” das garrafas ao realizar o processo SODIS
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): Taxa de inativação varia conforme o efeito da “agitação” ou “não agitação” das garrafas ao realizar o processo SODIS.

Pela Figura 30, o valor estatístico (t), -1.444, não excedeu o valor crítico de  $\pm 2.110$ , caindo fora da zona crítica. Dessa forma, aceitou-se a hipótese nula de que os valores médios de inativação para agitação e não agitação são iguais, já que não há evidência suficiente para rejeitá-la.



**Figura 30** - Teste estatístico t de student comparando as médias de concentração de coliformes termotolerante das amostras agitadas e não agitadas com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre SODIS, Fortaleza, Ceará. 2005.

Portanto, tem-se 95% de confiança de que o efeito de agitar as garrafas por 1 minuto antes de expô-las à radiação não produz efeito catalisador quanto à eficiência de remoção do indicador fecal pesquisado.

Kehoe *et al.* (2001) chegaram a conclusões estatísticas de que não há diferença a um nível de confiança de 0,05 em agitar as garrafas de hora em hora durante a exposição ao sol. Estes resultados são contrários aos sugeridos por Reed (1997), de que o processo de agitação aumentava a eficiência de desinfecção.

Em uma publicação recente, EAWAG/SANDEC (2005) também confirmam que o ato de agitar as garrafas antes de expô-las não ocasiona um acréscimo considerável na eficiência do SODIS.

## 5.4. Etapa de exposição das garrafas em diferentes superfícies

### 5.4.1. Dados da amostra inoculada com esgoto

As características físicas e microbiológicas da amostra inoculada com esgoto doméstico são apresentadas na Tabela 19.

**Tabela 20** - Parâmetros físicos e microbiológicos da água bruta já diluída com esgoto doméstico para os ensaios da etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

Etapa	Data	Turbidez [uT]	Cor[uH]	pH	Coliforme termotolerante [NMP/100mL]		
					AB1	AB2	média
SODIS em diferentes superfícies	18/1/2006	1,00	1,50	7,68	2,40E+04	2,40E+05	1,32E+05
	31/1/2006	1,00	10,50	7,52	3,00E+05	3,00E+05	3,00E+05
	14/2/2006	1,00	9,50	7,83	8,00E+04	2,30E+05	1,55E+05

AB1 – água Bruta 1 (etapa: diferentes superfícies. Figura 15).

AB2 – água Bruta 2 (etapa: diferentes superfícies. Figura 15).

Os valores de turbidez em todas as amostras afluentes ficaram abaixo do valor 30uT. A contaminação inicial de coliformes termotolerantes foi na ordem de  $10^5 \text{NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ .

### 5.4.2. Monitoramento da temperatura da água dentro das garrafas.

Durante o período de 12 de dezembro de 2005 a 14 de fevereiro de 2006, as temperaturas das amostras foram medidas em intervalos de 30 min, pela estação automática (termopares) do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará.

Os dados de temperatura da água, sistematizados em média das mínimas diárias, média das máximas diárias, média das médias diárias e média das médias durante o pico de insolação, são apresentados na Tabela 20. Os valores de desvios padrão estão indicados na Tabela 21.

**Tabela 21** - Valores médios de temperatura das amostras de água coletados no período de 12 de dezembro a 14 de fevereiro de 2006. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. Dezembro de 2005 a fevereiro de 2006.

Superfície	Temperatura [°C]			
	média das mínimas diárias	média das máximas diárias	média das médias diárias	média das médias durante o pico de insolação
Concreto branco	24.76	42.03	31.28	37.95
Concreto preto	24.92	41.52	31.18	37.27
Telha de barro	24.75	42.57	31.16	37.75
Bacia de alumínio	24.22	43.04	30.56	38.57
Telha de amianto	24.94	41.35	30.94	37.51

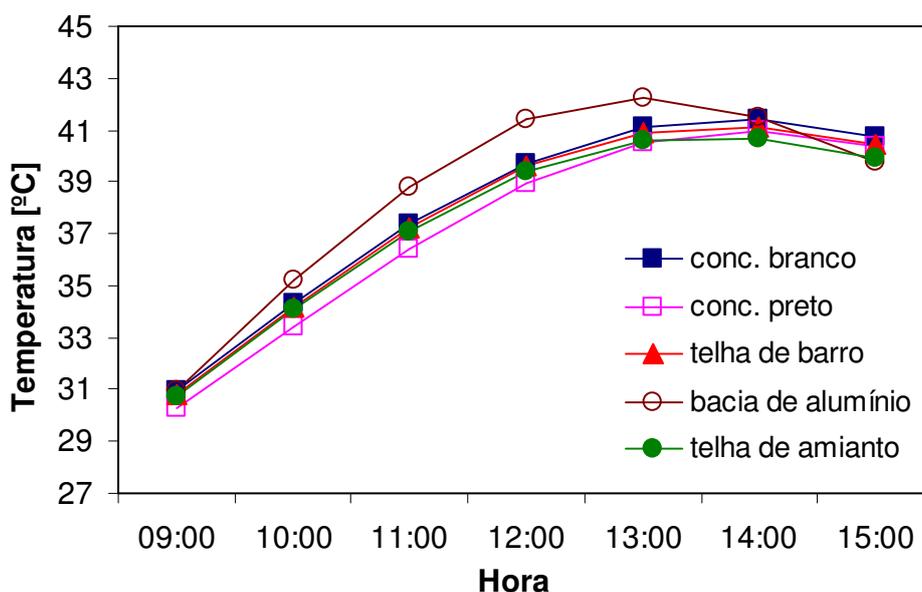
**Tabela 22** - Valores de desvio padrão de temperatura das amostras de água referentes às médias diárias e às médias obtidas durante o horário de pico de radiação (09h00min as 15h00min). Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. Dezembro de 2005 a fevereiro de 2006.

Superfície	Temperatura [°C]	
	Desvio padrão das médias diárias	Desvio padrão das médias durante o pico de insolação
Concreto branco	0,974	4,379
Concreto preto	0,959	4,417
Telha de barro	0,654	4,304
Bacia de alumínio	1,009	4,681
Telha de amianto	0,925	4,169

Dentre as superfícies pesquisadas, as bacias de alumínio concentraram maior quantidade de calor na água das garrafas durante o período de intensa insolação. Contudo, foram também as amostras nas bacias que perderam maior quantidade de calor para o meio, pois as mesmas apresentaram a menor média das mínimas diárias, de 24,22°C, e a maior média das máximas, de 43,04°C. Isto também pode ser observado nos desvios padrão, que apresentaram valores elevados, de 1,009, correspondendo às médias diárias, e 4,681, relativos às médias durante o horário de intensa insolação.

Segundo esses dados, a bacia de alumínio é capaz de fornecer maior quantidade de calor à água em um menor intervalo de tempo, contrariando a expectativa de que o alumínio seria o material com menos facilidade de trocar calor, pois o calor específico desse elemento é o mais elevado dentre os outros (pág. 48). Isto se deve, provavelmente, pelo fato do material da bacia não ser exclusivamente composto de alumínio puro, e sim uma liga de vários outros elementos, bem como também a bacia, em sua forma côncava possui a característica de refletir a radiação e concentrar mais calor para o interior das garrafas. Outro fator que deve ser levado em consideração é de que as paredes da bacia de alumínio protegem as garrafas do vento, capaz de reduzir a temperatura da água, enquanto que as outras superfícies não possuíam tal parede de proteção, ficando mais expostas.

Na Figura 31, é apresentado o comportamento da temperatura ao longo do tempo de exposição das garrafas ao sol.



**Figura 31** - Valores médios de temperatura da água durante ao longo do período de exposição das amostras sobre as diferentes superfícies: concreto pintado de branco (■), concreto pintado de preto (□), bacia de alumínio (○), telha de amianto (●) e telha de barro (▲). Pesquisa sobre o SODIS. Fortaleza, Ceará. 2005/2006.

Observa-se na Figura 31 que a bacia de alumínio proporcionou um aumento na temperatura da água maior que as outras superfícies que obtiveram temperaturas médias bastante próximas. As amostras de água sobre a bacia de alumínio atingiram a

temperatura média de 39°C às 11h00min, enquanto nas demais superfícies essa temperatura só foi alcançada 1 (uma) hora depois (12h00min). A diferença de temperatura das amostras entre a superfície de alumínio e as demais foi de aproximadamente 1°C das 11h00min e 13h00min.

Kehoe *et al.* (2001) também observaram temperaturas mais elevadas nas amostras de água expostas em superfícies aluminizadas, encontrando diferenças médias de 0,9°C comparadas às não aluminizadas. Segundo esses autores, as taxas de inativação de *E.coli* das amostras sobre as superfícies de alumínio também foram significativamente mais elevadas.

#### 5.4.3. Eficiência das superfícies suporte das garrafas

Os resultados médios de concentração de coliformes termotolerantes das amostras expostas nas superfícies e das amostras controle são apresentados nas Tabelas 22 e 24, respectivamente.

**Tabela 23** – Concentração média de coliformes termotolerante em função do tempo de exposição – etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

Tempo	coliformes termotolerantes (NMP/100mL)				
	concreto branco	concreto preto	telha de amianto	telha de barro	bacia de alumínio
0	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05
1	8,96E+04	8,04E+04	6,21E+04	8,62E+04	1,44E+05
2	3,07E+03	1,03E+04	2,43E+03	5,05E+03	6,10E+03
3	2,69E+02	1,02E+03	1,55E+02	1,36E+02	1,68E+02
4	2,10E+01	7,66E+01	1,36E+01	6,03E+01	3,06E+01
5	2,76E+00	1,59E+00	5,43E+00	3,91E+00	2,00E+00
6	0,00E+00	2,00E+00	0,00E+00	5,14E+00	2,00E+00

**Tabela 24** - Eficiência média de inativação de coliformes termotolerantes – etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

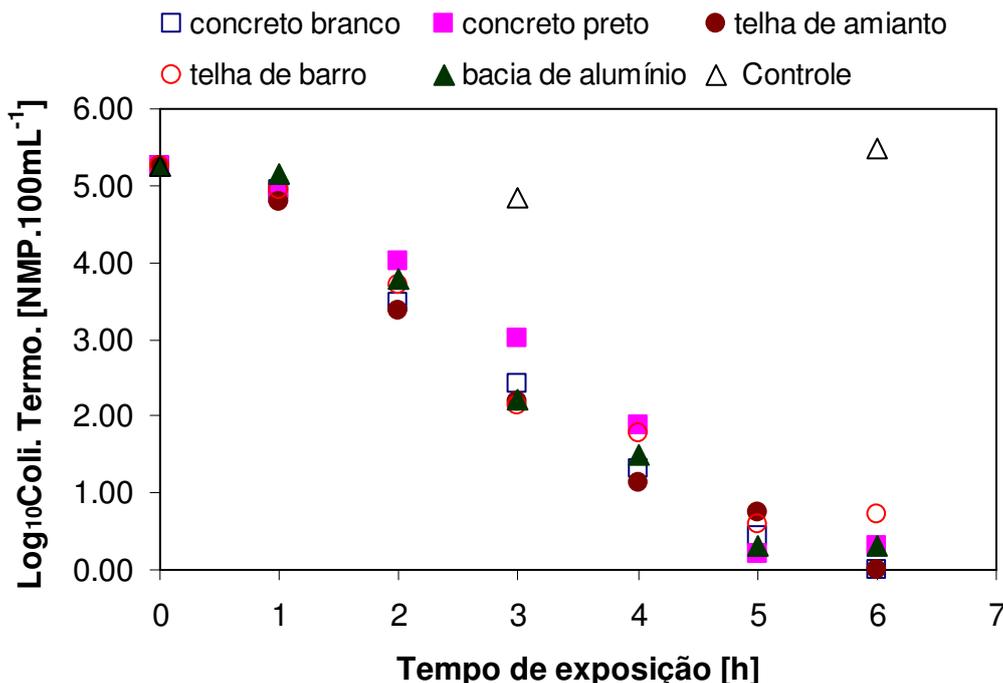
Tempo	eficiência (%)				
	concreto branco	concreto preto	telha de amianto	telha de barro	bacia de alumínio
<b>0</b>	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
<b>1</b>	51,048%	56,081%	66,059%	52,933%	21,231%
<b>2</b>	98,326%	94,396%	98,671%	97,243%	96,669%
<b>3</b>	99,853%	99,443%	99,915%	99,926%	99,908%
<b>4</b>	99,989%	99,958%	99,993%	99,967%	99,983%
<b>5</b>	99,998%	99,999%	99,997%	99,998%	99,999%
<b>6</b>	100,000%	99,999%	100,000%	99,997%	99,999%

**Tabela 25** - Concentração média de coliformes das amostras de controle – etapa de superfície. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

Tempo	Controle
	coli. termo. (NMP/100mL)
<b>0</b>	1.83E+05
<b>3</b>	7.05E+04
<b>6</b>	3.02E+05

Em apenas duas horas de exposição, foi verificado mais de 90% de remoção de coliformes termotolerantes nas amostras. Após 6 horas, todas as superfícies apresentaram elevadas eficiências, 99,999% para o concreto pintado de preto; 99,997% para a telha de barro; 99,999% para a bacia de alumínio e 100% para o concreto pintado de branco e para a telha de amianto (Tabela 23).

Na Figura 32, estão indicadas as curvas de decaimento bacteriano das amostras sobre as cinco superfícies de exposição e da amostra controle ao longo das 6 horas de ensaio.



**Figura 32** – Inativação média de coliformes termotolerantes das amostras sobre as superfícies: concreto pintado de branco (□), concreto pintado de preto (■), telha de amianto (●), telha de barro (○) e bacia de alumínio (▲). Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

Foram observados resultados indicativos de que o processo de desinfecção foi proveniente da ação da radiação solar, pois, a Tabela 24 e Figura 32 mostraram que ocorreu uma permanência na concentração de coliformes termotolerante das amostras controle ao longo das 6 horas.

Os resultados visualizados na Figura 32, de 5log de remoção bacteriana estão condizentes com os resultados da literatura pesquisada, como por exemplo, Brandão *et al.* (2000) em Brasília; Wegelin *et al.* (1994) na Suíça; Encina e Iriarte (2005) na Bolívia, dentre outros.

Com o intuito de aumentar a eficiência de remoção do indicador viral *colifagos* F-RNA, Encina e Iriarte (2005) utilizaram bandejas de alumínio como superfícies refletoras de radiação. Foi registrado um incremento bastante significativo na remoção de *colifagos*, de 10% nos dias ensolarados e de 26% nos dias nublados.

Da Silva (2004) observou uma redução no tempo de inativação total de *E.coli* de 6 para 4 horas, comparando ensaios sem e com concentrador solar respectivamente. O concentrador (caixa de madeira revestida de papel alumínio) utilizado foi baseado no modelo do IMTA, porém com dimensões ajustadas para quatro

garrafas. Com o concentrador foi possível aquecer a água até 70°C em um período de quatro horas, ocorrendo o fenômeno da pasteurização solar (SOPAS), também descrita por Wegelin *et al.* (1994) e Sommer *et al.* (1997).

Não foi verificada tamanha eficiência na inativação de coliformes termotolerantes nas amostras sobre a superfície bacia de alumínio, quando comparada às registradas por Da Silva (2004), Encina e Iriarte (2005) e Kehoe *et al.* (2001) ao utilizarem suportes de alumínio.

#### 5.4.4. Modelagem matemática

Os dados médios de inativação de coliformes termotolerantes expressos em termos logarítmicos, ajustados ao modelo cinético de 1º ordem e os valores da constante de decaimento bacteriano (k), estão apresentados nas Tabelas 25 a 29:

**Tabela 26** - Modelo cinético de 1º ordem das amostras de água colocadas sobre a superfície concreto pintado de branco. Pesquisa SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

<b>No: 5.263</b>			
<b>Tempo</b>	<b>Log<sub>10</sub> Observado</b>	<b>Modelo Cinético</b>	<b>Erro</b>
0	5.263	5.263	0.000000
1	4.952	3.880	1.150567
2	3.486	2.860	0.392080
3	2.430	2.109	0.103243
4	1.321	1.555	0.054443
5	0.441	1.146	0.497520
6	0.000	0.845	0.713909
$\Sigma$ do erro			2.911763
<b>k (h<sup>-1</sup>)</b>			<b>-0.3049</b>

**Tabela 27** - Modelo cinético de 1° ordem das amostras colocadas sobre a superfície concreto pintado de preto Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

<b>No: 5.263</b>			
<b>Tempo</b>	<b>Log<sub>10</sub> Observado</b>	<b>Modelo Cinético</b>	<b>Erro</b>
0	5.263	5.263	0.000000
1	4.905	4.048	0.735103
2	4.011	3.114	0.805563
3	3.009	2.395	0.376523
4	1.884	1.842	0.001787
5	0.201	1.417	1.479261
6	0.301	1.090	0.622285
$\Sigma$ do erro			4.020522
<b>k (h<sup>-1</sup>)</b>			<b>-0.2624</b>

**Tabela 28** - Modelo cinético de 1° ordem das amostras colocadas sobre a superfície telha de amianto. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

<b>No: 5.263</b>			
<b>Tempo</b>	<b>Log<sub>10</sub> Observado</b>	<b>Modelo Cinético</b>	<b>Erro</b>
0	5.263	5.263	0.000000
1	4.793	3.840	0.909568
2	3.386	2.801	0.341818
3	2.192	2.044	0.021798
4	1.133	1.491	0.128631
5	0.735	1.088	0.124861
6	0.000	0.794	0.630213
$\Sigma$ do erro			2.156889
<b>k (h<sup>-1</sup>)</b>			<b>-0.3152</b>

**Tabela 29** - Modelo cinético de 1° ordem das amostras colocadas sobre a superfície telha de barro. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

<b>No:</b>		5.263	
<b>Tempo</b>	<b>Log<sub>10</sub> Observado</b>	<b>Modelo Cinético</b>	<b>Erro</b>
0	5.263	5.263	0.000000
1	4.935	3.999	0.877748
2	3.703	3.038	0.442462
3	2.132	2.308	0.030915
4	1.781	1.754	0.000720
5	0.593	1.332	0.547266
6	0.711	1.012	0.090739
$\Sigma$ do erro			1.989851
<b>k (h<sup>-1</sup>)</b>			<b>-0.2747</b>

**Tabela 30** - Modelo cinético de 1° ordem das amostras colocadas sobre a superfície bacia de alumínio. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

<b>No:</b>		5.263	
<b>Tempo</b>	<b>Log<sub>10</sub> Observado</b>	<b>Modelo Cinético</b>	<b>Erro</b>
0	5.263	5.263	0.000000
1	5.159	3.948	1.466353
2	3.785	2.962	0.677854
3	2.226	2.222	0.000015
4	1.486	1.667	0.032716
5	0.301	1.251	0.901659
6	0.301	0.938	0.405986
$\Sigma$ do erro			3.484584
<b>k (h<sup>-1</sup>)</b>			<b>-0.2874</b>

Os valores médios da constante de decaimento bacteriano das superfícies concreto pintado de branco e telha de amianto foram superiores às demais superfícies, uma vez que as mesmas proporcionaram uma maior eficiência na desinfecção. Os valores das constantes nas diferentes superfícies, em ordem crescente, foram:  $0,26 \text{ h}^{-1}$  para o concreto pintado de preto;  $0,27 \text{ h}^{-1}$  para a telha de barro;  $0,29 \text{ h}^{-1}$  para a bacia de alumínio;  $0,30 \text{ h}^{-1}$  para a superfície branca e  $0,31 \text{ h}^{-1}$  para a telha de amianto. Note-se a forte proximidade dos valores encontrados, sendo a maior diferença de  $0,04 \text{ h}^{-1}$  (telha de amianto e o concreto pintado de preto).

Fuentes e Torrico (2005) estudando modelos cinéticos de inativação no processo SODIS encontraram um valor da constante de decaimento de coliformes termotolerante,  $k = 0,275$  para amostras expostas sobre uma superfície metálica. Segundo os autores, esse valor está de acordo com a bibliografia. Ressalta-se que este valor foi obtido segundo suas condições de ensaio.

Observando a coluna “Erro” das Tabelas 25 a 29, constata-se que nos tempos 5 e 6, a diferença entre os valores observados e os valores calculados pelo modelo são maiores que para os demais tempos (1, 2, 3, e 4). Isto se deve, provavelmente, ao erro probabilístico da própria técnica (NMP), como também, de possíveis recrescimentos bacterianos ocasionados com a redução da quantidade de radiação solar incidente nas duas últimas horas de exposição. Essas discrepâncias (os valores observados e calculados) podem ser visualizadas nos gráficos de validação do modelo no Apêndice D, Figuras D3 a D7. Contudo, apesar desta discrepância, ocorrida em alguns tempos de exposição ao sol, o ajuste dos dados observados com os dados do modelo cinético de primeira ordem foi verificado em todas as superfícies, através dos elevados graus de significância,  $p$  ( $p > 0,05$ , comparação estatística  $t$  de student, / SPSS). (Apêndice D, Figuras D3 a D7). Ou seja, as diferenças entre os valores observados e os calculados pelo modelo não foram significativas.

Ao correlacionar as médias de temperatura das amostras de água e radiação solar global com as médias diárias das constantes de decaimento bacteriano “ $k$ ” (Tabelas 30 e 31), identificou-se (Figuras 34 e 35) uma forte correlação linear entre as variáveis agrupadas,  $R^2 = 0,9909$  (constante  $k$  x temperatura da água) e  $R^2 = 1$ , (correlação perfeita - constante “ $k$ ” x radiação solar). Os valores correlacionados mostraram-se diretamente proporcionais. Na Tabela 31, observa-se que, no dia 31 de janeiro, registrou-se o maior valor médio de radiação solar global ( $751,32 \text{ W/m}^2$ ),

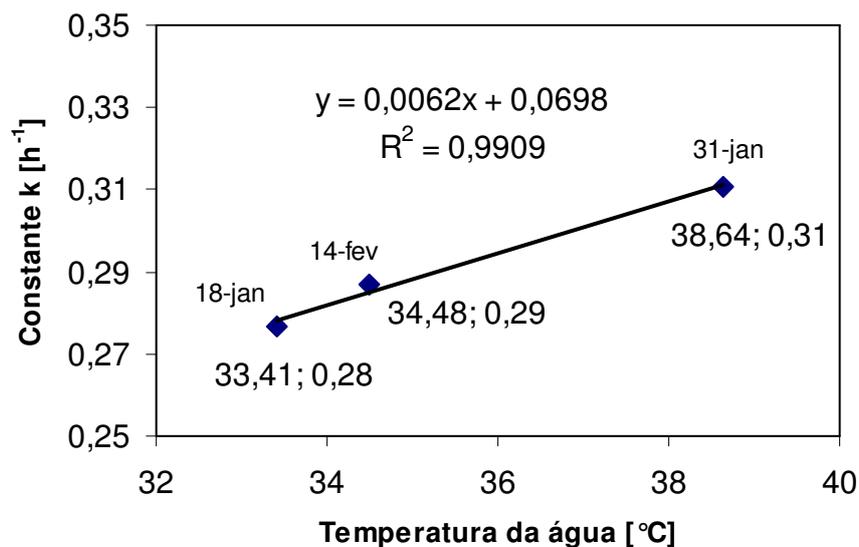
comparado aos outros dias de ensaio, 18 de jan. (573,59 W/m<sup>2</sup>) e 14 de fev. (627,02 W/m<sup>2</sup>), acarretando assim um valor médio de temperatura da água de 38,64°C, (Tabela 30) e conseqüentemente, maior taxa de inativação, indicada pela constante “k” de 0,31h<sup>-1</sup> em valor absoluto. Portanto, pode-se concluir que o aumento da radiação solar global e da temperatura da água tem influência direta na taxa de inativação bacteriana.

**Tabela 31** – Constantes de decaimento bacteriano e temperaturas médias diárias das amostras de água sobre as cinco superfícies. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

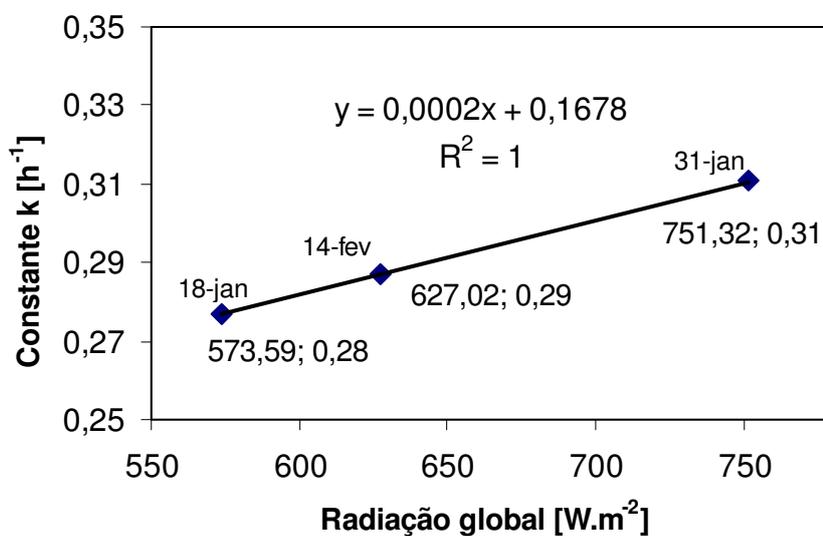
data	Superfícies de exposição											
	conc. branco		conc. preto		telha de barro		bacia de alumínio		telha de amianto		Média	
	k (h <sup>-1</sup> )	temp. média (°C)	k (h <sup>-1</sup> )	temp. média (°C)	k (h <sup>-1</sup> )	temp. média (°C)	k (h <sup>-1</sup> )	temp. média (°C)	k (h <sup>-1</sup> )	temp. média (°C)	k (h <sup>-1</sup> )	temp. (°C)
<b>18/1/2006</b>	-0,27	33,57	-0,25	32,76	-0,27	33,57	-0,30	33,80	-0,29	33,33	<b>-0,28</b>	<b>33,41</b>
<b>31/1/2006</b>	-0,33	39,05	-0,27	38,30	-0,35	38,50	-0,28	38,87	-0,31	38,49	<b>-0,31</b>	<b>38,64</b>
<b>14/2/2006</b>	-0,31	34,09	-0,26	33,84	-0,22	34,60	-0,31	35,47	-0,34	34,42	<b>-0,29</b>	<b>34,48</b>

**Tabela 32** - Constantes de decaimento bacteriano e valores médios diários de radiação solar global. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

data	k (h <sup>-1</sup> )	Médias de radiação solar global (W/m <sup>2</sup> )
<b>18/1/2006</b>	-0,28	573,59
<b>31/1/2006</b>	-0,31	751,32
<b>14/2/2006</b>	-0,29	627,02



**Figura 34** - Diagrama de dispersão correlacionando as temperaturas médias da água (°C) durante o horário de exposição ao sol e as constantes médias de inativação de todas as superfícies (h<sup>-1</sup>) para os três dias de ensaio. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.



**Figura 35** - Diagrama de dispersão correlacionando as radiações médias globais (W/m<sup>2</sup>) durante o horário de exposição ao sol e as constantes médias de inativação de todas as superfícies (h<sup>-1</sup>) para os três dias de ensaio. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

É pertinente mencionar que em cada etapa (agitação e superfície) os valores de “k” determinados condizem com a realidade do experimento, ou seja, microrganismo utilizado: coliforme termotolerante, recipiente: garrafas PET transparentes de uma única marca (refrigerante de ampla penetração no mercado) e profundidade da lâmina d’água: 12cm (altura das garrafas de 2 L na posição horizontal).

Solsona e Mendéz (2002) afirmam que a desinfecção solar é alcançada somente com o processo de pasteurização, ou seja, apenas pelo aumento da temperatura da água. Essa pasteurização consiste na exposição da água durante um certo intervalo de tempo à temperatura elevada ( $\cong 70^{\circ}\text{C}$ ) a fim de destruir os microrganismos. Ainda segundo, Solsona e Méndez (2002), as bactérias, em geral, podem suportar temperaturas até  $40^{\circ}\text{C}$ .

Segundo Feachem *et al.* (1983) cada microrganismo resiste a uma determinada temperatura por um período de tempo, como mostra a Tabela 32.

**Tabela 33** - Termotolerancia de microrganismos.

<b>Microrganismo</b>	<b>Tempo e temperatura para 100% de destruição</b>		
	1 min	6 min	60 min
Enterovirus			62°C
Rotavirus	63°C para 30 minutos		
Coliformes termotolerantes	em 80°C, destruição completa		
<i>Salmonella</i>		62°C	58°C
<i>Shigella</i>		61°C	54°C
<i>Vibrio Cholerae</i>			45°C
<i>Entamoeba Histolytica</i> (cistos)	57°C	54°C	50°C
Giardia (cistos)	57°C	54°C	50°C
larva		62°C	51°C
<i>Ascaris</i> (ovos)	68°C	62°C	57°C
<i>Schistosomas</i> (ovos)	60°C	55°C	50°C
<i>Taenia</i> (ovos)	65°C	57°C	51°C

Fonte: Feachem *et al.* (1983)

Os dados da Tabela 32 e os resultados gerais mostram que a temperatura não pode ser considerada como o principal fator responsável pela destruição dos microrganismos, visto que em nenhum momento a temperatura da água alcançou valores superiores aos apresentados na Tabela 32 para eliminação de coliformes termotolerantes pela ação do calor. Observa-se que sua termotolerância permite sua sobrevivência até 44,5 a 45°C. Na etapa de agitação, a temperatura máxima nunca ultrapassou o valor de 40,5°C e mesmo assim conseguiu-se a completa inativação em um ensaio e taxas de remoção acima de 99,99% nos demais. Durante a etapa do estudo comparativo das superfícies, a completa inativação do indicador bacteriano de contaminação fecal foi alcançada em 67% dos ensaios realizados, sempre com temperaturas abaixo de 44°C (Tabelas E2 e E3, Apêndice E). Desses 67%, 50% ocorreram em 5 horas de exposição, 40% em 6 horas e 10% em três horas de exposição. Com base nesses resultados, seria mais apropriado considerar a radiação como o agente desinfetante, associada à temperatura. Isto também é confirmado por Wegelin *et al.* (1994) e Sommer *et al.* (1997).

## **5.5. Estudo Estatístico**

### *5.5.1. Verificação da normalidade*

O estudo estatístico preliminar para a verificação da temperatura da água e da inativação de coliformes termotolerantes quanto ao ajuste da normalidade é apresentado no Apêndice E, Tabelas E2 e E3, respectivamente.

Pelo teste da curtose, os dados de temperatura e inativação se ajustaram a uma distribuição normal, visto que os valores calculados para cada superfície suporte das garrafas caíram dentro da zona de aceitação (entre  $\pm 1,96$ ).

### *5.5.2. Efeito da temperatura*

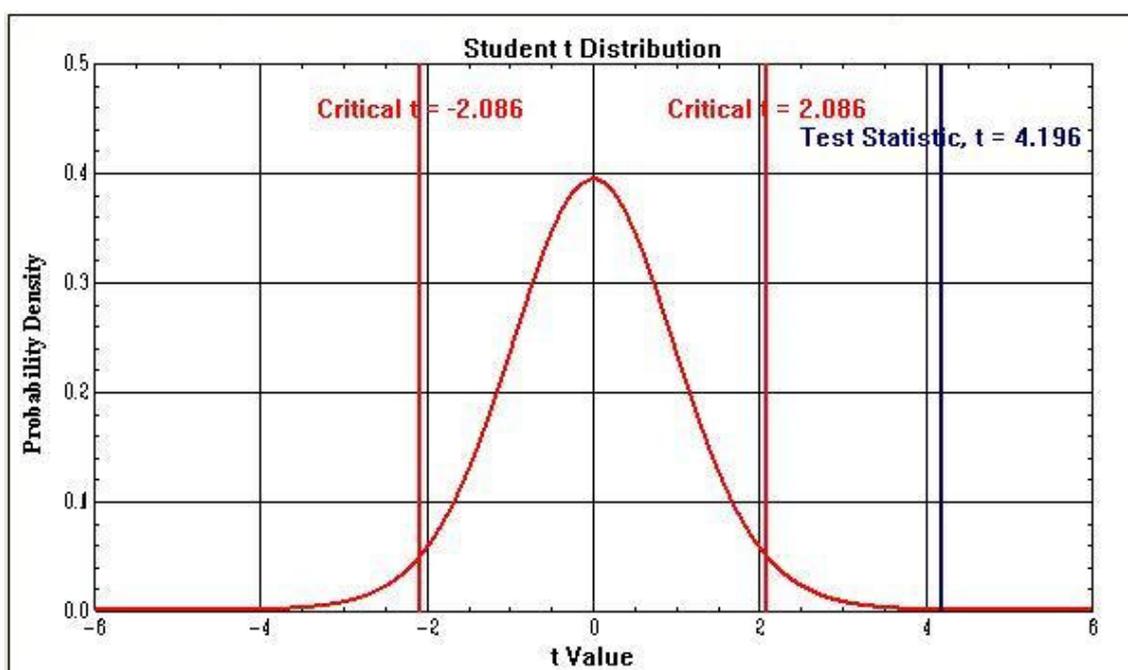
Decidiu-se realizar duas comparações estatísticas do parâmetro temperatura. A primeira referente, às superfícies que obtiveram a maior diferença de temperatura nas

horas de pico, ou seja, a bacia de alumínio e o concreto preto, e a segunda, referente às que obtiveram a maior diferença quanto à eficiência de remoção, ou seja, a telha de amianto e o concreto preto.

As hipóteses formuladas para a primeira comparação são:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): As temperaturas da água não diferem para o fato de expor as garrafas em uma bacia de alumínio ou sobre um concreto pintado de preto.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): As temperaturas da água diferem para o fato de expor as garrafas em uma bacia de alumínio ou sobre um concreto pintado de preto.

A Figura 36 apresenta o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



**Figura 36** - Teste estatístico t de student comparando as médias de temperatura das amostras sobre a superfície concreto pintado de preto e bacia de alumínio com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

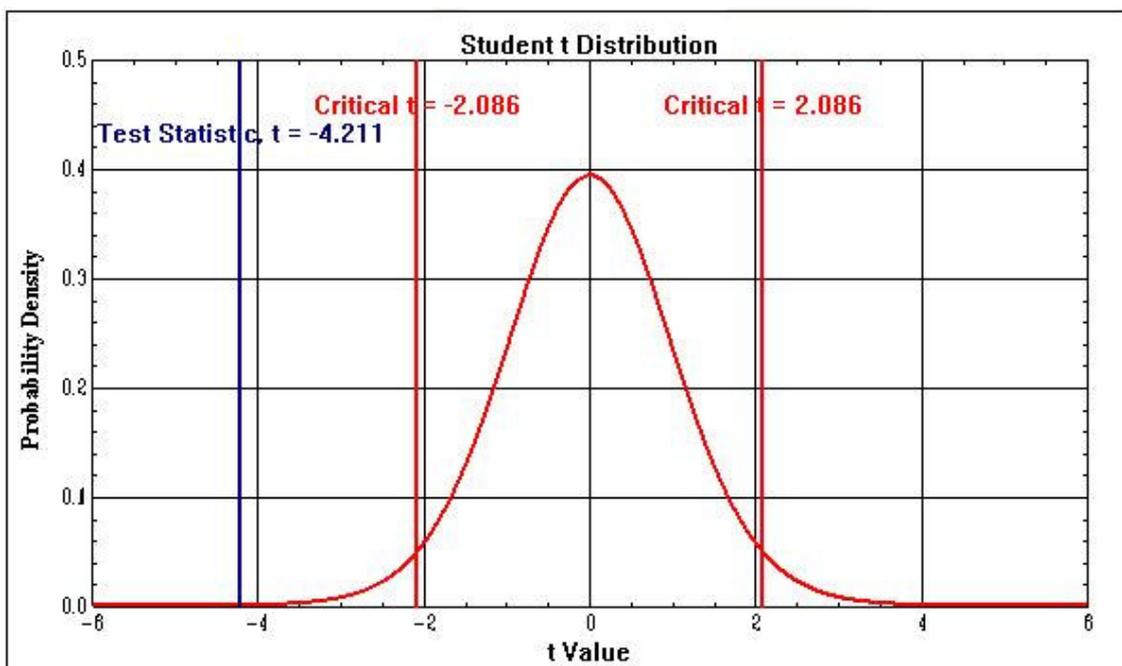
Como a estatística de teste caiu dentro da região crítica ( $t = 4.196$ ), excedendo o valor crítico  $\pm 2.086$ , rejeita-se a hipótese nula. Portanto, há suficiente

evidência para apoiar a afirmativa de que existe diferença significativa nas temperaturas da água quando expostas sobre uma superfície de alumínio e uma de concreto pintado de preto.

As hipóteses formuladas para a segunda comparação são:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): As temperaturas da água não diferem para o fato de expor as garrafas em uma telha de amianto ou em uma superfície de concreto pintado de preto.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): As temperaturas da água diferem para o fato de expor as garrafas em uma telha de amianto ou em uma superfície de concreto pintado de preto.

A Figura 37 mostra o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



**Figura 37** - Teste estatístico t de student comparando as médias de temperatura das amostras sobre a superfície concreto pintado de preto e telha de amianto com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

A estatística de teste  $t$  (-4.211) excedeu os valores críticos  $\pm 2.086$ , localizando-se na região crítica (Figura 37). Por conseguinte, deve-se rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa. Esses resultados sustentam a opinião de que as temperaturas da água, quando expostas sobre o concreto preto e telha de amianto diferem significativamente a um nível de significância de 0,05.

Em resumo, os resultados estatísticos apontam para um aumento significativo da temperatura da água das amostras, quando expostas sobre a superfície metálica (bacia de alumínio).

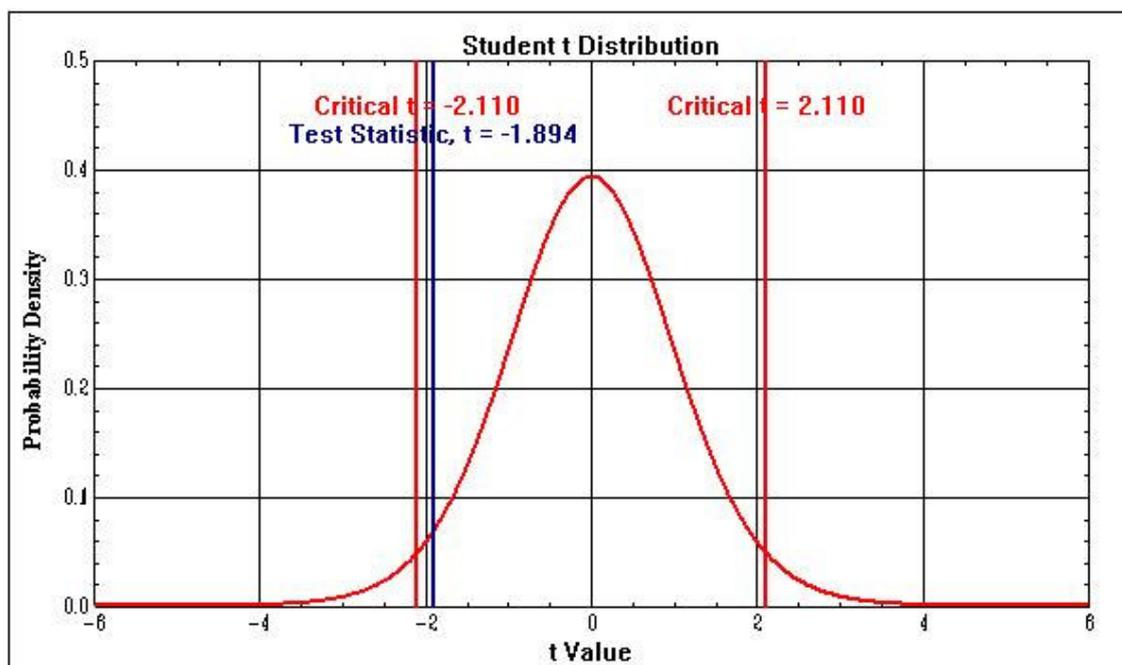
### *5.5.3. Influência da superfície de exposição na inativação*

Considerou-se primeiramente comparar as amostras das superfícies que obtiveram a maior diferença quanto à eficiência de remoção do indicador fecal. Caso a hipótese de que não há diferença entre essas duas superfícies fosse verdadeira, poder-se-ia inferir que a eficiência de remoção do indicador não diferenciaria ao se utilizar qualquer uma das superfícies pesquisadas; caso contrário, dever-se-ia realizar novos testes estatísticos entre as demais superfícies.

As hipóteses formuladas para a comparação da eficiência de inativação são:

- Hipótese nula ( $H_0 = H_a$ ): Taxa de inativação varia quanto à exposição das garrafas sobre uma superfície de concreto pintada de preto e uma de telha de amianto.
- Hipótese alternativa ( $H_0 \neq H_a$ ): Taxa de inativação não varia quanto à exposição das garrafas sobre uma superfície de concreto pintada de preto e uma de telha de amianto.

Na Figura 38, pode-se observar o resultado gráfico do teste de hipótese utilizando um intervalo de confiança de 95%.



**Figura 38** - Teste estatístico t de student comparando as médias de temperatura das amostras sobre a superfície concreto pintado de preto e telha de amianto com um intervalo de confiança de 95%. Pesquisa sobre SODIS. Fortaleza, Ceará. 2006.

Como evidenciado, aceita-se a hipótese nula com nível de confiança de 0,05, uma vez que o valor t observado ( $t = -1.894$ ) não se encontra dentro da região crítica e sim dentro do intervalo de  $\pm 2.110$  (Figura 38).

A partir desse resultado, sugere-se a possibilidade de que não há diferença significativa quanto à eficiência de remoção de coliforme termotolerante para aplicar SODIS, utilizando qualquer uma das superfícies estudadas como meio suporte, mesmo quando foram verificadas diferenças significativas nas temperaturas da água.

## 5.6. Aplicação do SODIS em campo

A tecnologia SODIS foi proposta em quatro comunidades situadas em cenários distintos (urbano, rural e litorâneo), possibilitando, dessa forma, uma avaliação da aceitação e sustentabilidade da tecnologia relacionada às questões sócio-culturais peculiares a cada cenário pesquisado.

O SODIS, em nenhum momento, foi imposto aos moradores como o método mais adequado e eficaz de desinfecção, dentre os existentes. Todas as técnicas de desinfecção caseira foram apresentadas e discutidas de forma participativa e democrática junto à população, e coube a cada morador escolher aquela de seu interesse, continuar a fazer uso do método que já realizava ou ainda permanecer sem tratar sua água.

### *5.6.1. Pré-diagnóstico*

Em síntese, os resultados obtidos a partir do pré-diagnóstico aplicado nos meses de abril a junho de 2004 foram os seguintes:

- Em Camurim, Nova Esperança e Prainha do Canto Verde, áreas interioranas, em média, 35% dos chefes de família são analfabetos e na comunidade, Cidade de Deus, área urbana, 26%.
- 40% das famílias em Camurim possuem renda inferior a um salário mínimo; na Prainha do Canto Verde, 80%; em Nova Esperança, 50%; e na comunidade Cidade de Deus, 78%.
- Nas comunidades interioranas (Nova Esperança, Camurim e Prainha do Canto Verde), mais de 20% das famílias não realizavam algum método de tratamento de água, enquanto que na comunidade urbana, esse número era de mais de 50%.
- Quanto ao esgotamento e despejo dos resíduos fecais, em Camurim, 80% possuem fossa rudimentar e 20% lançam seus dejetos no terreno. Em Nova Esperança, 20% das famílias possuem fossa séptica, 40% fossa rudimentar e 40% lançam seus dejetos no terreno. Na Prainha do Canto Verde, 10% possuem fossa séptica, 60% fossa rudimentar e 30% lançam diretamente no terreno. Na comunidade Cidade de Deus, 30% possuem fossa rudimentar e o restante lança seus dejetos a céu aberto ou no Rio Cocó.
- Em Camurim, comunidade beneficiada pelo programa 1 milhão de cisternas de placa, 20% das famílias responderam que não limpavam

as calhas do sistema de captação da água de chuva e apenas 80% descartavam a primeira água de chuva. 80% dos beneficiados com a cisterna utilizam de baldes e cordas para a coleta da água das cisternas e os restantes 20% bombas manuais e elétricas.

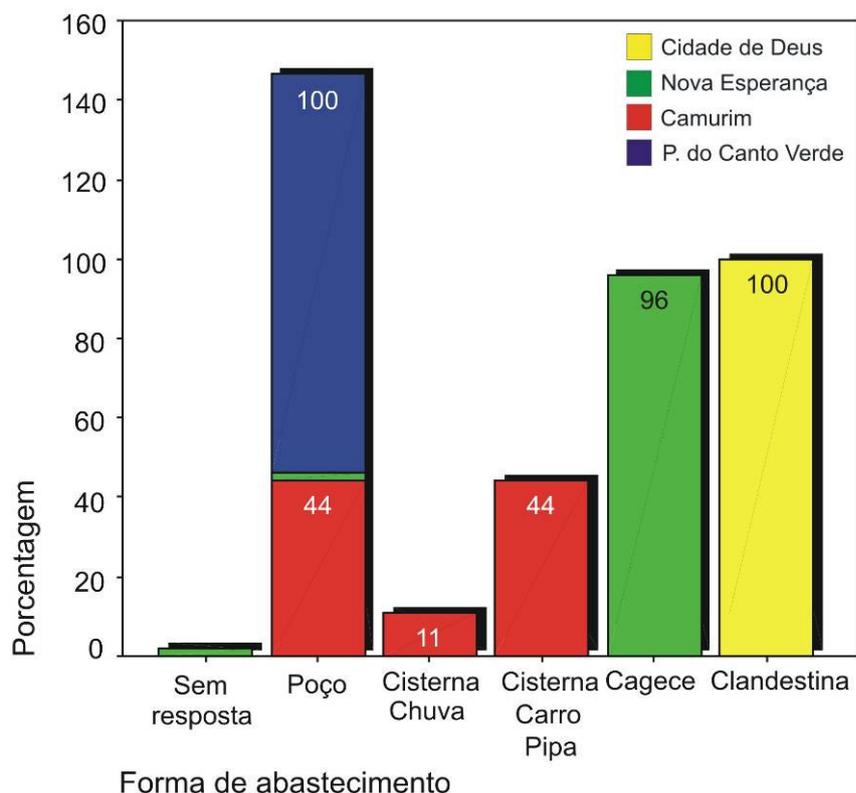
Apesar do método de amostragem utilizado na aplicação da pesquisa social ter sido aleatório, é importante destacar novamente que esses dados levantados foram coletados com o intuito de orientar quanto à melhor metodologia a ser aplicada nas capacitações, e não de representar estatisticamente o universo amostral, uma vez que 30% não representam as populações das comunidades Cidade de Deus e Prainha do Canto Verde a um nível de significância de 95%.

### *5.6.2. Pesquisa SODIS*

Um total de 434 famílias foi entrevistado após um ano de projeto, durante os meses de março a junho de 2005. Todos os questionários foram aplicados por moradores locais previamente capacitados.

#### *5.6.2.1. Abastecimento de água*

Devido às condições econômicas, climáticas, geológicas e culturais, cada comunidade utiliza a técnica de abastecimento que melhor se adequa às suas características. Na Figura 39, visualizam-se as formas de abastecimento de água em cada localidade.



**Figura 39** - Forma de abastecimento de água das comunidades: Cidade de Deus, Nova Esperança, Camurim e Prainha do Canto Verde. Estado do Ceará. 2005.

As famílias de Camurim são abastecidas por poços artesianos (44%) e água armazenada nas cisternas de placas. Algumas famílias utilizam a água de chuva das cisternas para diversos fins, reduzindo rapidamente seu volume armazenado, enquanto outras, que consomem apenas para beber, conseguem usufruir dessa água por um período mais prolongado. Para sanar o problema de gestão, em períodos fortes de estiagem, o órgão público local fornece água de um açude próximo através de carros-pipa e distribui a água nas cisternas de placa das famílias. Durante o período de aplicação do questionário, 44% das famílias estavam sendo abastecidas pela água dos carros-pipa e 11% ainda dispunham de água de chuva, porém com um nível abaixo de 25% de sua capacidade. A comunidade de Nova Esperança possui abastecimento por rede pública de água em um ponto na propriedade, contudo, 2% das famílias ainda utilizam água de chafariz e 2% não responderam a essa pergunta. Na Prainha do Canto Verde, todos os moradores captam água subterrânea a partir de poços artesianos. A comunidade Cidade de Deus, ocupação recente em Fortaleza, conectou ramais clandestinos à rede pública de água. A clandestinidade do abastecimento de água deve-se provavelmente à indisponibilidade deste recurso de boa qualidade nas proximidades e

à questão da irregularidade da terra, inviabilizando a execução da ligação de forma legal pela companhia de água.

### 5.6.2.2. Tratamento de água

Durante os meses de aplicação dos questionários, verificou-se um aumento no número de pessoas que tratam a água para consumo. Em março de 2005, logo depois das oficinas promovidas na comunidade, 69,5% das famílias faziam uso de métodos de desinfecção e após a ação dos multiplicadores, em maio, 88,9% já tratavam sua água. Destaque para a comunidade Camurim, com 100% das famílias tratando a água após a ação dos multiplicadores (Tabela 33).

**Tabela 34** – Aplicação de algum método de tratamento de água caseiro antes (março de 2005) e depois (maio 2005) da ação dos multiplicadores nas quatro comunidades pesquisadas. Estado do Ceará. 2005.

Tratamento de água	Camurim		Nova Esperança		P. do Canto Verde		Cidade de Deus		Total	
	março	maio	março	maio	março	maio	março	maio	março	maio
<b>Sim</b>	85,1%	100,0%	60,0%	84,1%	81,2%	92,9%	51,7%	78,6%	69,5%	88,9%
<b>Não</b>	14,9%		38,0%	15,9%	18,8%	7,1%	48,3%	21,4%	30,0%	14,8%
<b>Sem resposta</b>			2,0%						2,0%	

As Tabelas 34 e 35 apresentam, respectivamente, os métodos utilizados pelas famílias que tratavam a água em março, e depois, em maio.

**Tabela 35** – Método de tratamento de água caseiro utilizado pelas famílias antes da ação dos multiplicadores, em março de 2005. Estado do Ceará.

<b>MARÇO</b>				
<b>Método de tratamento de água</b>	<b>Comunidades</b>			
	<b>Camurim</b>	<b>Nova Esperança</b>	<b>Prainha do Canto Verde</b>	<b>Cidade de Deus</b>
<b>Sem resposta</b>	-	3%	-	-
<b>SODIS</b>	12%	26%	27%	3%
<b>Cloração</b>	10%	13%	35%	2%
<b>Fervura</b>	-	3%	2%	-
<b>Filtro doméstico</b>	34%	48%	7%	82%
<b>SODIS + Cloro</b>	-	3%	11%	-
<b>SODIS + Filtro doméstico</b>	27%	3%	5%	2%
<b>SODIS + Cloração + Filtro</b>	2%	-	3%	-
<b>Água mineral</b>	2%	-	2%	12%
<b>Cloro + Filtro Doméstico</b>	10%	-	5%	-
<b>Fervura + Filtro doméstico</b>	2%	-	-	-
<b>Cloro + Fervura</b>	-	-	1%	-

**Tabela 36** – Método de tratamento de água caseiro utilizado pelas famílias depois da ação dos multiplicadores, em maio de 2005. Estado do Ceará.

<b>MAIO</b>				
<b>Método de tratamento de água</b>	<b>Comunidades</b>			
	<b>Camurim</b>	<b>Nova Esperança</b>	<b>Prainha do Canto Verde</b>	<b>Cidade de Deus</b>
<b>SODIS</b>	-	49%	58%	5%
<b>Cloração</b>	26%	22%	16%	32%
<b>Fervura</b>	-	-	2%	-
<b>Filtro doméstico</b>	2%	24%	3%	55%
<b>SODIS + Cloro</b>	9%	-	13%	5%
<b>SODIS + Filtro doméstico</b>	4%	5%	3%	-
<b>SODIS + Cloro + Filtro</b>	13%	-	3%	-
<b>Água mineral</b>	2%	-	1%	5%
<b>Cloro + Filtro doméstico</b>	43%	-	1%	-

Note-se, pela Tabela 34, que a etapa de sensibilização das oficinas foi fundamental para a mudança de hábito das comunidades. O despertar para o problema foi tão proeminente, que alguns moradores começaram a combinar métodos de desinfecção. Famílias que utilizavam apenas o filtro doméstico, artifício que atua como uma barreira seletiva de contaminantes, obstruindo a passagem daqueles com diâmetro maior que o poro do meio filtrante, começaram a fazer uso do SODIS.

Somando as porcentagens dos usos do SODIS em março, observa-se a aceitação desse método em mais de 40% das famílias nas comunidades rurais e litorâneas, enquanto que na comunidade urbana apenas 3% faziam uso. O filtro doméstico, ou filtro de vela, é muito utilizado, principalmente no meio urbano, com aceitação em mais de 80% das famílias.

A companhia de saneamento já distribui água clorada para Nova Esperança. Mesmo assim, algumas famílias que por hábito utilizavam o hipoclorito de sódio antes da implantação da rede, ainda fazem uso deste método (13%).

Constata-se, pela Tabela 35, uma nova configuração dos métodos após dois meses decorrentes à primeira pesquisa. Ao comparar as duas tabelas supracitadas, a porcentagem de usuários de SODIS no mês de maio cresceu acentuadamente nas comunidades Prainha do Canto Verde e Nova Esperança, ocorrendo o inverso em Camurim. Verifica-se também um aumento de 6% no número de novos usuários de SODIS na Cidade de Deus, totalizando, assim 9%.

Estes resultados de conscientização quanto à necessidade de tratar a água são decorrentes de um trabalho realizado por pessoas capacitadas da própria comunidade.

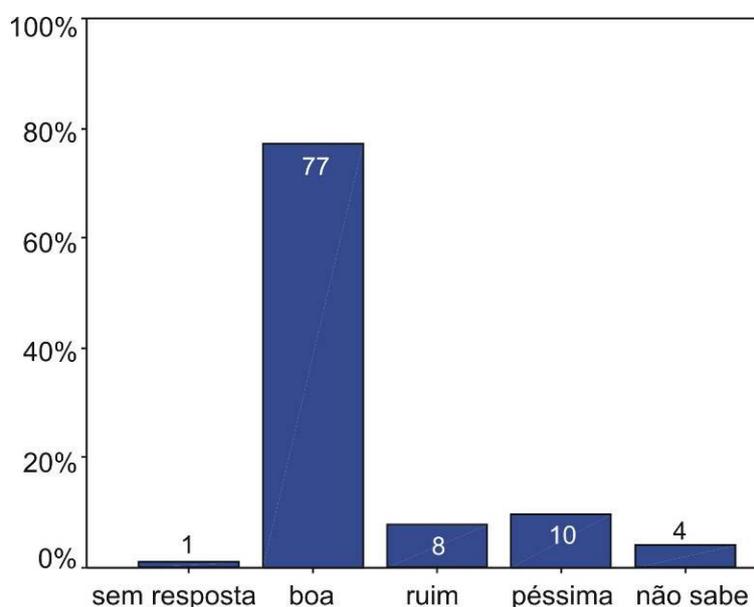
Cada comunidade correspondeu de forma ímpar quanto à aceitação da tecnologia e das informações de educação sanitária. Nas comunidades localizadas no interior do Estado, apesar da menor acessibilidade às informações, a tecnologia SODIS e a conscientização quanto à importância de se tratar a água foram facilmente aceitas e bem aplicadas, enquanto na comunidade urbana, o SODIS não recebeu tamanha adesão. Isto se deve ao fato de que, nessa comunidade, os moradores encontravam-se mais preocupados com outras questões, como a posse da terra e a construção de suas casas. A questão fundiária é um problema comum em todos os grandes centros urbanos.

O resultado final da pesquisa de aceitabilidade da tecnologia foi: 75% das famílias da Prainha do Canto Verde fazendo o SODIS isoladamente ou combinado a outro método; 26%, em Camurim; 54%, em Nova Esperança; e 9%, na Cidade de Deus.

Moser; Henri e Mosler; (2005) realizaram uma pesquisa social do SODIS em oito comunidades na Bolívia e também verificaram aceitações distintas em cada comunidade. Concluíram que essa disparidade de aceitação devia-se às diferentes metodologias de difusão da tecnologia promovida por ONGs nessas comunidades. Essa conclusão não se aplica ao presente estudo, pois a metodologia de difusão do SODIS foi padronizada nas quatro comunidades, devendo-se a diferença ser exclusivamente aos aspectos sócio-econômicos e culturais peculiares a cada comunidade.

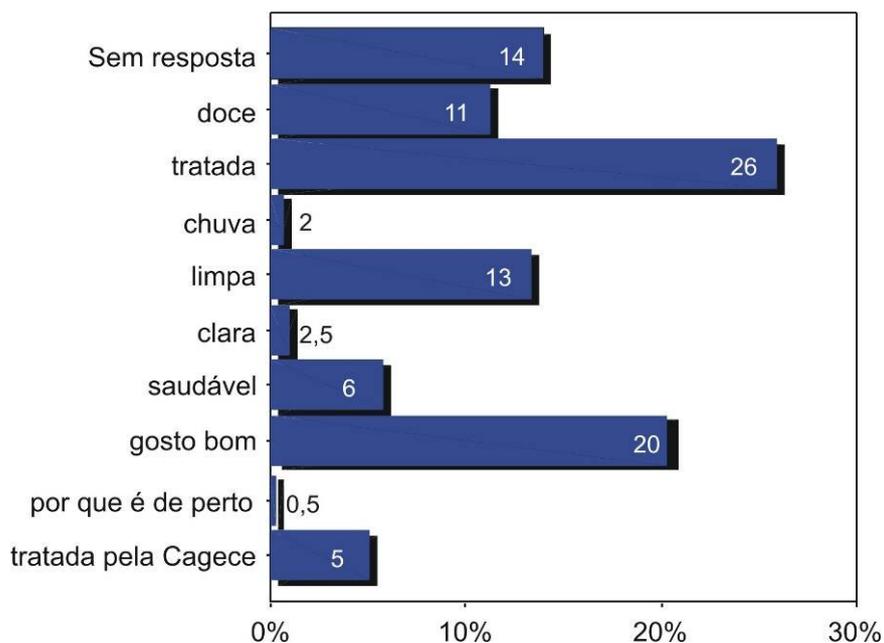
### 5.6.2.3. Percepção da qualidade de água

Quando questionados sobre a qualidade da água consumida, 77% dos entrevistados responderam que consomem água de boa qualidade, 8% que a água é ruim, 10% que é de péssima qualidade e 4% não souberam responder (Figura 40).

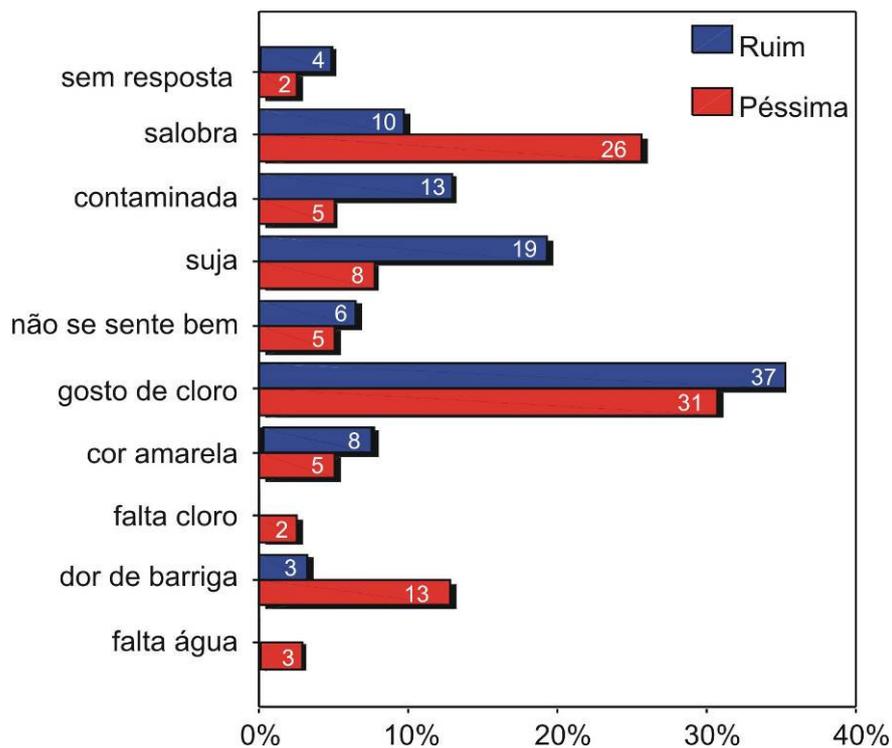


**Figura 40** - Classificação do usuário da qualidade de água consumida. Comunidades do Ceará. 2005.

As Figuras 41 e 42 apresentam as justificativas dos moradores em relação à classificação da qualidade da água.



**Figura 41** - Percepção quanto à água de boa qualidade. (razão pela qual considera a água de boa qualidade). Comunidades do Ceará. 2005.



**Figura 42** - Percepção quanto à água de má ou de péssima qualidade. (razão pela qual considera a água de má ou péssima qualidade). Comunidades do Ceará. 2005.

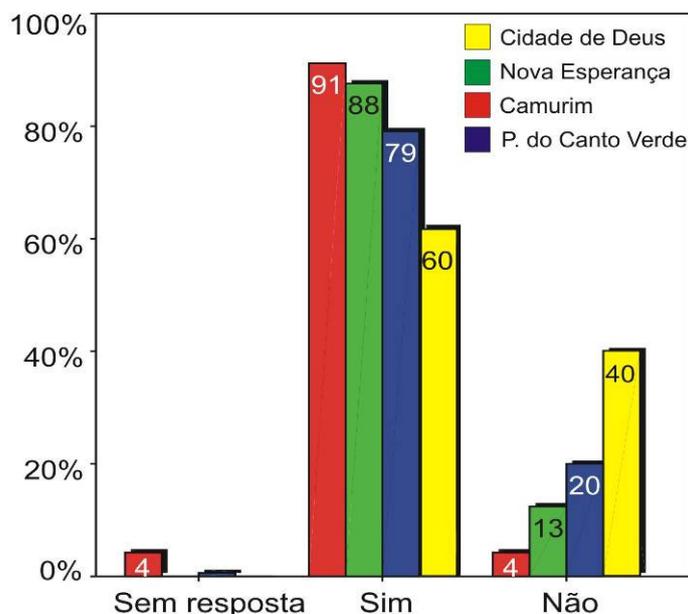
Dos 77% que consideraram uma água de boa qualidade, apenas 31% relacionaram a qualidade da água à sua condição de tratada (desinfetada); o restante relacionou ao gosto, à cor (clara), à distância de captação da água, à sua origem (chuva), à sua salinidade, dentre outros (Figura 41).

Para as famílias que responderam que a água era de má ou de péssima qualidade, as justificativas mais citadas para essas condições foram: salinidade, contaminação, sujeira (particulado), desprezo pelo gosto do cloro, mal-estar, cor amarelada, dores de barriga, ausência de cloro e falta constante da água. Mais uma vez, verifica-se que a percepção da comunidade quanto à qualidade da água não está, em sua maioria, relacionada à contaminação microbiológica. As maiores queixas são quanto ao gosto ruim provocado pela adição do cloro (37%, ruim e 31%, péssima) e à alta salinidade (condição salobra da água) (Figura 42).

É importante esclarecer que essas perguntas foram aplicadas no mês de março de 2005, ou seja, antes da ação dos multiplicadores.

#### *5.6.2.4. Manejo do SODIS*

Os usuários foram perguntados, se ao fazerem uso do SODIS, eles agitavam as garrafas antes de expô-las ao sol. Pela Figura 43, evidencia-se uma porcentagem relativamente grande de usuários que não agitavam as garrafas, como na Prainha do Canto Verde, com 20%, e Cidade de Deus, com 40% . O porquê de não agitar as garrafas, segundo os usuários, foi o fato de o processo ser demasiadamente trabalhoso quando se utilizam várias garrafas.



**Figura 43** – Agitação das garrafas pelos usuários antes de expor ao sol. Comunidades do Ceará. 2005.

Quando se buscou identificar os tipos de superfícies utilizadas para exposição das garrafas, observa-se que a telha de barro e o cimento (chão) são as superfícies mais utilizadas, 63,5% e 19,0%, respectivamente; em seguida, tem-se a bacia de alumínio, sendo utilizada por 3% dos usuários SODIS. Verifica-se, também, a utilização da superfície cisternas de placas, com 2,0%. (Tabela 36)

**Tabela 37** - Tipo de superfície utilizada pelos usuários SODIS para exposição das garrafas. Comunidades do Ceará. 2005.

Tipo de superfície	
sem resposta	2,5%
telha de barro	63,5%
cisterna de placa	2,0%
telha de amianto	1,5%
sobre pedras	1,0%
cimento (chão)	19,0%
madeira	2,0%
telhado de palha	3,0%
cadeira de plástico	2,5%
bacia de alumínio	3,0%

#### *5.6.2.5. Análises microbiológicas de campo*

As análises microbiológicas das amostras manuseadas pelos próprios usuários apresentaram uma boa remoção do indicador fecal. O método mostrou-se capaz de inativar concentrações de coliformes termotolerantes acima de  $10^3$  NMP.100mL<sup>-1</sup>, como apresentado na Tabela 37. Contudo, pode-se observar que em alguns casos não houve redução e em outros ocorreu aumento da colimetria (amostras Camurim 3, 6, 7, e 9). Como exemplo, na amostra Camurim 3, houve a duplicação na concentração do indicador fecal, e na amostra Camurim 6, esse aumento chegou a 6 vezes. As garrafas SODIS, quando não expostas diretamente à luz solar, funcionam como um reator biológico, apropriado para a multiplicação bacteriana sob temperatura ótima (SODIS, 2003b); em outros casos, a insuficiente higienização dos recipientes contribuiu para o aumento da contaminação. Estes dois fatores podem ter sido as causas principais do aumento ou permanência das altas quantidades de coliformes termotolerantes nas amostras de água tratada. Vale ressaltar que estes problemas ocorreram devido ao uso inadequado da tecnologia, considerando que as garrafas foram expostas em locais sombreados (Figuras G3 e G4, Apêndice G).

**Tabela 38** - Resultados microbiológicos da água tratada pelo método SODIS nas quatro comunidades. Estado do Ceará. 2005.

Amostra	Data de coleta	Origem/ classificação	Turbidez (uT)	coliformes termotolerantes		Redução
				água bruta	água SODIS	
<b>Cidade de Deus 1</b>	20/6/2005	clandestina	1	<2	<2	-
<b>P. do Canto Verde 4</b>	22/6/200	poço	2	300	300	0,00%
<b>P. do Canto Verde 1</b>	27/6/2005	poço	1	230	<2	100,00%
<b>P. do Canto Verde 2</b>	29/6/2005	poço	2	<2	<2	-
<b>P. do Canto Verde 3</b>	4/7/2005	poço	11	27	<2	100,00%
<b>P. do Canto Verde 5</b>	4/7/2005	poço	3	30	<2	100,00%
<b>P. do Canto Verde 6</b>	6/7/2005	poço	1	13	<2	100,00%
<b>Camurim 1</b>	6/6/2005	cisterna- água do carro pipa	2	3000	3000	0,00%
<b>Camurim 2</b>	20/6/2005	chuva	1	130	23	82,31%
<b>Camurim 3</b>	20/6/2005	cisterna- água do carro pipa	1	1300	2400	-84,62%
<b>Camurim 4</b>	20/6/2005	cisterna-água de chuva	1	300	<2	100,00%
<b>Camurim 5</b>	22/6/2005	cisterna- água do carro pipa	0	2400	2	99,92%
<b>Camurim 6</b>	22/6/2008	cisterna-água de chuva	1	300	300	0,00%
<b>Camurim 7</b>	22/06/205	cisterna-água de chuva	1	800	800	0,00%
<b>Camurim 8</b>	29/6/2005	cisterna-água de chuva	1	130	<2	100,00%
<b>Camurim 9</b>	4/7/2005	cisterna- água do carro pipa	2	500	3000	-500,00%
<b>Camurim 10</b>	4/7/2005	cisterna- água do carro pipa	3	3000	500	83,33%
<b>Camurim 11</b>	4/7/2006	cisterna-água de chuva	2	3000	30	99,00%
<b>Nova Esperança 1</b>	27/6/2005	Cagece - Pote	1	23	<2	100,00%
<b>Nova Esperança 2</b>	29/6/2005	Cagece - Pote	0	<2	<2	-
<b>Nova Esperança 2</b>	6/7/2005	Cacimba	26	11	<2	100,00%

Destaca-se a elevada contaminação das águas das cisternas de placas da comunidade Camurim. Mesmo as águas de chuva armazenadas nesses reservatórios não estão isentas da contaminação fecal, isto porque o manejo da água é feito de forma incorreta, onde moradores utilizam baldes para coleta da água, as calhas não são devidamente limpas e, em alguns casos, as primeiras águas de chuva são armazenadas (amostras Camurim 2, 4, 6, 7 e 11, Tabela 37).

No entanto, a maior contaminação encontra-se nas águas fornecidas através dos carros-pipa disponibilizados pela prefeitura municipal. A concentração média de coliformes termotolerantes das cisternas abastecidas pelo carro pipa foi de  $2,3 \times 10^3$  NMP.  $100\text{mL}^{-1}$  (amostras Camurim 1, 3, 5, 9 e 10, Tabela 37).

O armazenamento da água tratada pela Cagece, em potes em condições inadequadas de higiene, caracteriza uma contaminação secundária. (amostra Nova Esperança 1, Tabela 37).

Apesar da comunidade urbana ser abastecida de forma clandestina, o cloro residual na água é capaz de eliminar qualquer contaminação secundária, indicado pela ausência de coliformes na amostra Cidade de Deus 1, Tabela 37.

#### *5.6.2.6. Problemas com o SODIS*

Em Camurim, 7% dos usuários do SODIS alegaram problemas com o método; desse total, 50% reclamaram da falta de garrafas PET e 50% da mudança de cor da água. Na Prainha do Canto Verde, 9% dos usuários reclamaram, sendo que, desses, 82% devido à falta de garrafas, 5 % pela mudança na cor da água (presença da cor amarela ou verde) e 12% pela presença de cianobactérias (chamadas de algas pelos moradores das comunidades). Em Nova esperança, 20% dos usuários encontraram problemas e todos eles alegaram a falta de garrafas PET. (Tabela 38).

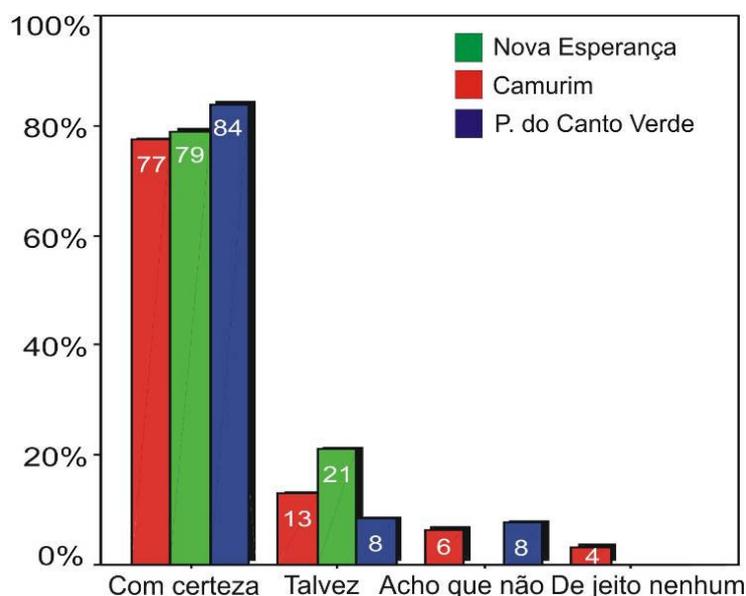
**Tabela 39** - Problemas com o SODIS relatados pelos usuários. Estado do Ceará. 2005.

<b>JUNHO</b>			
<b>Tipo de problema</b>	<b>Comunidades</b>		
	<b>Camurim</b>	<b>Nova Esperança</b>	<b>Prainha do Canto Verde</b>
<b>Falta de garrafas</b>	50%	100%	67%
<b>Presença de cor</b>	50%	-	2%
<b>Algas</b>	-	-	12%
<b>Falta de garrafas + odor + cor</b>	-	-	2%
<b>Falta de garrafas + odor</b>	-	-	2%
<b>Falta de garrafas + algas</b>	-	-	10%
<b>Falta de garrafas + odor</b>	-	-	2%
<b>Dor de barriga</b>	-	-	2%

Não foi possível apresentar os dados da Cidade de Deus, pois alguns multiplicadores desistiram de colaborar na entrevista, inviabilizando a aplicação dos questionários naquela comunidade.

#### *5.6.2.7. Sustentabilidade*

Para inferir sobre a sustentabilidade do projeto, ou seja, se o uso desta tecnologia aceita pelos moradores iria ter continuidade e se tornar um hábito de se tratar a água, os usuários do SODIS foram perguntados se iriam continuar a usá-lo. As respostas foram divididas em: com certeza, talvez, acho que não e de jeito nenhum, estando os resultados apresentados na Figura 44.



**Figura 44** - Resultados de sustentabilidade da tecnologia SODIS, com relação de continuar a usar o SODIS. Estado do Ceará. 2005.

A grande maioria dos usuários respondeu que iria com certeza continuar a usar o SODIS: 77% em Camurim, 79% em Nova Esperança e 84% na Prainha do Canto Verde. Apenas 6% dos usuários em Camurim e 8% na Prainha do Canto Verde responderam que achavam que não iriam continuar a usar o SODIS e somente 4% em Camurim disseram que nunca mais iriam usar. Mais uma vez, não foi possível obter os dados da Cidade de Deus, devido aos problemas já mencionados.

O Instituto EAWAG, após difundir o SODIS em sete países da América Latina, Ásia e África, realizou um estudo para avaliar sua aceitação sociocultural. No início, em 1997, 550 famílias participavam do projeto e ao final de um ano mais de 1.200 famílias já tinham aderido. (EAWAG/SANDEC, 1998). Usuários do SODIS também foram entrevistados e perguntados se continuariam a usar o método. O resultado dessa entrevista está apresentado na Tabela 39, e podendo-se verificar elevadas taxas de aceitação, condizentes às obtidas pelo presente estudo.

**Tabela 40** - Resultados da pesquisa sobre aceitação do SODIS realizada pelo Instituto EAWAG.

<b>País</b>	<b>Com certeza</b>	<b>Talvez</b>	<b>Provavelmente não</b>	<b>Definitivamente não</b>
<b>Colômbia</b>	90	8	0	2
<b>Bolívia</b>	93	0	0	7
<b>Burkina Faso</b>	70	30	0	0
<b>Togo</b>	93	0	0	7
<b>Indonésia</b>	90	5	3	2
<b>Tailândia</b>	97	0	0	3
<b>China</b>	55	45	0	0
<b>Média</b>	<b>84</b>	<b>12,6</b>	<b>0,4</b>	<b>3</b>

Fonte: EAWAG/SANDEC (2005).

Verifica-se a partir dos resultados aqui apresentados, uma tendência de grande aceitação e sustentabilidade do método SODIS.

## 6. CONCLUSÕES

---

Com base nos resultados acima dispostos, conclui-se que:

### 6.1. Quanto aos aspectos técnicos

- O Estado do Ceará possui condições propícias para a desinfecção solar, com médias anuais de radiação acima de  $700\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  e 86% das horas entre o intervalo de intensa radiação (09:00 as 14:00) acima de  $500\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
- Apenas nos dias chuvosos não se recomenda utilizar o método, já que o céu encontra-se completamente encoberto por nuvens, reduzindo consideravelmente a intensidade de radiação solar global abaixo de  $500\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .
- É indiscutível a melhora sanitária da água quando se faz uso do SODIS, independentemente de processos de agitação ou tipo de superfície de exposição. As amostras de água não alcançaram valores de temperatura acima de  $44^{\circ}\text{C}$  durante os ensaios e ainda assim, o SODIS apresentou 4 log de remoção de coliformes termotolerantes em todos os ensaios. Isto indica que a desinfecção obtida no processo SODIS não é oriunda exclusivamente do efeito da temperatura e sim do fator principal que é o efeito da radiação solar (UV-A), em sinergia com a temperatura.
- Apesar do incremento de OD para as amostras agitadas ( $0,75\text{mg/L}$ ), essa condição de aerobiose não desencadeou eficiência significativa na remoção do indicador coliforme termotolerante quando comparada estatisticamente ( $\alpha=0,05$ ) às amostras não agitadas. Em média, a eficiência das amostras agitadas foi de apenas 0,014% maior que as não agitadas e a taxa de decaimento bacteriano foi 1,10 vezes maior para as amostras agitadas.
- A água atinge temperaturas diferentes dependendo da superfície sobre a qual está exposta. A superfície que proporcionou os maiores valores de temperatura durante o horário de exposição foi a bacia de alumínio; em segundo, o concreto pintado de branco; em terceiro, a telha de barro; em quarto, a telha de amianto; e por último, o

concreto pintado de preto. Contudo, as diferenças das médias, são no máximo, de 1,3°C.

- A eficiência do SODIS independe da superfície de exposição, uma vez que ao avaliar estatisticamente as duas superfícies de maior diferença de inativação (telha de amianto e concreto pintado de preto), aceitou-se a possibilidade das médias das inativações serem iguais ( $\alpha=0,05$ ).
- As superfícies mais eficientes foram o concreto pintado de branco, com uma constante de decaimento bacteriano ( $k$ ) de  $0,3049\text{h}^{-1}$ , e a telha de amianto, com  $0,3152\text{h}^{-1}$ . A menos eficiente foi o concreto pintado de preto, possuindo uma constante de decaimento bacteriano de  $0,2624\text{h}^{-1}$ .
- Mais uma vez, comprova-se que a temperatura não é o fator principal na desinfecção; caso a mesma fosse, a bacia de alumínio, por ter sido a superfície que mais concentrou calor teria produzido a maior eficiência na remoção do indicador e isto não ocorreu.
- A temperatura e a intensidade de radiação solar são diretamente proporcionais à taxa de remoção; quanto maiores esses parâmetros, maior é a velocidade de decaimento bacteriano.
- As amostras controle não apresentaram caimento bacteriano apreciável, sugerindo que a desinfecção está relacionada apenas a fatores climatológicos, como radiação solar incidente e temperatura.
- Para uma concentração inicial de  $10^6\text{NMP.100mL}^{-1}$  e um período de exposição de 6 horas (09:00horas as 15:00horas), não foi possível reduzir a concentração de coliformes abaixo de  $10^4\text{NMP. 100mL}^{-1}$ . O limite máximo da concentração inicial de coliformes termotolerantes, portanto, é de  $10^5\text{NMP.100mL}^{-1}$ .
- Em 64% dos ensaios, foi possível verificar a total inativação de coliformes termotolerantes em amostras com concentração inicial de  $10^5\text{NMP.100mL}^{-1}$ , obtendo-se então uma água em condições bacteriológicas apropriada para consumo humano, segundo a Portaria 518 do Ministério da Saúde. Deste total, 45% foram inativadas nas 5 primeiras horas. Entretanto, acredita-se que para condições reais das fontes de água com contaminação na ordem de  $10^3\text{NMP.100mL}^{-1}$ , o SODIS, quando utilizado de forma correta pode ser totalmente eficiente, atendendo à Portaria 518. Quanto à classificação de risco adotado pela OMS, após o tratamento

do SODIS, 64% das amostras cumpriram a norma, 29% se enquadraram em águas de baixo risco e 5% de médio risco.

## 6.2. Quanto aos aspectos sociais

- Existem diferenças quanto ao grau de aceitação da tecnologia SODIS nas comunidades pesquisadas. Na área urbana é bem mais difícil a implementação do método, observando-se que apenas 9% das famílias fizeram uso do SODIS. A falta de áreas livres, dificultando a utilização das tecnologias, o preconceito cultural e a carência de um objetivo comum por parte dos moradores da comunidade urbana, possivelmente, são os motivos que explicam a rejeição do método. Já nas comunidades do interior, o SODIS obteve grande aceitação, em mais de 75% das famílias.
- A percepção quanto à qualidade de água está relacionada, em sua maioria, a fatores alheios à sua qualidade microbiológica. A grande maioria (mais de 70%) associa o gosto e a cor à qualidade de água, ou seja, independente das condições sanitárias, se a mesma possuir baixo teor de sais, ausência do gosto do cloro e de cor amarelada, os moradores acreditam que essa água é de boa qualidade e própria para consumo.
- Em quase todas as amostras de água coletadas nas comunidades foi constatada a presença de indicador fecal. A contaminação variou na ordem de  $10^1$  a  $10^3$  NMP.100mL<sup>-1</sup>. O processo SODIS foi capaz de melhorar consideravelmente essa situação, proporcionando a total remoção de coliformes em 45% dos casos. No entanto, o SODIS é ineficiente, caso o mesmo seja realizado em condições de sombreamento, podendo até ocasionar o crescimento bacteriano, como aconteceu em 30% dos casos pesquisados.
- As cisternas de placa não estão isentas de contaminação microbiológica. Das 10 cisternas pesquisadas, em todas, foi observada a presença de coliformes termotolerantes, com concentrações de até  $10^3$  NMP. 100mL<sup>-1</sup>. A água fornecida pela prefeitura municipal de Camurim, coletada nas cisternas, registrou as maiores concentrações de coliformes.

- Segundo os usuários do SODIS, ao se fazer uso do método, alguns problemas foram relatados. A falta de garrafas, a presença de cor e de cianobactérias na água após o tratamento são os problemas mais encontrados em todas as comunidades.
- O método de desinfecção SODIS, por sua simplicidade e baixo custo, pode ser considerado sustentável e torna-se habitualmente praticável em áreas carentes de saneamento adequado. As comunidades interioranas mostraram-se confiantes no método e a grande maioria dos usuários dessas comunidades (80%) relatou que a continuidade de se fazer uso do método era uma certeza.

## 7. RECOMENDAÇÕES

---

### 7.1. Quanto aos aspectos técnicos

- A realização de ensaios para diferentes tempos de agitação acima de 1 minuto, como por exemplo, 1, 2, 5, e 10 minutos, com o intuito de verificar se o aumento de OD depende do tempo de agitação.
- Estudo do efeito da agitação para outros tipos de microrganismos além do indicador bacteriano coliforme termotolerante. Outras possibilidades de microrganismos pesquisados são protozoários (*Cryptosporidium parvum*) e vírus (colifagos).
- A realização de novos ensaios no intuito de determinar constantes de decaimento para outros tipos de microrganismos, exemplo: *Vibrio cholerae*, *Cryptosporidium parvum*, colifagos, etc.
- Pesquisa detalhada da existência de diferentes taxas de inativação para diferentes marcas de recipientes PET transparentes. Uma análise das propriedades ópticas dos materiais PET coletados, como por exemplo, transmissividade da radiação UV-A referente a cada marca utilizada no Brasil.
- Pelo relato da comunidade, é interessante a avaliação do crescimento de algas, qualificando e quantificando a comunidade fitoplanctônica no interior das garrafas.
- Mesmo considerando testes anteriores, como o de Wegelin *et al.* (1994), onde foi verificada a ausência de recrescimento bacteriano quando a água é armazenada por períodos de até uma semana, são oportunas outras investigações desse fenômeno nas horas seguintes de exposição, após 24, 48, 72 horas e uma semana.
- Estudo da desinfecção solar em regiões serranas.

## 7.2. Quanto aos aspectos sociais

- Como qualquer tecnologia, o SODIS também requer cuidados específicos; o principal apontado por este trabalho é manter distância de qualquer área que proporcione sombras, como árvores, muros, edificações, etc.
- O SODIS, já citado na literatura, é um método capaz de reduzir as ocorrências médicas referentes a casos de diarreias. No entanto, caso seja implementado em qualquer comunidade, é de suma importância, como para qualquer outra tecnologia, desenvolver uma ação de capacitação. Ainda que o método tenha como premissa a simplicidade de operação, o mesmo requer treinamento e acompanhamento adequados para corrigir possíveis problemas, como os que foram detectados no estudo de caso, quando as garrafas foram expostas em locais sombreados.
- É necessária a realização de levantamento de dados epidemiológicos das comunidades, com a coleta de dados existentes nas prefeituras locais antes do início do projeto e após um período de tempo, por exemplo, 1 ano.
- O principal problema exposto pelos usuários foi a falta de garrafas PET, problema este facilmente contornável a partir de uma melhor organização comunitária e de campanhas de coleta de garrafas em bares e restaurantes.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ACRA, A.; JURDI, M.; MU`ALLEM, H.; KARAHAGOPIAN, Y.; RAFFOUL, Z.; **Water disinfection by solar radiation. Assessment and Application.** Ottawa: International Development Research Centre, 1990.

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solution- guidelines for households application in developing countries.** Department of Environmental Health. Beirut. American University of Beirut. UNICEF, 1984.

AGENDA 21. CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO-AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 3º ed. Subsecretaria de Edições Técnicas. Senado Federal. Brasília. 2001

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA, WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** 20<sup>th</sup> ed. Washington DC: APHA. 1998 (CD).

BIASOLI, W.M. **Água e saúde – o que você gostaria de saber e não teve a quem perguntar.** Fortaleza, 2000. 224p.

BISQUERRA, R.; SARRIERA, J.C.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à estatística – enfoque informático com o pacote estatístico SPSS.** São Paulo: Artmed Editora, 2004. 255p

BRANDÃO, C.C.S.; MONTEIRO, P.C.G., FONSECA, B.M.; ARANTES, C. Avaliação da desinfecção solar na Região Centro-Oeste do Brasil usando diferentes organismos indicadores de contaminação. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Portaria n. 518**, de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://www.aguaseguas.ufjf.br/>. Acesso em: 10 maio 2005

BURCH J.D., THOMAS K.E. Water disinfection for developing countries and potential for solar thermal pasteurization. **Solar Energy**, Vol.64, No 1-3, pp 87-97, 1998.

CASLAKE, L.F.; CONOLLY, D.J.; MENON, V.; DUNCANSON, C.M.; ROJAS, R.; TAVAKOLI, J. Disinfection of contaminated water by using solar irradiation. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n. 2, p. 1145-1150. fev. 2004.

CEBALLOS, B.S.O.; SOUSA, A.A.P., KONIG A. Eliminação de três métodos simples de eliminação de bactérias fecais. **XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1993.

Coordenadoria de Saneamento – CSA / SEINFRA. Ceará, 2002. Disponível em: <http://www.seinfra.ce.gov.br/#intro>. Acesso em: 15 de agosto de 2004.

DA SILVA, M.J.M. **Desinfecção de água utilizando energia solar (SODIS): Inativação e recrescimento bacteriano**. Dissertação de Mestrado - Campinas: UNICAMP, 2004. 68p.

DE MATTOS, L. I.; SHIRAIISHI, K. A.; BRAZ, A. D.; FERNANDES, J. R. Peróxido de Hidrogênio: Importância de Determinação. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 373-380, 2003.

EAWAG/SANDEC. **Desinfección Solar del Agua - Guia de Aplicación**, Cochabamba, Bolívia. 80p, 2005.

EAWAG/SANDEC. **SODIS News No. 3**. Suíça, 1998. Disponível em: [www.sodis.ch](http://www.sodis.ch). Acesso em: 20 nov 2004.

ENCINAS, J.P.; IRIARTE M. Evaluación de la eficiencia del método SODIS en la inactivación de coniformes termotolerantes en tres regiones de Bolivia (valle, trópico y altiplano). **Desinfección solar del agua, de la investigación a la aplicación**. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental – Facultad de Ciencias y Tecnología, v.1, n.1, p. 59-64, 2005.

FEACHEM, R.; BRADLEY, D.; GARELICK, M.; MARA, D. **Sanitation and disease, health aspects of excreta and wastewater management**. John Wiley & Sons. Reino Unido, 1983.

FUENTES, I.; TORRICO, A. Cálculo de propiedades ópticas en los plásticos PET (Polietileno de Tereftalato) para optimizar el método SODIS. **Desinfección solar del agua, de la investigación a la aplicación**. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental – Facultad de Ciencias y Tecnología, v.1, n.1, p. 59-64, 2005.

HINRIGCHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. Tradução da 3ª edição norte-americana. São Paulo: Thomson, 2003. 543p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E TECNOLOGIA – IBGE. Censo Demográfico 2000. Brasil. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 5 nov. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E TECNOLOGIA – IBGE. Estatcart - Sistema de recuperação de informações georreferenciadas Versão 2.0. 2004. (CD)

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

MARTIN-DOMÍNGUEZ, A.; ALARCÓN-HERRERA, M.T.; MARTIN-DOMÍNGUEZ, I.R.; GONZÁLEZ-HERRERA, A. Efficiency in the disinfection of water for human consumption in rural communities using solar radiation. **Solar Energy.** v. 78, p 31-40, 2005.

MERCADO, A. ROMERO, A.M.; CORONADO, O. Desinfección solar del agua em Bolivia: Proyecto piloto sacabamba y difusión inicial (1996-2000). **Desinfección solar del agua, de la investigación a la aplicación**. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental – Facultad de Ciencias y Tecnología, v.1, n.1, p. 59-64, 2005.

MEYER, V.; REED, R.H. SOLAIR disinfection of coliform bacteria in hand-drawn drinking water. **Water SA.** v. 27, n. 1, 2001. Disponível em: <http://www.wrc.org.za> Acesso em: 13 de maio de 2005.

MONTEIRO, P.; BRANDÃO, C.; SOUZA, M.A. **Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água**. Brasília, 2002. Disponível em: [http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/CD\\_Agua/pdf/por/doc14605/doc14605.pdf](http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/CD_Agua/pdf/por/doc14605/doc14605.pdf) Acesso em: 08 de junho de 2004, 21:20:30

MOSER, S.; HERI, S.; MOSLER, H-J. Determinants of the diffusion of SODIS – A quantitative field study in Bolivia – **Summary Report**. Zurich, 2005. 34p. Disponível em: <http://www.fundacionsodis.org>. Acesso em: 10 out. 2005.

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

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE - OPS – **Informe Regional sobre la Evaluación 2000 en la Región de las Américas. Agua y Saneamiento, estado actual**. Washington, DC 2001. Disponível em: <http://www.paho.org>. Acesso em: 10 de setembro de 2004.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE- OPS, ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS. **Indicadores básicos de saúde no Brasil: conceitos e aplicações/Rede Interagencial de Informações para saúde**. Brasília, 2002. Disponível em: <http://www.opas.org.br/sistema/arquivos/SAUDEBR.PDF>. Acesso em: 8 mai 2005.

PHILIPPI Jr., A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. 842p.

PROSAB 2, Processos de Desinfecção Alternativos na Produção de Água Potável. ABES. Rio de Janeiro, 2001. p139.

REED, R. H. **Innovations in solar water treatment. 23rd WEDC Conference Water and Sanitation for all: Partnerships and Innovations**. Durban, South Africa, 1997. Disponível em: <http://www.lboro.ac.uk/departments/cv/wedc/papers/23/groupd/reed.pdf> Acesso em: 11 de maio de 2005.

SAÚDE & TECNOLOGIA. 76 milhões podem morrer de doenças relacionadas à água. **BBC Brasil.com**, 19 ago. 2002. Disponível em: [http://www.bbc.co.uk/portuguese/ciencia/020819\\_rioaguamtc.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/ciencia/020819_rioaguamtc.shtml). Acesso em: 28 out. 2005.

SODIS. Water Quality: Oxygen Concentration, **Technical Note #8**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 de maio de 2005.

SODISa. Material: Plastic versus Glass Bottles, **Technical Note #2**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SODISb. Climatic conditions: solar radiation, **Technical Note #5**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SODISc. Climatic conditions: seasonal effects and weather changes, **Technical Note #6**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SODISd. Water quality: turbidity and water depth, **Technical Note #7**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SODISe. Water Quality: Oxigen Concentration, **Technical Note #8**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SODISf. SODIS efficiency: the process, **Technical Note #9**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SODISg. SODIS efficiency: influence of turbidity, **Technical Note #10**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SODISh. SODIS efficiency: covered sky conditions, **Technical Note #11**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SODISi. SODIS use: application procedure, **Technical Note #13**, 2003. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 13 maio 2005.

SOLSONA, F; MÉNDEZ, J.P. **Desinfección de aguas**. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (CEPIS), 2002. CD-ROM.

SOMMER, B.; MARINO, A.; SOLARTE, Y.; SALAS, M.; DIEROLF, C.; VALIENTE, C.; MORA, D.; RECHSTEINER, R.; SETTER, P.; WIROJANAGUD, W.; ALARMED, H.; AL-HASSAN, A.; WEGELIN, M. SODIS – an emerging water treatment process. **Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua**, v. 46, n. 3, p. 127-137, 1997.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O.M.C. **A gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025**. Brasília, 2000. Disponível em: [www.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/relatorio.pdf](http://www.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/relatorio.pdf). Acesso em: 8 mai 2005.

UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND - UNICEF. **Relatório da Situação da Infância e Adolescência Brasileiras, 2003** Disponível em: <http://www.unicef.org/brazil/siab.htm>. Acesso em: 25 maio 2005.

VIANELLO, R.B.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449p

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ªed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 243p.

WATER SUPPLY & SANITATION COLLABORATIVE COUNCIL – WSSCC. **WASH - Media Guide for Professionals**. Geneva, março, 2003. Disponível em: <http://www.wsscc.org/res/publications.php>. Acesso em: 04 mai. 2005.

WEGELIN, M.; AHMED, R.; AHMED, N. Progress in solar water disinfection (SODIS). **24<sup>th</sup> WEDC Conference – SANITATION AND WATER FOR ALL**. Islamabad, Pakistan, 1998.

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEISHMANN, T.; PESARO, F.; METZLER, A. Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. **Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua**, v. 43, n3, p154-159, 1994

WEGELIN, M.; MEIERHOFER, R.; MERCADO, A.; SALADIN, M.; Difusión mundial de la tecnología de SODIS. **Desinfección solar del agua, de la investigación a la aplicación**. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental – Facultad de Ciencias y Tecnología, v.1, n.1, p. 65-70, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply**. Geneva. Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/hq/2002/WHO\\_SDE\\_WSH\\_02.07.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2002/WHO_SDE_WSH_02.07.pdf). Acesso em: 27 dez. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND-WHO/UNICEF. **Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report**. Geneva, Suíça. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/) Acesso em: 27 dez. 2005.

## **APÊNDICE A**

---

Parâmetros físicos e microbiológicos

**Tabela A 1** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras de água bruta e controle da etapa de agitação

Data	Tempo	coli. termo. (NMP/100mL)	log <sub>10</sub> (coli. termo)	OD (mg/L)		temp. (°C)		cor aparente (uH)	turbidez (uT)	pH
				Agitada	Não Agitada	Agitada	Não Agitada			
21-nov-05	AB1	2,40E+04	4,38	5,81	4,49	30,40	30,60	2	1	7,7
	AB2	2,40E+05	5,38	NC	NC	NC	NC	1	1	7,65
	Cont.1	5,00E+03	3,70	NC	NC	NC	NC	4	1	7,55
	Cont.2	2,30E+05	5,36	NC	NC	NC	NC	8	1	7,44
6-dez-05	AB1	3,00E+05	5,48	6,46	5,47	30,70	30,50	14	1	7,43
	AB2	3,00E+05	5,48	NC	NC	NC	NC	7	1	7,6
	Cont.1	5,00E+05	5,70	NC	NC	NC	NC	16	1	7,5
	Cont.2	5,00E+05	5,70	NC	NC	NC	NC	15	3	7,48
8-dez-05	AB1	8,00E+04	4,90	6,95	6,73	30,70	30,60	6	1	7,77
	AB2	2,30E+05	5,36	NC	NC	NC	NC	13	1	7,88
	Cont.1	1,40E+05	5,15	NC	NC	NC	NC	5	1	7,67
	Cont.2	2,40E+05	5,38	NC	NC	NC	NC	4	1	7,68

AB1: amostra água bruta 1

AB2: amostra água bruta 2

Cont.1: amostra controle 1, longe da radiação solar

Cont.: amostra controle 2, longe da radiação solar

NC: não coletado

**Tabela A 2** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras não agitadas expostas à radiação solar

Não agitadas								
Data	Tempo	coli. termo. (NMP/100mL)	log <sub>10</sub> (coli. termo)	OD (mg/L)	temp. (°C)	cor (uH)	turbide z (uT)	pH
<b>21-nov-05</b>	1	9,00E+04	4,95	4,34	35,1	21	5	NC
	2	2,20E+03	3,34	4,12	38,1	17	4	NC
	3	8,00E+02	2,90	4,07	39,5	21	4	NC
	4	1,30E+02	2,11	3,95	39,6	22	4	NC
	5	5,00E+01	1,70	3,96	39,2	23	4	NC
	6	1,10E+02	2,04	3,7	38,4	25	5	NC
<b>6-dez-05</b>	1	7,00E+04	4,85	5,22	36,2	29	6	7,55
	2	2,30E+03	3,36	4,98	38	29	6	7,59
	3	2,70E+02	2,43	4,93	38,1	22	4	7,54
	4	5,00E+02	2,70	4,63	39,6	22	6	7,61
	5	5,00E+01	1,70	4,39	40,1	21	4	7,58
	6	9,00E+02	2,95	4,46	38,4	24	5	7,65
<b>8-dez-05</b>	1	3,00E+03	3,48	6,23	33,7	1	0	7,74
	2	3,00E+02	2,48	6,14	35,1	4	0	7,64
	3	3,00E+01	1,48	6,12	36,8	2	0	7,75
	4	1,30E+01	1,11	6,05	38,3	3	1	8,13
	5	1,30E+01	1,11	5,82	38,3	1	1	7,96
	6	2,00E+00	0,30	5,81	37,4	9	1	7,64

NC: não coletado

**Tabela A 3** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras agitadas expostas à radiação solar

Agitadas								
Data	Tempo	coli. termo. (NMP/100mL)	log <sub>10</sub> (coli. termo)	OD (mg/L)	temp. (°C)	cor (uH)	turbide z (uT)	pH
21-nov-05	1	1,10E+05	5,04	5,39	35,2	19	3	NC
	2	1,30E+03	3,11	5,05	38,1	20	4	NC
	3	1,30E+02	2,11	4,95	39,6	17	4	NC
	4	4,00E+01	1,60	5,01	40,1	21	3	NC
	5	2,30E+01	1,36	4,95	39,8	27	5	NC
	6	3,00E+01	1,48	4,7	38,8	19	4	NC
6-dez-05	1	2,70E+04	4,43	6,28	36,2	27	5	7,64
	2	3,00E+03	3,48	5,7	38,2	27	5	7,64
	3	3,00E+02	2,48	5,56	38,6	28	5	7,6
	4	3,00E+02	2,48	5,48	39,8	31	4	7,7
	5	5,00E+02	2,70	5,08	40,1	31	6	7,68
	6	1,40E+02	2,15	5,2	38,5	23	3	7,7
8-dez-05	1	8,00E+03	3,90	6,57	33,6	4	0	7,74
	2	2,40E+02	2,38	6,44	35,3	4	1	7,72
	3	5,00E+01	1,70	6,37	37,3	6	1	7,81
	4	8,00E+00	0,90	6,29	38,8	8	1	7,78
	5	<2	0,00	6,24	38,5	12	2	8,07
	6	4,00E+00	0,60	6,14	37,8	14	5	8,01

NC: não coletado

**Tabela A 4** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras de água bruta e controle da etapa de superfície

Data	Tempo	coli. termo. (NMP/100mL)	log <sub>10</sub> (coli. termo)	temp. (°C)					cor aparente (uH)	turbidez (uT)	pH
				conc. branco	conc. preto	telha de amianto	telha barro	bacia de alumínio			
<b>18-jan-06</b>	AB1	2,40E+04	4,38	25,40	25,10	24,88	25,64	24,83	2	1	7,7
	AB2	2,40E+05	5,38	25,08	24,84	25,14	25,62	24,74	1	1	7,65
	Cont.1	5,00E+03	3,70	NC	NC	NC	NC	NC	4	1	7,55
	Cont.2	2,30E+05	5,36	NC	NC	NC	NC	NC	8	1	7,44
<b>31-jan-06</b>	AB1	3,00E+05	5,48	32,63	31,49	32,37	31,87	32,64	14	1	7,43
	AB2	3,00E+05	5,48	32,00	31,61	32,03	32,42	31,97	7	1	7,6
	Cont.1	5,00E+05	5,70	NC	NC	NC	NC	NC	16	1	7,5
	Cont.2	5,00E+05	5,70	NC	NC	NC	NC	NC	15	3	7,48
<b>14-fev-06</b>	AB1	8,00E+04	4,90	28,98	28,59	28,78	28,93	29,34	6	1	7,77
	AB2	2,30E+05	5,36	28,80	28,45	29,03	28,59	29,53	13	1	7,88
	Cont.1	1,40E+05	5,15	NC	NC	NC	NC	NC	5	1	7,67
	Cont.2	2,40E+05	5,38	NC	NC	NC	NC	NC	4	1	7,68

AB1: amostra água bruta 1

AB2: amostra água bruta 2

Cont.1: amostra controle 1, longe da radiação solar

Cont.2: amostra controle 2, longe da radiação solar

NC: não coletado

**Tabela A 5** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre o concreto pintado de branco

<b>Concreto pintado de branco</b>							
<b>Data</b>	<b>Tempo</b>	<b>coli. termo. (NMP/100mL)</b>	<b>log<sub>10</sub> (coli. termo)</b>	<b>temp. (°C)</b>	<b>cor aparente (uH)</b>	<b>turbidez (uT)</b>	<b>pH</b>
<b>18-jan-06</b>	1	9,00E+04	4,95	28,08	3	3	7,51
	2	2,40E+03	3,38	30,71	7	1	7,62
	3	1,30E+02	2,11	35,98	1	2	7,44
	4	5,00E+01	1,70	39,67	7	1	7,6
	5	2,10E+01	1,32	39,19	5	2	7,55
	6	<2	0,00	36,13	5	1	7,56
<b>31-jan-06</b>	1	5,00E+04	4,70	34,97	9	0	7,46
	2	5,00E+03	3,70	37,57	10	1	7,46
	3	5,00E+02	2,70	39,53	10	1	7,38
	4	8,00E+00	0,90	42,57	6	1	7,46
	5	<2	0,00	43,68	5	1	7,49
	6	<2	0,00	42,71	5	1	7,48
<b>14-fev-06</b>	1	1,60E+05	5,20	30,88	8	2	7,95
	2	2,40E+03	3,38	32,43	2	1	7,8
	3	3,00E+02	2,48	34,40	9	1	8,15
	4	2,30E+01	1,36	37,01	9	2	7,85
	5	<2	0,00	37,60	4	2	7,77
	6	<2	0,00	37,41	2	1	7,75

**Tabela A 6** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre o concreto pintado de preto

<b>Concreto pintado de preto</b>							
<b>Data</b>	<b>Tempo</b>	<b>coli. termo. (NMP/100mL)</b>	<b>log<sub>10</sub> (coli. termo)</b>	<b>temp. (°C)</b>	<b>cor aparente (uH)</b>	<b>turbidez (uT)</b>	<b>pH</b>
<b>18-jan-06</b>	1	1,30E+05	5,11	27,57	6	1	7,57
	2	5,00E+03	3,70	30,10	5	0	7,54
	3	1,60E+03	3,20	34,67	0	0	7,55
	4	3,00E+02	2,48	38,46	5	1	7,7
	5	<2	0,00	38,21	6	0	7,68
	6	<2	0,00	35,36	0	0	7,78
<b>31-jan-06</b>	1	8,00E+04	4,90	34,30	4	1	7,47
	2	9,00E+03	3,95	36,85	2	1	7,45
	3	2,20E+02	2,34	38,75	14	2	7,47
	4	5,00E+01	1,70	41,60	1	1	7,47
	5	4,00E+00	0,60	42,93	6	1	7,42
	6	8,00E+00	0,90	42,12	4	1	7,46
<b>14-fev-06</b>	1	5,00E+04	4,70	30,54	2	1	7,85
	2	2,40E+04	4,38	32,06	12	2	7,87
	3	3,00E+03	3,48	34,10	12	1	7,9
	4	3,00E+01	1,48	36,64	5	0	7,84
	5	<2	0,00	37,57	3	1	8,23
	6	<2	0,00	37,46	3	1	8,05

**Tabela A 7** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre a telha de amianto

<b>Telha de amianto</b>							
<b>Data</b>	<b>Tempo</b>	<b>coli. termo. (NMP/100mL)</b>	<b>log<sub>10</sub> (coli. termo)</b>	<b>temp. (°C)</b>	<b>cor aparente (uH)</b>	<b>turbidez (uT)</b>	<b>pH</b>
<b>18-jan-06</b>	1	3,00E+04	4,48	28,26	3	1	7,56
	2	3,00E+02	2,48	30,83	5	1	7,6
	3	1,30E+02	2,11	36,03	1	1	7,44
	4	5,00E+01	1,70	39,63	5	0	7,54
	5	8,00E+01	1,90	38,88	11	1	7,47
	6	<2	0,00	35,74	0	0	7,46
<b>31-jan-06</b>	1	1,60E+05	5,20	34,67	2	1	7,51
	2	3,00E+03	3,48	37,31	3	0	7,34
	3	1,70E+02	2,23	39,15	5	1	7,49
	4	5,00E+01	1,70	41,63	4	0	7,51
	5	2,00E+00	0,30	42,81	12	0	7,54
	6	<2	0,00	41,82	3	1	7,69
<b>14-fev-06</b>	1	5,00E+04	4,70	31,16	8	1	7,85
	2	1,60E+04	4,20	33,69	5	1	7,82
	3	1,70E+02	2,23	36,20	6	2	7,85
	4	<2	0,00	37,23	5	0	7,7
	5	<2	0,00	37,65	2	1	7,73
	6	<2	0,00	37,51	6	2	7,69

**Tabela A 8** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre a telha de barro

<b>Telha de barro</b>							
<b>Data</b>	<b>Tempo</b>	<b>coli. termo. (NMP/100mL)</b>	<b>log<sub>10</sub> (coli. termo)</b>	<b>temp. (°C)</b>	<b>cor aparente (uH)</b>	<b>turbidez (uT)</b>	<b>pH</b>
<b>18-jan-06</b>	1	1,60E+05	5,20	28,65	13	1	7,46
	2	9,00E+03	3,95	31,64	6	3	7,52
	3	1,30E+02	2,11	37,60	4	2	7,63
	4	1,30E+02	2,11	40,55	8	2	7,57
	5	<2	0,00	38,54	12	1	7,67
	6	4,00E+00	0,60	34,87	1	1	7,59
<b>31-jan-06</b>	1	5,00E+04	4,70	34,90	8	0	7,59
	2	1,30E+03	3,11	37,62	6	1	7,63
	3	8,00E+01	1,90	39,92	3	1	7,59
	4	1,30E+01	1,11	43,01	5	1	7,31
	5	2,00E+00	0,30	43,15	1	1	7,45
	6	2,00E+00	0,30	41,21	14	2	7,45
<b>14-fev-06</b>	1	8,00E+04	4,90	31,86	4	1	8,01
	2	1,10E+04	4,04	33,41	6	1	7,85
	3	2,40E+02	2,38	36,82	8	2	7,95
	4	1,30E+02	2,11	39,43	3	1	7,98
	5	3,00E+01	1,48	39,05	8	2	7,88
	6	1,70E+01	1,23	38,32	3	0	8,14

**Tabela A 9** - Parâmetros físicos e microbiológicos das amostras expostas à radiação solar sobre a bacia de alumínio

<b>Bacia de alumínio</b>							
<b>Data</b>	<b>Tempo</b>	<b>coli. termo. (NMP/100mL)</b>	<b>log<sub>10</sub> (coli. termo)</b>	<b>temp. (°C)</b>	<b>cor aparente (uH)</b>	<b>turbidez (uT)</b>	<b>pH</b>
<b>18-jan-06</b>	1	1,60E+05	5,20	28,07	8	1	7,55
	2	9,00E+03	3,95	30,57	8	2	7,45
	3	2,30E+01	1,36	35,96	3	0	7,72
	4	1,70E+01	1,23	39,62	5	1	7,5
	5	2,00E+00	0,30	38,67	0	0	7,51
	6	4,00E+00	0,60	35,40	6	3	7,68
<b>31-jan-06</b>	1	ERRO	ERRO	35,07	7	2	7,5
	2	2,80E+03	3,45	37,48	15	0	7,53
	3	9,00E+02	2,95	39,06	5	2	7,51
	4	1,30E+02	2,11	41,68	11	1	7,5
	5	4,00E+00	0,60	42,47	11	0	7,48
	6	2,00E+00	0,30	41,45	6	1	7,52
<b>14-fev-06</b>	1	1,30E+05	5,11	31,23	4	1	7,63
	2	9,00E+03	3,95	33,10	6	2	7,76
	3	2,30E+02	2,36	34,90	4	1	7,76
	4	1,30E+01	1,11	37,43	5	1	7,92
	5	<2	0,00	37,83	4	1	7,77
	6	<2	0,00	37,59	6	1	7,77

ERRO: Erro operacional durante a análise laboratorial. (valor desconsiderado nos resultados)

## **APÊNDICE B**

---

Monitoramento da temperatura da água - etapa de superfície

**Tabela B 1** - Monitoramento da temperatura da água das garrafas sobre superfícies: concreto branco, concreto preto, telha de barro, bacia de alumínio e telha de amianto, durante o horário de pico de radiação no período de 13 de dezembro de 2005 a 14 de fevereiro.

Data	Hora	Temperatura °C				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de barro	Bacia de alumínio	Telha de amianto
13/12/2005	900	31.33	30.84	31.405	31.175	31.325
14/12/2005	900	32.31	31.69	32.38	31.745	32.195
15/12/2005	900	30.235	29.755	30.24	29.89	30.25
16/12/2005	900	33.175	32.455	33.16	32.825	33.02
17/12/2005	900	32.965	32.205	32.935	32.615	32.755
18/12/2005	900	34.285	33.365	34.2	33.9	33.985
19/12/2005	900	34.61	33.64	34.58	34.455	34.25
21/12/2006	900	30.615	30.12	30.46	30.38	30.405
22/12/2006	900	31.52	31.03	31.365	31.1	31.34
23/12/2006	900	32.24	31.4	31.915	32.075	31.91
25/12/2005	900	27.08	26.47	26.61	27.775	26.645
26/12/2005	900	32.87	31.965	32.495	31.94	32.67
27/12/2005	900	30.245	29.445	29.75	29.64	29.71
28/12/2005	900	28.105	28.115	28.17	27.37	28.355
29/12/2005	900	32.775	32.02	32.665	32.69	32.53
30/12/2005	900	33.645	32.62	33.485	33.715	33.27
31/12/2005	900	32.94	32.045	32.625	32.33	32.405
1/1/2006	900	28.315	27.63	28.385	29.48	28
11/1/2006	900	30.17	29.195	30.03	31.93	29.73
12/1/2006	900	27.955	27.27	27.99	29.075	27.655
13/1/2006	900	31.79	30.955	31.69	31.955	31.635
17/1/2006	900	29.28	28.675	29.22	29.555	29.205
18/1/2006	900	25.24	24.97	25.63	24.785	25.01
19/1/2006	900	28.485	27.775	28.42	29.945	28.455
21/1/2006	900	33.02	32.215	32.695	32.62	32.77
22/1/2006	900	28.42	28.09	28.24	28.415	28.605
23/1/2006	900	31.415	30.715	31.225	31.635	31.38
24/1/2006	900	31.005	30.525	30.945	30.875	30.87
25/1/2006	900	31.44	30.99	31.485	31.26	31.37
31/1/2006	900	32.315	31.55	32.145	32.305	32.2
1/2/2006	900	28.94	28.05	28.62	29.255	28.85
2/2/2006	900	31.78	31.145	31.6	31.985	31.66
3/2/2006	900	30.965	30.285	30.705	30.84	30.855
4/2/2006	900	31.015	30.015	30.725	31.995	30.88
14/2/2006	900	28.89	28.52	28.76	29.435	28.905

Data	Hora	Temperatura °C				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de barro	Bacia de alumínio	Telha de amianto
15/2/2006	900	32.515	31.61	32.42	32.875	32.42
13/12/2005	1000	35.825	34.9	35.975	36.9	35.735
14/12/2005	1000	35.87	35.005	35.97	36.685	35.79
15/12/2005	1000	33.95	33.285	33.965	34.41	33.98
16/12/2005	1000	36.8	35.815	36.835	37.875	36.615
17/12/2005	1000	37.01	35.97	37	38.175	36.755
18/12/2005	1000	38.325	37.205	38.29	39.42	37.955
19/12/2005	1000	37.84	36.765	37.87	38.865	37.49
21/12/2006	1000	33.75	33.015	33.57	34.375	33.56
22/12/2006	1000	35.26	34.36	35.02	35.785	34.94
23/12/2006	1000	35.365	34.425	35	35.835	34.99
25/12/2005	1000	28.665	28.015	28.135	29.78	28.245
26/12/2005	1000	35.485	34.67	35.1	33.85	35.15
27/12/2005	1000	32.53	31.63	32.105	31.96	32.03
28/12/2005	1000	29.08	28.455	28.775	29.02	29.105
29/12/2005	1000	35.835	35.005	35.775	36.835	35.49
30/12/2005	1000	37.65	36.54	37.53	39.055	37.22
31/12/2005	1000	35.765	34.755	35.48	36.06	35.26
1/1/2006	1000	32.455	31.515	32.29	33.82	31.985
11/1/2006	1000	34.845	33.595	34.595	37.53	34.435
12/1/2006	1000	33.165	32.14	33.195	36.1	32.545
13/1/2006	1000	35.455	34.45	35.36	37.115	35.305
17/1/2006	1000	32.035	31.275	31.86	32.52	31.915
18/1/2006	1000	28.075	27.565	28.255	28.645	28.07
19/1/2006	1000	34.36	32.77	34.18	37.875	34.05
21/1/2006	1000	35.755	34.7	35.31	35.9	35.48
22/1/2006	1000	33.245	32.46	33.185	34.565	33.265
23/1/2006	1000	35.175	34.295	35.065	35.815	34.99
24/1/2006	1000	34.73	33.99	34.81	35.44	34.49
25/1/2006	1000	33.875	33.375	33.945	33.94	33.735
31/1/2006	1000	34.965	34.3	34.665	34.895	35.07
1/2/2006	1000	31.44	30.78	31.315	32.265	31.46
2/2/2006	1000	35.12	34.175	34.82	35.95	34.88
3/2/2006	1000	35.595	34.4	35.175	36.84	35.38

Data	Hora	Temperatura °C				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de barro	Bacia de alumínio	Telha de amianto
4/2/2006	1000	32.95	31.535	32.475	33.585	32.715
14/2/2006	1000	30.875	30.535	31.155	31.86	31.225
15/2/2006	1000	36.2	35.145	36.205	37.765	36.225
13/12/2005	1100	38.52	37.86	38.705	39.88	38.355
14/12/2005	1100	38.865	38.085	39.03	40.64	38.79
15/12/2005	1100	38.12	37.34	38.18	39.8	37.99
16/12/2005	1100	39.415	38.59	39.455	41.18	39.09
17/12/2005	1100	40.185	39.335	40.15	41.625	39.875
18/12/2005	1100	40.66	39.795	40.665	42.615	40.265
19/12/2005	1100	40.55	39.69	40.56	42.43	40.125
21/12/2006	1100	35.915	35.445	35.75	36.23	35.595
22/12/2006	1100	35.615	34.99	35.31	35.49	35.195
23/12/2006	1100	38.935	38.045	38.6	40.195	38.44
25/12/2005	1100	31.55	30.965	31.145	32.67	31.41
26/12/2005	1100	38.26	37.315	37.875	37.305	37.82
27/12/2005	1100	35.815	34.72	35.345	34.695	35.24
28/12/2005	1100	32.565	31.22	32.58	32.035	32.745
29/12/2005	1100	37.73	37.135	37.71	39.2	37.29
30/12/2005	1100	40.155	39.26	40.035	42.425	39.505
31/12/2005	1100	38.785	37.725	38.505	40.29	38.19
1/1/2006	1100	35.505	34.46	35.27	37.18	35.095
11/1/2006	1100	36.89	35.825	36.68	39.545	36.525
12/1/2006	1100	36.98	35.8	36.895	40.55	36.425
13/1/2006	1100	38.86	38.005	38.89	41.84	38.685
17/1/2006	1100	36.32	35.195	36.135	37.935	36.05
18/1/2006	1100	30.71	30.095	30.825	31.635	30.57
19/1/2006	1100	38.8	37.115	38.565	41.95	38.355
21/1/2006	1100	36.515	35.625	36.175	36.86	36.22
22/1/2006	1100	38.13	37.115	38.125	40.285	37.97
23/1/2006	1100	38.525	37.565	38.475	39.585	38.25
24/1/2006	1100	38.595	37.71	38.755	40.2	38.275
25/1/2006	1100	36.805	36.095	36.745	37.085	36.61
31/1/2006	1100	37.565	36.85	37.305	37.615	37.475
1/2/2006	1100	34.365	33.4	34.165	35.895	34.25

Data	Hora	Temperatura °C				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de barro	Bacia de alumínio	Telha de amianto
2/2/2006	1100	39.67	38.355	39.185	41.835	39.195
3/2/2006	1100	39.755	38.205	39.105	41.88	39.26
4/2/2006	1100	36.27	34.43	35.555	39.84	35.825
14/2/2006	1100	32.425	32.06	33.69	33.405	33.1
15/2/2006	1100	40.49	39.365	40.585	44.13	40.66
13/12/2005	1200	40.46	39.95	40.61	42.465	40.235
14/12/2005	1200	41.29	40.735	41.405	43.67	41.2
15/12/2005	1200	40.315	39.855	40.325	42.27	40.12
16/12/2005	1200	41.03	40.48	41.01	43.03	40.7
17/12/2005	1200	42.06	41.44	41.965	44.06	41.705
18/12/2005	1200	42.315	41.735	42.21	44.49	41.86
19/12/2005	1200	42.52	41.96	42.365	44.59	41.97
21/12/2006	1200	37.29	36.815	37.235	38.565	37.01
22/12/2006	1200	38.025	37.12	37.68	39.11	37.535
23/12/2006	1200	40.68	40.02	40.355	42.475	40.065
25/12/2005	1200	35.81	35.09	35.455	35.95	35.59
26/12/2005	1200	40.29	39.74	39.94	39.15	39.745
27/12/2005	1200	38.745	37.805	38.31	36.2	38.05
28/12/2005	1200	32.74	32.9	32.91	33.835	32.975
29/12/2005	1200	39.53	39.105	39.54	41.37	39
30/12/2005	1200	40.75	40.345	40.735	42.82	40.11
31/12/2005	1200	41.02	40.25	40.85	43.41	40.405
1/1/2006	1200	39.62	38.515	39.33	41.91	39.11
11/1/2006	1200	38.935	37.96	38.685	42.29	38.585
12/1/2006	1200	39.16	38.13	38.985	42.835	38.8
13/1/2006	1200	40.68	40.14	40.755	44.07	40.5
17/1/2006	1200	39.875	38.88	39.74	41.775	39.49
18/1/2006	1200	35.98	34.67	36.03	37.595	35.955
19/1/2006	1200	41.17	39.765	40.885	42.86	40.615
21/1/2006	1200	39.415	38.55	38.965	40.795	38.955
22/1/2006	1200	40.885	39.915	40.335	42.805	40.52
23/1/2006	1200	39.68	38.91	39.285	40.12	39.31
24/1/2006	1200	41.22	40.36	41.065	42.79	40.88
25/1/2006	1200	38.38	37.825	38.465	38.945	38.115

Data	Hora	Temperatura °C				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de barro	Bacia de alumínio	Telha de amianto
31/1/2006	1200	39.53	38.745	39.145	39.92	39.055
1/2/2006	1200	37.695	36.85	37.46	38.805	37.31
2/2/2006	1200	42.875	41.685	42.345	45.195	42.205
3/2/2006	1200	42.175	40.855	41.515	44.305	41.63
4/2/2006	1200	40.135	38.535	39.59	43.145	39.435
14/2/2006	1200	34.4	34.095	36.195	36.815	34.895
15/2/2006	1200	43.43	42.635	43.48	47.605	43.645
13/12/2005	1300	41.125	40.77	41.07	42.505	40.56
14/12/2005	1300	42.46	42.115	42.385	43.97	42.105
15/12/2005	1300	41.66	41.35	41.485	42.975	41.14
16/12/2005	1300	41.98	41.685	41.79	43.315	41.355
17/12/2005	1300	43.055	42.655	42.82	44.615	42.44
18/12/2005	1300	43.045	42.635	42.74	44.525	42.285
19/12/2005	1300	43.545	43.27	43.205	44.95	42.79
21/12/2006	1300	40.715	40.2	40.455	41.865	40.11
22/12/2006	1300	40.6	39.925	40.185	41.24	39.875
23/12/2006	1300	41.56	41.215	41.22	42.755	40.75
25/12/2005	1300	39.205	38.475	38.825	37.725	38.775
26/12/2005	1300	41.775	41.35	41.44	42.34	41.055
27/12/2005	1300	40.87	40.08	40.385	37.92	40.055
28/12/2005	1300	34.405	34.565	34.435	34.55	34.185
29/12/2005	1300	40.93	40.41	40.885	42.705	40.225
30/12/2005	1300	41.715	41.4	41.66	43.35	40.92
31/12/2005	1300	41.995	41.54	41.845	43.98	41.17
1/1/2006	1300	38.34	37.665	38.04	38.8	37.75
11/1/2006	1300	40.45	39.615	40.125	43.35	39.95
12/1/2006	1300	40.185	39.62	40.065	43.19	39.75
13/1/2006	1300	41.84	41.59	41.93	44.73	41.56
17/1/2006	1300	41.435	40.76	41.31	42.8	40.945
18/1/2006	1300	39.665	38.455	39.63	40.545	39.62
19/1/2006	1300	42.055	41.01	41.82	41.92	41.42
21/1/2006	1300	41.54	40.675	41.035	42.445	41.115
22/1/2006	1300	42.165	41.28	41.58	43.17	41.89
23/1/2006	1300	40.085	39.32	39.77	40.085	39.685

Data	Hora	Temperatura °C				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de barro	Bacia de alumínio	Telha de amianto
24/1/2006	1300	40.645	39.96	40.42	40.89	40.245
25/1/2006	1300	40.02	39.345	39.93	40.135	39.72
31/1/2006	1300	42.565	41.6	41.625	43.01	41.68
1/2/2006	1300	37.89	37.49	37.595	38	37.465
2/2/2006	1300	44.155	43.115	43.525	45.31	43.325
3/2/2006	1300	43.745	42.57	43.035	44.765	43.02
4/2/2006	1300	42.175	40.825	41.595	43.985	41.38
14/2/2006	1300	37.01	36.64	37.225	39.43	37.43
15/2/2006	1300	44.325	43.765	44.235	48.01	44.485
13/12/2005	1400	41.295	41.055	41.14	41.885	40.535
14/12/2005	1400	42.37	42.225	42.22	42.91	41.73
15/12/2005	1400	41.06	41.105	40.905	41.11	40.475
16/12/2005	1400	42.235	41.925	41.99	42.84	41.41
17/12/2005	1400	43.39	43.145	43.08	44.04	42.54
18/12/2005	1400	43.325	43.005	43.02	43.9	42.41
19/12/2005	1400	43.585	43.42	43.24	44.075	42.62
21/12/2006	1400	41.7	41.475	41.475	41.815	40.995
22/12/2006	1400	40.18	39.78	39.815	40.07	39.33
23/12/2006	1400	41.485	41.275	41.21	41.905	40.455
25/12/2005	1400	40.36	39.875	40.06	37.285	39.735
26/12/2005	1400	41.915	41.83	41.6	41.715	41.05
27/12/2005	1400	40.495	40.155	40.085	36.18	39.555
28/12/2005	1400	33.09	33.41	33.125	32.78	32.795
29/12/2005	1400	41.55	41.115	41.58	42.8	40.685
30/12/2005	1400	42.165	41.905	42.12	43.265	41.205
31/12/2005	1400	42.215	42	42.115	43	41.275
1/1/2006	1400	35.705	35.47	35.445	35.24	35.15
11/1/2006	1400	41	40.41	40.8	42.805	40.23
12/1/2006	1400	40.87	40.45	40.82	42.885	40.22
13/1/2006	1400	42.505	42.27	42.585	44.345	41.98
17/1/2006	1400	42.2	41.61	42.09	42.43	41.505
18/1/2006	1400	39.19	38.21	38.88	38.535	38.67
19/1/2006	1400	42.53	41.795	42.33	40.58	41.725
21/1/2006	1400	42.285	41.44	41.685	41.995	41.545

Data	Hora	Temperatura °C				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de barro	Bacia de alumínio	Telha de amianto
22/1/2006	1400	42.585	41.675	41.95	42.295	41.935
23/1/2006	1400	40.4	39.625	40.02	39.605	39.875
24/1/2006	1400	41.455	40.425	41.185	41.11	40.865
25/1/2006	1400	42.24	41.2	42.09	42.06	41.79
31/1/2006	1400	43.675	42.925	42.81	43.145	42.47
1/2/2006	1400	37.76	37.305	37.46	37.675	37.26
2/2/2006	1400	44.1	43.305	43.49	43.87	43.065
3/2/2006	1400	44.635	43.57	43.98	44.56	43.765
4/2/2006	1400	43.1	41.9	42.505	43.46	42.17
14/2/2006	1400	37.6	37.565	37.65	39.05	37.825
15/2/2006	1400	44.08	43.69	43.98	46.645	43.82
13/12/2005	1500	41.05	40.85	40.825	40.645	40.205
14/12/2005	1500	41.83	41.69	41.605	41.38	41.005
15/12/2005	1500	39.85	39.895	39.675	38.96	39.15
16/12/2005	1500	42.065	41.795	41.77	41.44	41.16
17/12/2005	1500	42.605	42.455	42.22	41.95	41.6
18/12/2005	1500	42.945	42.67	42.575	42.435	41.955
19/12/2005	1500	42.88	42.78	42.46	42.255	41.81
21/12/2006	1500	38.885	39.34	38.72	37.855	38.25
22/12/2006	1500	40.635	40.355	40.38	39.955	39.805
23/12/2006	1500	40.59	40.565	40.35	39.98	39.595
25/12/2005	1500	40.685	40.27	40.235	36.29	39.865
26/12/2005	1500	41.05	41.03	40.675	40.09	40.105
27/12/2005	1500	38.67	38.665	38.27	34.095	37.7
28/12/2005	1500	32.05	32.36	32.055	31.53	31.74
29/12/2005	1500	40.815	40.615	40.91	41.05	39.89
30/12/2005	1500	41.69	41.49	41.69	41.755	40.65
31/12/2005	1500	41.23	41.115	41.155	41.22	40.26
1/1/2006	1500	33.95	33.825	33.69	33.23	33.435
11/1/2006	1500	41.115	40.595	40.99	41.835	40.27
12/1/2006	1500	40.81	40.505	40.795	41.56	39.975
13/1/2006	1500	42.01	41.855	42.12	42.6	41.355
17/1/2006	1500	41.655	41.51	41.995	40.785	41.035

Data	Hora	Temperatura °C				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de barro	Bacia de alumínio	Telha de amianto
18/1/2006	1500	36.13	35.355	35.735	34.865	35.4
19/1/2006	1500	42.62	41.605	42.47	39.28	41.745
21/1/2006	1500	42.04	41.365	41.44	40.63	41.285
22/1/2006	1500	42.115	41.455	41.51	40.82	41.43
23/1/2006	1500	40.58	39.765	40.05	38.94	39.925
24/1/2006	1500	41.655	40.58	41.165	40.345	40.94
25/1/2006	1500	41.705	40.87	41.26	40.3	41.09
31/1/2006	1500	42.705	42.12	41.82	41.205	41.45
1/2/2006	1500	38.565	38.1	38.235	37.905	37.93
2/2/2006	1500	43.93	43.135	43.32	42.465	42.675
3/2/2006	1500	44.415	43.445	43.715	42.95	43.27
4/2/2006	1500	43.23	42.18	42.575	42.33	42.12
14/2/2006	1500	37.405	37.455	37.51	38.315	37.59
<b>Média</b>		<b>37.9345</b>	<b>37.2568</b>	<b>37.7423</b>	<b>38.5662</b>	<b>37.4963</b>
<b>Desvio padrão</b>		<b>4.3788</b>	<b>4.4165</b>	<b>4.3037</b>	<b>4.6812</b>	<b>4.1689</b>

## APÊNDICE C

---

Dados climatológicos

**Tabela C 1** - Temperatura do ar (°C) e radiação solar global (W/m<sup>2</sup>) durante os ensaios da etapa de agitação

<b>ETAPA DE AGITAÇÃO</b>						
<b>Hora</b>	<b>21/11/2005</b>		<b>6/12/2005</b>		<b>8/12/2005</b>	
	<b>Temperatura do ar (°C)</b>	<b>Radiação solar global (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura do ar (°C)</b>	<b>Radiação solar global (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura do ar (°C)</b>	<b>Radiação solar global (W/m<sup>2</sup>)</b>
<b>09:00</b>	<b>28,95</b>	<b>617,5</b>	<b>29,32</b>	<b>692,5</b>	<b>28,96</b>	<b>483,3</b>
09:30	29,41	768	29,84	818	29,72	732
<b>10:00</b>	<b>29,57</b>	<b>836</b>	<b>30,4</b>	<b>884</b>	<b>29,47</b>	<b>622,6</b>
10:30	29,87	921	30,2	577,2	29,29	438,8
<b>11:00</b>	<b>30,14</b>	<b>972</b>	<b>30,33</b>	<b>857</b>	<b>29,86</b>	<b>706</b>
11:30	30,37	851	30,96	921	29,92	628,8
<b>12:00</b>	<b>30,65</b>	<b>981</b>	<b>30,34</b>	<b>524,2</b>	<b>30,19</b>	<b>865</b>
12:30	30,31	895	30,59	840	30,49	774
<b>13:00</b>	<b>30,58</b>	<b>928</b>	<b>30,8</b>	<b>880</b>	<b>30,54</b>	<b>835</b>
13:30	30,56	815	30,5	819	30,59	849
<b>14:00</b>	<b>30,27</b>	<b>750</b>	<b>30,23</b>	<b>798</b>	<b>30,29</b>	<b>715</b>
14:30	30,15	657	30,02	662,9	30,15	573,9
<b>15:00</b>	<b>29,84</b>	<b>531,8</b>	<b>29,66</b>	<b>588,9</b>	<b>29,99</b>	<b>544,2</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>30,05</b>	<b>809,48</b>	<b>30,25</b>	<b>758,67</b>	<b>29,96</b>	<b>674,43</b>

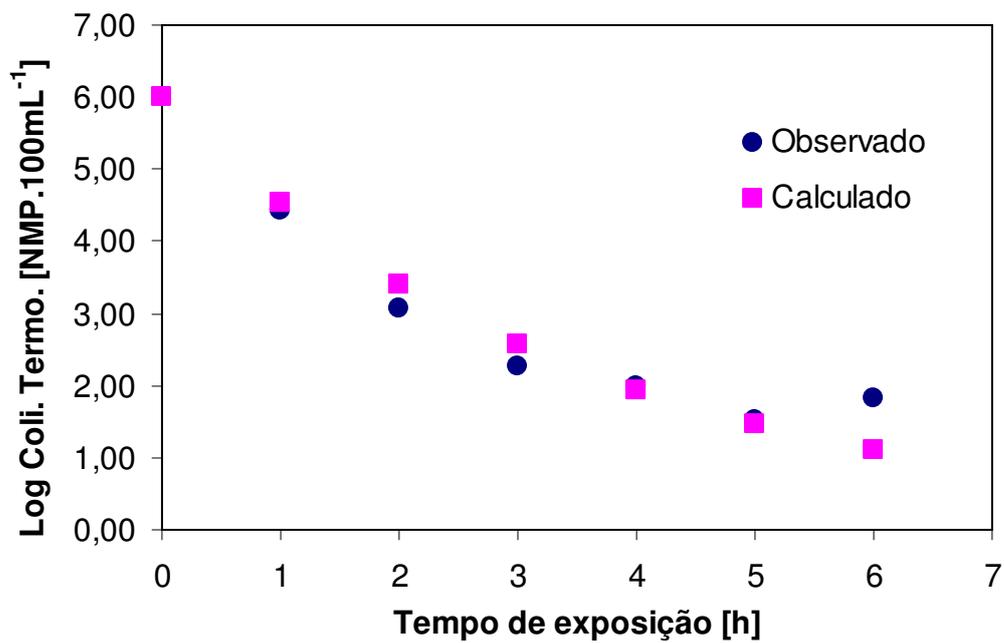
**Tabela C 2** - Temperatura do ar (°C) e radiação solar global (W/m<sup>2</sup>) durante os ensaios da etapa de superfície

<b>ETAPA SUPERFÍCIE</b>						
<b>Hora</b>	<b>18/1/2006</b>		<b>31/1/2006</b>		<b>14/2/2006</b>	
	<b>Temperatura do ar (°C)</b>	<b>Radiação solar global (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura do ar</b>	<b>Radiação solar global (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura do ar</b>	<b>Radiação solar global (W/m<sup>2</sup>)</b>
<b>09:00</b>	<b>23,72</b>	<b>322,3</b>	<b>28,9</b>	<b>561,4</b>	<b>21,19</b>	<b>647,9</b>
09:30	23,99	462,4	28,92	484,6	24,23	479,3
<b>10:00</b>	<b>25,46</b>	<b>508,5</b>	<b>29,15</b>	<b>616,3</b>	<b>25,44</b>	<b>362,8</b>
10:30	26,66	251,7	29,47	715	27	817
<b>11:00</b>	<b>27,63</b>	<b>686,6</b>	<b>29,77</b>	<b>692,9</b>	<b>24,19</b>	<b>382,4</b>
11:30	28,95	977	29,52	705	25,28	1014
<b>12:00</b>	<b>29,48</b>	<b>903</b>	<b>29,61</b>	<b>921</b>	<b>26,02</b>	<b>813</b>
12:30	29,93	994	30,04	1016	26,74	818
<b>13:00</b>	<b>30</b>	<b>752</b>	<b>30,39</b>	<b>947</b>	<b>27,36</b>	<b>771</b>
13:30	29,73	743	30,66	916	27,72	598,2
<b>14:00</b>	<b>29,01</b>	<b>320,6</b>	<b>30,24</b>	<b>782</b>	<b>27,42</b>	<b>447,6</b>
14:30	28,56	299,4	30,12	746	27,11	512,7
<b>15:00</b>	<b>28,25</b>	<b>236,2</b>	<b>29,79</b>	<b>664</b>	<b>27,26</b>	<b>487,4</b>
<b>MÉDIA</b>	<b>27,80</b>	<b>573,59</b>	<b>29,74</b>	<b>751,32</b>	<b>25,92</b>	<b>627,02</b>

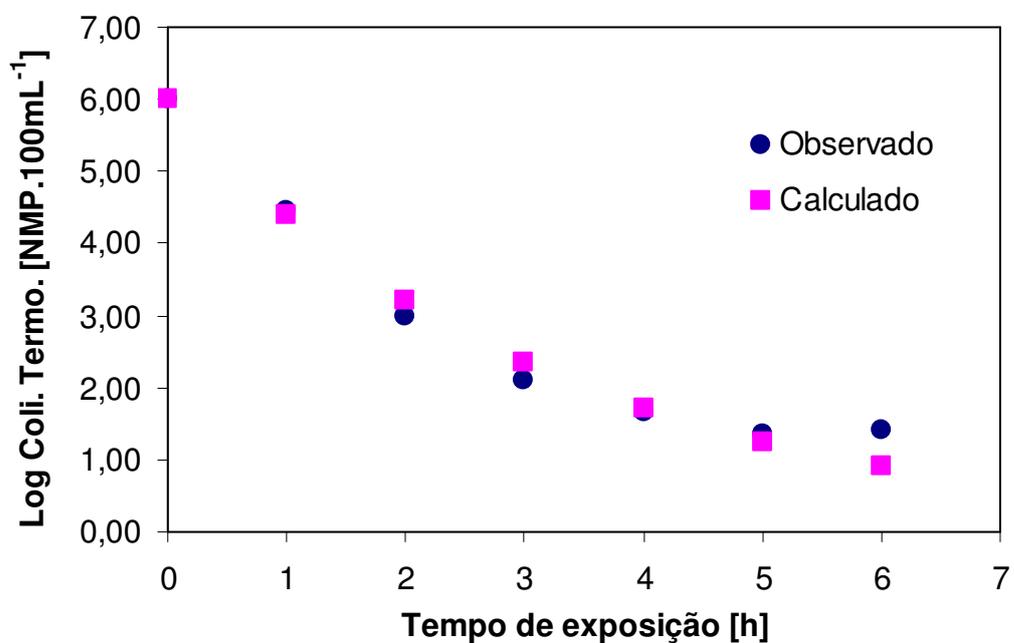
## APÊNDICE D

---

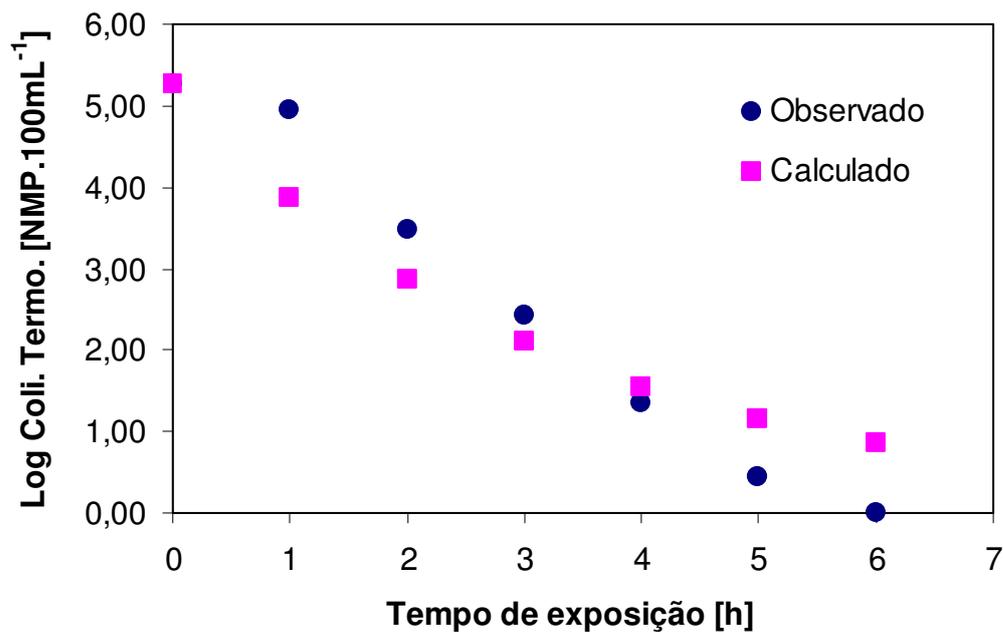
Modelo cinético de 1º ordem



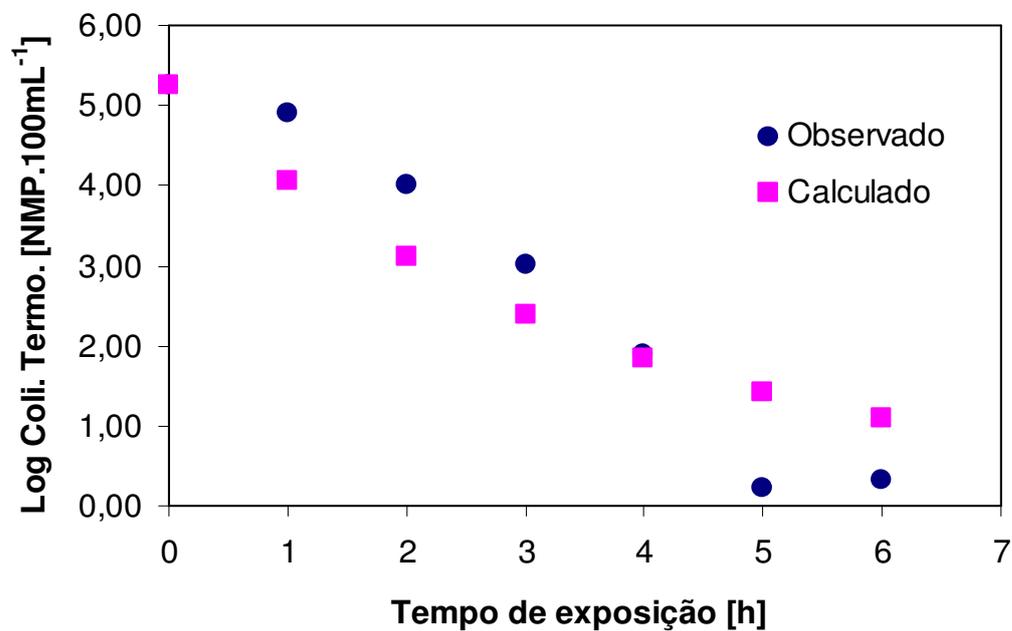
**Figura D 1** – Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras não agitadas. Teste estatístico (t de Student):  $p = 0,961$ .



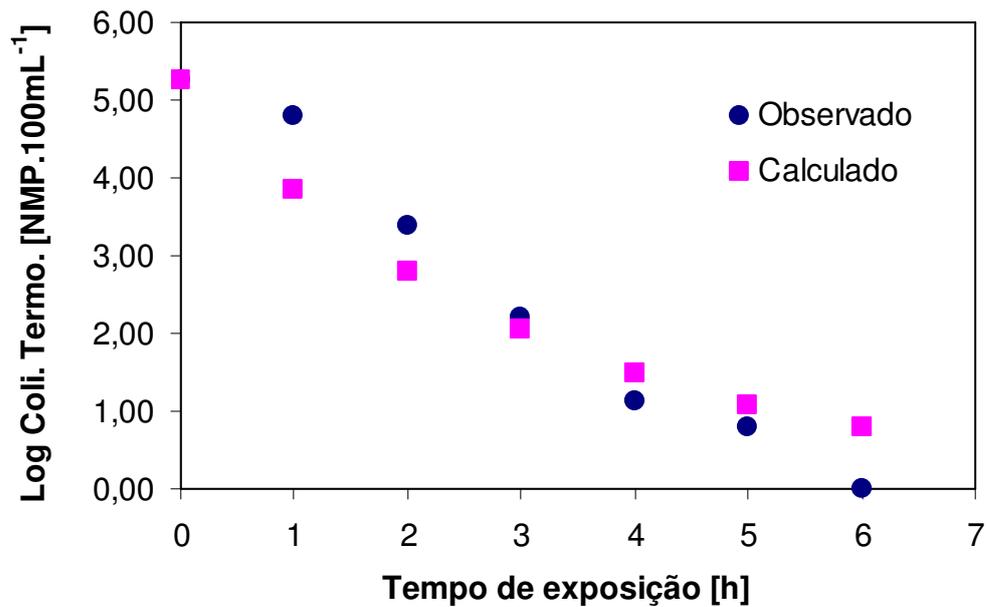
**Figura D 2** - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras agitadas. Teste estatístico (t de Student):  $p = 0,956$ .



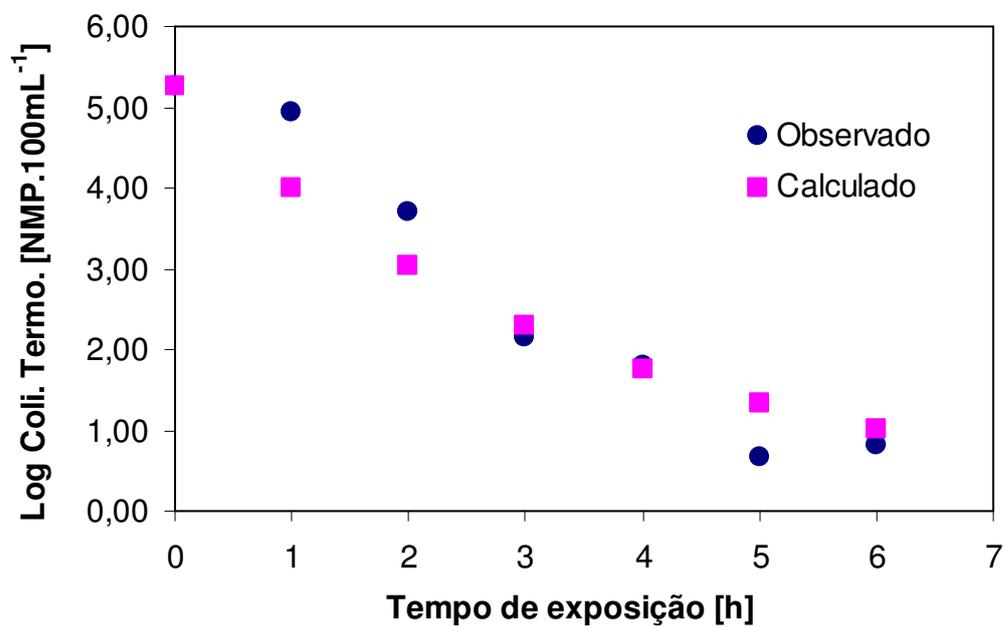
**Figura D 3** - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre concreto pintado de branco. Teste estatístico (t de Student):  $p = 0,845$ .



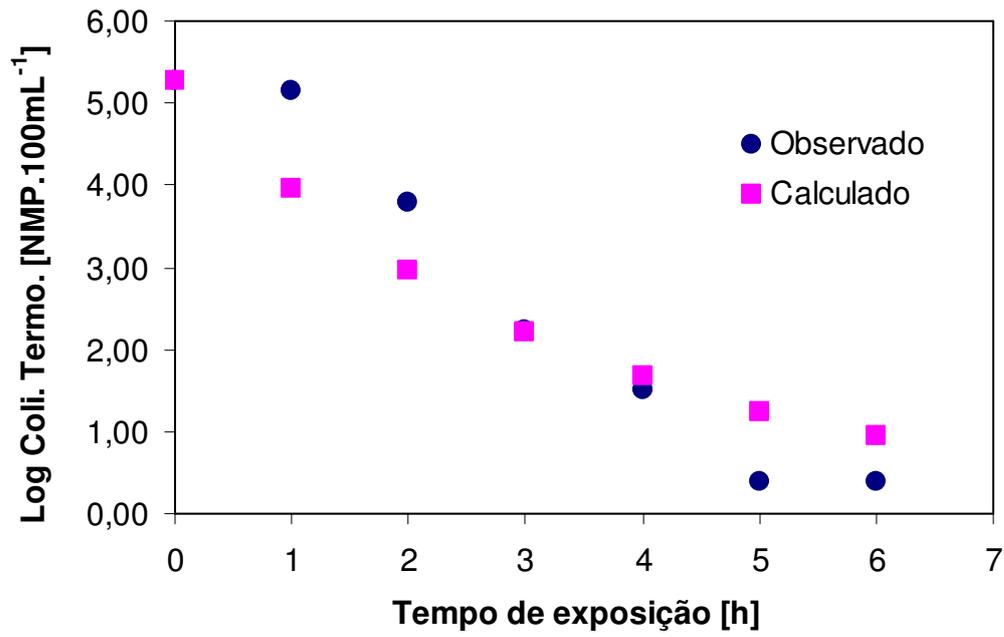
**Figura D 4** - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre concreto pintado de preto. Teste estatístico (t de Student):  $p = 0,752$



**Figura D 5** - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre telha de amianto. Teste estatístico (t de Student):  $p = 0,915$ .



**Figura D 6** - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre telha de barro. Teste estatístico (t de Student):  $p = 0,680$ .



**Figura D 7** - Validação do modelo cinético de 1º ordem – amostras expostas sobre bacia de alumínio. Teste estatístico (t de Student):  $p = 0,828$ .

## **APÊNDICE E**

---

Testes estatísticos

**Tabela E 1** - Teste de curtose dos dados de OD e coliformes termotolerantes para verificação da normalidade (etapa de agitação)

Data	Tempo	Oxigênio Dissolvido (mg/L)		Log <sub>10</sub> Coliformes termotolerante (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	
		Agitada	Não Agitada	Agitada	Não agitada
22/11/2005	0	5,81	4,49	-	-
	1	5,39	4,34	5,04	4,95
	2	5,05	4,12	3,11	3,34
	3	4,95	4,07	2,11	2,90
	4	5,01	3,95	1,60	2,11
	5	4,95	3,96	1,36	1,70
	6	4,7	3,7	1,48	2,04
6/12/2005	0	6,46	5,47	-	-
	1	6,28	5,22	4,43	4,85
	2	5,7	4,98	3,48	3,36
	3	5,56	4,93	2,48	2,43
	4	5,48	4,63	2,48	2,70
	5	5,08	4,39	2,70	1,70
	6	5,2	4,46	2,15	2,95
8/12/2005	0	6,95	6,73	-	-
	1	6,57	6,23	3,90	3,48
	2	6,44	6,14	2,38	2,48
	3	6,37	6,12	1,70	1,48
	4	6,29	6,05	0,90	1,11
	5	6,24	5,82	0,00	1,11
	6	6,14	5,81	0,60	0,30
<b>Curtose</b>		-1,3399	-1,2769	-0,0923	0,0999
<b>Teste de Normalidade</b>		<b>-1,3946</b>	<b>-1,3290</b>	<b>-0,0960</b>	<b>0,1040</b>

**Tabela E 2** - Teste da curtose dos dados de temperatura da água para verificação da normalidade (etapa de superfície)

Data	Tempo	Temperatura [°C]				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de Amianto	Telha de barro	Bacia de alumínio
<b>18/1/2006</b>	0	25,24	24,97	25,63	24,785	25,01
	1	28,08	27,57	28,26	28,65	28,07
	2	30,71	30,10	30,83	31,64	30,57
	3	35,98	34,67	36,03	37,60	35,96
	4	39,67	38,46	39,63	40,55	39,62
	5	39,19	38,21	38,88	38,54	38,67
	6	36,13	35,36	35,74	34,87	35,40
<b>31/1/2006</b>	0	32,32	31,55	32,15	32,31	32,20
	1	34,97	34,30	34,67	34,90	35,07
	2	37,57	36,85	37,31	37,62	37,48
	3	39,53	38,75	39,15	39,92	39,06
	4	42,57	41,60	41,63	43,01	41,68
	5	43,68	42,93	42,81	43,15	42,47
	6	42,71	42,12	41,82	41,21	41,45
<b>14/2/2006</b>	0	28,89	28,52	28,76	29,44	28,91
	1	30,88	30,54	31,16	31,86	31,23
	2	32,43	32,06	33,69	33,41	33,10
	3	34,40	34,10	36,20	36,82	34,90
	4	37,01	36,64	37,23	39,43	37,43
	5	37,60	37,57	37,65	39,05	37,83
	6	37,41	37,46	37,51	38,32	37,59
<b>Curtose</b>		-0,7450	-0,7384	-0,6299	-0,8486	-0,7252
<b>Teste de Normalidade</b>		-0,7755	-0,7686	-0,6556	-0,8832	-0,7548

**Tabela E 3** - Teste da curtose dos dados de coliformes termotolerantes para verificação da normalidade (etapa de superfície)

Data	Tempo	Log <sub>10</sub> coliformes termotolerante (NMP/100mL)				
		Concreto branco	Concreto preto	Telha de Amianto	Telha de barro	Bacia de alumínio
18/1/2006	1	4,95	5,11	4,48	5,20	5,20
	2	3,38	3,70	2,48	3,95	3,95
	3	2,11	3,20	2,11	2,11	1,36
	4	1,70	2,48	1,70	2,11	1,23
	5	1,32	0,00	1,90	0,00	0,30
	6	0,00	0,00	0,00	0,60	0,60
31/1/2006	1	4,70	4,90	5,20	4,70	5,95
	2	3,70	3,95	3,48	3,11	3,45
	3	2,70	2,34	2,23	1,90	2,95
	4	0,90	1,70	1,70	1,11	2,11
	5	0,00	0,60	0,30	0,30	0,60
	6	0,00	0,90	0,00	0,30	0,30
14/2/2006	1	5,20	4,70	4,70	4,90	5,11
	2	3,38	4,38	4,20	4,04	3,95
	3	2,48	3,48	2,23	2,38	2,36
	4	1,36	1,48	0,00	2,11	1,11
	5	0,00	0,00	0,00	1,48	0,00
	6	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00
<b>Curtose</b>		-1,1400	-1,5225	-1,0692	-1,0062	-1,0184
<b>Teste de Normalidade</b>		-1,1865	-1,5847	-1,1128	-1,0473	-1,0600

**Tabela E 4** - Resultados do teste estatístico de comparação das médias de temperatura (A) e inativação (B) entre amostras agitadas e não agitadas

<b>Claim</b>	$\mu_d = 0$	<b>A</b>	<b>Claim</b>	$\mu_d = 0$	<b>B</b>
<b>Sample Size, n</b>	21		<b>Sample Size, n</b>	18	
<b>Diff. Mean, <math>\bar{x}_d</math></b>	0.7148		<b>Diff. Mean, <math>\bar{x}_d</math></b>	-0.1717	
<b>Diff. St Dev, <math>s_d</math></b>	0.3379		<b>Diff. St Dev, <math>s_d</math></b>	0.5045	
<b>Test Statistic, t</b>	9.6927		<b>Test Statistic, t</b>	-1.4437	
<b>Critical t</b>	$\pm 2.0860$		<b>Critical t</b>	$\pm 2.1098$	
<b>P-Value</b>	0.0000		<b>P-Value</b>	0.1670	
<b>95% Confidence Interval:</b>			<b>95% Confidence Interval:</b>		
0.5609 < $\mu_d$ < 0.8686			-0.4225 < $\mu_d$ < 0.0792		
<b>Reject the Null Hypothesis</b>			<b>Fail to Reject the Null Hypothesis</b>		
<b>Sample provides evidence to reject the claim</b>			<b>Sample does not provide enough evidence to reject the claim</b>		

**Tabela E 5** - Resultados do teste estatístico de comparação das médias de temperatura entre as amostras sobre as superfícies bacia de alumínio e concreto preto (A), telha de amianto e concreto preto (B) e inativação entre as amostras sobre telha de amianto e concreto preto (C).

<b>Claim</b>	$\mu_d = 0$	<b>A</b>	<b>Claim</b>	$\mu_d = 0$	<b>B</b>	<b>Claim</b>	$\mu_d = 0$	<b>C</b>
<b>Sample Size, n</b>	<b>21</b>		<b>Sample Size, n</b>	<b>21</b>		<b>Sample Size, n</b>	<b>18</b>	
<b>Diff. Mean, <math>\bar{x}_d</math></b>	<b>-0.4469</b>		<b>Diff. Mean, <math>\bar{x}_d</math></b>	<b>-0.4469</b>		<b>Diff. Mean, <math>\bar{x}_d</math></b>	<b>-0.3450</b>	
<b>Diff. St Dev, <math>s_d</math></b>	<b>0.4863</b>		<b>Diff. St Dev, <math>s_d</math></b>	<b>0.4863</b>		<b>Diff. St Dev, <math>s_d</math></b>	<b>0.7730</b>	
<b>Test Statistic, t</b>	<b>-4.2110</b>		<b>Test Statistic, t</b>	<b>-4.2110</b>		<b>Test Statistic, t</b>	<b>-1.8936</b>	
<b>Critical t</b>	<b><math>\pm 2.0860</math></b>		<b>Critical t</b>	<b><math>\pm 2.0860</math></b>		<b>Critical t</b>	<b><math>\pm 2.1098</math></b>	
<b>P-Value</b>	<b>0.0004</b>		<b>P-Value</b>	<b>0.0004</b>		<b>P-Value</b>	<b>0.0754</b>	
<b>95% Confidence Interval:</b>			<b>95% Confidence Interval:</b>			<b>95% Confidence Interval:</b>		
<b><math>-0.6683 &lt; \mu_d &lt; -0.2255</math></b>			<b><math>-0.6683 &lt; \mu_d &lt; -0.2255</math></b>			<b><math>-0.7294 &lt; \mu_d &lt; 0.0394</math></b>		
<b>Reject the Null Hypothesis</b>			<b>Reject the Null Hypothesis</b>			<b>Fail to Reject the Null Hypothesis</b>		
<b>Sample provides evidence to reject the claim</b>			<b>Sample provides evidence to reject the claim</b>			<b>Sample does not provide enough evidence to reject the claim</b>		

## **APÊNDICE F**

---

Questionários aplicados

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Município:	Distrito:	Bairro:	Localidade:
Data do Relatório:	dd mm aa	Hora:	Fotos: de _____ a _____
Endereço Domicílio:			Nº QUEST*
Entrevistador			

\* sigla do lugar (PCV, CAM, NES, CD), primeira letra do nome do entrevistador / Nº do questionário

**A. QUESTIONÁRIO DOMICILIAR**

I. CARACTERIZAÇÃO DO ENTREVISTADO E MORADORES							
NOME: _____ SEXO: 1. M 2. F (CHEFE DA FAMÍLIA)						S:	
ESCOLARIDADE: 1. Analfabeto 2. 1º Grau Incompleto 3. 1º Grau Completo		4. 2º Grau Incompleto 5. 2º Grau Completo 6. Superior Incompleto		7. Superior Completo 8. Técnico Incompleto 9. Técnico Completo		E:	
1.1 Sempre morou nesta localidade ?				1. SIM      2. NÃO		1.1	
1.2 Desde quando mora nesta localidade ? _____ / _____ mm aa						1.2	
1.3 De onde veio? 1. Outra casa na mesma localidade 2. Outra casa no mesmo município		3. Outra cidade 4. Qual? _____ UF _____				1.3	
1.4 Morava em condições melhores ou piores que as atuais?				1. PIORES      2. MELHORES		1.4	
1.5 A sua casa é:				1. Própria      2. Alugada      3. Cedida      4. Outra Condição		1.5	
Qual? _____							
1.6 Quanto pagou de aluguel no mês passado? R\$						1.6	
1.7 MORADORES DA CASA (ler as alternativas)							
	NOME	Relação com o chefe 1. marido/mulher 2. filho(a) 3. Parentes 4. Agregados 5. Locatários 6. Empregado	Idade	Ocupação principal  anotar a profissão explicada em 1 ou 2 palavras	Condição de Ocupação  1. com carteira 2. sem carteira 3. autônomo 4. aposentado 5. desempregado	Rendimentos da ocupação principal  Rendimento bruto, sem descontos	Instrução 1. Analfabeto 2. 1º Grau Incompleto 3. 1º Grau Completo 4. 2º Grau Incompleto 5. 2º Grau Completo 6. Superior Incompleto 7. Superior Completo 8. Técnico Incompleto 9. Técnico Completo
1		chefe					
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

II. DESCRIÇÃO DO LOTE	
2.1 Delimitação do lote (admite respostas múltiplas) 1. Sem delimitação 2. Cerca e arame 3. Muro 4. Recurso natural 5. Vegetação 6. Outra Qual? _____ * admite respostas múltiplas	2.1
Dimensões do lote	
2.2 Testada _____	2.2
2.3 Comprimento _____	2.3
2.4 Fundos _____	2.4
2.5 Área _____	2.5
Acesso ao lote	
2.7 Largura do leito carroçável da via de acesso ao lote _____	2.7
2.8 Calçada direita _____	2.8
2.9 Calçada esquerda _____	2.9
2.10 Pavimentação 1. Asfalto 2. Calçamento 3. Piçarra 4. Outro _____	2.10
2.11 Estado de manutenção da via 1. Bom 2. Regular 3. Ruim	2.11
2.12 Dificuldade de acesso ao lote / domicílio 1. Sim 2. Não 3. Mais ou menos 4. Quando chove 5. Não sabe	2.12
2.13 Uso da propriedade (admite múltiplas respostas) 1. residência 2. misto (residência e comércio) 3. agricultura 4. pecuária 5. outro _____	2.13

III. DESCRIÇÃO DO DOMICÍLIO				
3.1 MATERIAIS PREDOMINANTES (observar e fotografar)				
Material da cobertura (MC) 1. Telhado de cerâmica 2. Laje 3. Telhado de Fibro Cimento 4. Outro. Qual? _____	Material das Paredes (MP) 1. Tijolo cerâmico 8 furos 2. Tijolo maciço 3. Pau-a-pique / taipa 4. Madeira 5. Sapê 6. Outro. Qual? _____	Número de Pavimentos (NP) 1. Térreo 2. Sobrado 3. 3 andares 4. 4 andares 5. 5 ou mais andares	Revestimento (MR): 6. Com revestimento interno 7. Sem revestimento interno 8. Com revestimento externo 9. Sem revestimento interno	3.1 MC: MP: NP: MR:
3.2 Altura do pé – direito _____				3.2
3.3 Forro 1. Possui. Qual material? _____		2. Não possui		3.3
3.4 Acha a casa (observar): 1. Quente 2. Ventilada 3. Escura 4. Ensolarada 5. Úmida				
3.5 Área construída _____				3.5
OBSERVAÇÕES				

IV. ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
4.1 Fonte de abastecimento predominante na casa: 1. Rede geral 2. Poço / Nascente 3. Água da Chuva 4. Chafariz 5. Rio / Lago 6. Outra _____	4.1
4.2 Características da água (odor, cor, sabor, turbidez, suspensões – observar e perguntar)	4.2
4.3 Forma predominante de armazenamento: 1. Caixa d'água 2. Cisterna 3. Pote / Recipiente 4. Outro _____	4.3
4.4 Mantém o local de armazenamento tampado? 1. SIM 2. NÃO	4.4
4.5 Realiza limpeza / manutenção do local de armazenamento? 1. SIM 2. NÃO	4.5

4.6 Periodicidade da limpeza do local de armazenamento: 1. Diária 2. Semanal 3. Mensal 4. Semestral 5. Anual 4. Outra 5. Não sabe	4.6
4.7 A água chega em quantidade suficiente na sua casa? 1. SIM 2. NÃO 3. NÃO SABE	4.7
4.8 Falta água em sua casa? 1. SIM 2. NÃO 3. NÃO SABE	4.8
4.9 Quando costuma faltar água? 1. Frequentemente (semanalmente) 4. Sazonalmente (períodos de estiagem) 2. Esporadicamente (mensalmente) 5. Nunca 3. Raramente (poucas vezes ao ano) 6. Não sabe	4.9
4.10 Armazena água para períodos de escassez? 1. SIM Onde? _____ Origem _____ 2. NÃO	4.10
4.11 Faz algum tratamento da água para beber? 1. SIM 2. NÃO	4.11
4.12 Caso SIM, que tipo tratamento?	
1. Cloração 3. Filtro 2. Fervura 4. Filtro de carvão / areia 5. Não Sabe	4.12
4.13 A água que utiliza para beber é a mesma utilizada no banheiro e na cozinha? 1. SIM 2. NÃO	4.13
Caso a resposta seja SIM, passe para a questão 4.22	
4.14 Caso Não, Qual a origem da água utilizada para beber? (não é onde armazena) 1. Rede geral 2. Poço / Nascente 3. Água da Chuva 4. Chafariz 5. Rio / Lago 6. Outra _____	4.14
4.15 Características da água (odor, cor, sabor, turbidez, suspensões – observar e perguntar)	4.15
4.16 Qual a origem da água utilizada para cozinhar (na cozinha / pia da cozinha)? (não é onde armazena) 1. Rede geral 2. Poço / Nascente 3. Água da Chuva 4. Chafariz 5. Rio / Lago 6. Outra _____	4.16
4.17 Tipo de tratamento: 1. Cloração 3. Filtro 6. Não trata 2. Fervura 4. Filtro de carvão / areia 7. Outro _____ 5. Não Sabe	4.17
4.18 Características da água (odor, cor, sabor, turbidez, suspensões – observar e perguntar)	4.18
4.19 Qual a origem da água utilizada no banheiro (higiene pessoal) ? (não é onde armazena) 1. Rede geral 2. Poço / Nascente 3. Água da Chuva 4. Chafariz 5. Rio / Lago 6. Outra _____	4.19
4.20 Tipo de tratamento: 1. Cloração 3. Filtro 6. Não trata 2. Fervura 4. Filtro de carvão / areia 7. Outro _____ 5. Não Sabe	4.20
4.21 Características da água (odor, cor, sabor, turbidez, suspensões – observar e perguntar)	4.21
<b>Somente para domicílios com abastecimento por rede geral (4.22 a 4.27)</b>	
4.22 Quanto pagou pela água no mês passado? R\$ _____	4.22
4.23 O que você acha da tarifa (não ler alternativas) 1. Cara 2. Barata 3. Razoável 4. Não sabe	4.23
4.24 Como estão funcionando os equipamentos e o serviço de água? 1. BEM 2. MAL 3. MAIS OU MENOS 3. NÃO SABE	4.24
4.25 Por que? (sugestões) manutenção pelos moradores execução da obra forma de uso pelos moradores qualidade dos materiais projeto falta de água	4.25
4.26 Como era o abastecimento de água antes da rede geral? 1. Poço / Nascente 2. Água da Chuva 3. Chafariz 4. Rio / Lago 5. Outra _____	4.26
4.27 A instalação da rede geral trouxe melhorias? Quais benefícios? malefícios? _____ 1. SIM 2. NÃO	4.27

V. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS MOLHADAS (BANHEIRO)				
5.1 Tipo de banheiro				5.1
1. Banheiro de alvenaria	2. Fossa negra	3. Banho		
5.2 Localização 1. Fora da casa 2. Dentro da casa 3. Lateral da casa (interno) 4. Lateral (externo)				5.2
5.3 Materiais predominantes (observar e fotografar)				5.3
Material da cobertura (MC)	Material das Paredes (MPA)	Revestimento interno (RI)	Material do Piso (MP)	MC:
1. Telhado de cerâmica	1. Tijolo cerâmico 8 furos	1. Sem revestimento	1. Terra batida	MPA:
2. Laje	2. Tijolo maciço	2. Reboco	2. Areia	RI:
3. Telhado de Fibro Cimento	3. Pau-a-pique / taipa	3. Cerâmica / azulejo	3. Pedra	MP:
4. Palha	4. Madeira		4. Cimentado	
5. Outro. Qual?	5. Palha		5. Cerâmica	
	5. Outro. Qual?			
5.4 Conforto ambiental (observar e fotografar)				5.4
1. Exaustão / Vent. Adequada	3. Iluminação natural adequada	5. Iluminação artificial adequada		
2. Exaustão / Vent. inadequada	4. Iluminação natural inadequada	6. Iluminação artificial inadequada		
5.5 O banheiro possui água contínua?			1. SIM 2. NÃO	5.5

VII. ESGOTAMENTO				
8.1 O destino da água cinza e da água negra é o mesmo? 1. SIM 2. NÃO 3. NÃO SABE				8.1
8.2 Para onde vai a água cinza?		5. Córrego / Rio / lago		8.2
1. Fossa séptica	2. Vala / rede de drenagem	6. Jogado na rua / logradouro		
3. Fossa negra	4. Rede de esgoto	7. Lançado no terreno	8. Reaproveitada. Como? _____	
		9. Não sabe	10. Outro _____	
8.3 Para onde vai a água negra?		5. Córrego / Rio / lago		8.3
1. Fossa séptica	2. Vala / rede de drenagem	6. Jogado na rua / logradouro		
3. Fossa negra	4. Rede de esgoto	7. Lançado no terreno	8. Reaproveitada. Como? _____	
		9. Não sabe	10. Outro _____	
8.4 Está satisfeito com o esgotamento? 1. SIM 2. NÃO 3. NÃO SABE				8.4
8.5 Por que? (admite respostas múltiplas) manutenção pelos moradores forma de uso pelos moradores projeto execução da obra qualidade dos materiais falta de água				8.5
8.6 Está satisfeito com o esgotamento? Por que? 1. SIM 2. NÃO 3. NÃO SABE				8.6
8.7. Pagaria por um serviço público de esgotamento? ? 1. SIM 2. NÃO 3. NÃO SABE				8.7
8.8 Quanto poderia pagar? R\$ _____				8.8

**Figura F 1** - Questionário - Pré-diagnóstico

**FICHA DE RECONHECIMENTO**

Nº

Localidade: \_\_\_\_\_

Multiplicador (entrevistador): \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

1. Nome do Chefe de Família: \_\_\_\_\_

2.1 Quantas pessoas vivem na casa? \_\_\_\_\_

2.2 Quantas crianças? \_\_\_\_\_

3.1. Forma de abastecimento? \_\_\_\_\_

Faz algum tratamento na água?  Sim  Não3.2 Qual:  SODIS  Cloração  Fervura  Filtro doméstico

3.3 O que você acha da água que bebe?

 Boa  Ruim  Péssima  Não sabe

3.4 Por quê? \_\_\_\_\_

3.5 A qualidade da água é importante para a saúde?  Sim  Não

3.6 Por quê? \_\_\_\_\_

Observações: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura F 2 - Questionário de Reconhecimento

**FICHA DE MONITORAMENTO – SODIS 1**

Nº	
----	--

Localidade: \_\_\_\_\_

Multiplicador: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

1. Nome do Chefe de Família: \_\_\_\_\_

2.1. Forma de abastecimento? \_\_\_\_\_ Faz algum tratamento na água? \_\_\_\_\_

2.2 Qual:  SODIS  Cloração  Fervura  Filtro doméstico

3.1 Quantas garrafas estão sendo utilizadas por dia? \_\_\_\_\_

3.2 Qualidade das garrafas:  Novas  Velhas  
 Lisas  Arranhadas  
 Coloridas  Transparentes  
 Tampadas  Destampadas

3.3 Tamanho das Garrafas: \_\_\_\_\_  
 500mL  1 Litro  2 Litros  2,5 Litros  Maior que 3 Lt

4.1 Que horas coloca as garrafas ao sol? \_\_\_\_\_

4.2 Que horas tira? \_\_\_\_\_

4.3 Onde colocam as garrafas: \_\_\_\_\_ 5.4 Faz sombra?  Sim  Não4.4 Posição das garrafas:  Horizontal  Inclinação  Vertical5.1 Qualidade da água na garrafa  Turva  Clara5.2 Tem algas:  Sim  Não 6.3 Já usou o Turbidímetro:  Sim  Não5.3 Chacoalha a garrafa fazendo o SODIS:  Sim  Não

6.1 Quantas pessoas fazem o SODIS na família? \_\_\_\_\_

6.2 Alguma criança participa fazendo o SODIS?  Sim  Não

Por quê sim (não)? \_\_\_\_\_

Figura F 3 - Questionário SODIS 1

## FICHA DE MONITORAMENTO – SODIS 2

Nº	
----	--

Localidade: \_\_\_\_\_

Multiplicador: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**1. Nome do Chefe de Família:**  
\_\_\_\_\_

**2.1 Quantas pessoas vivem na casa?** \_\_\_\_\_

**2.2 Quantas crianças?** \_\_\_\_\_

**2.1 Está usando regularmente o SODIS?**  Sim  Não

Se NÃO, porque não está usando? \_\_\_\_\_

Se SIM:

**3.1 Está gostando de usar o SODIS?**  Sim  Não

**3.2 Por quê?** \_\_\_\_\_

**3.3 Tem algum gosto ruim?**  Sim  Não

**3.4 Qual?** \_\_\_\_\_

**3.5 Alguém da família reclamou ou não gosta da idéia do SODIS?**  Sim  Não

**3.6 Por quê?** \_\_\_\_\_

**4.1 Acha difícil fazer o SODIS?**  Sim  Não

**4.2 Por quê?** \_\_\_\_\_

**4.3 Tem alguma dificuldade em conseguir as garrafas?**  Sim  Não

**4.4 Como consegue as garrafas?** \_\_\_\_\_

**4.5 O que faz com as garrafas que já não prestam mais pra fazer o SODIS?** \_\_\_\_\_

**5.1 Além do SODIS, faz mais algum tipo de tratamento na água?**  Sim  Não

**5.2 Qual?** \_\_\_\_\_

Figura F 4 - Questionário SODIS 2

**FICHA DE ACEITABILIDADE**

Nº	
----	--

Localidade: \_\_\_\_\_

Multiplicador: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

<b>1. Nome do chefe de família</b> _____
---

<b>2. Você vai continuar a usar o SODIS?</b> <input type="checkbox"/> Com certeza (1) <input type="checkbox"/> Talvez (2) <input type="checkbox"/> Acho que não (3) <input type="checkbox"/> De jeito nenhum (4)
--

<b>3. Você teve problemas com o SODIS?</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <b>4. Se sim, qual (is)?</b> <input type="checkbox"/> Falta de Garrafas (1) <input type="checkbox"/> Mau Cheiro (2) <input type="checkbox"/> Cor diferente da água (3) <input type="checkbox"/> Sujeira na água (4) <input type="checkbox"/> Lodo (alga) na garrafa (5) <input type="checkbox"/> Outro (6) _____
---

Figura F 5 - Questionário Aceitabilidade

## **APÊNDICE G**

---

Registro Fotográfico



**Figura G 1** - Garrafas SODIS expostas sobre telhado de barro em Camurim



**Figura G 2** - Garrafas SODIS expostas sobre a cisterna de placa em Camurim



**Figura G 3** - Garrafas expostas à radiação sobre telhado de barro de forma equivocada, em locais sombreados



**Figura G 4** - Garrafas expostas à radiação sobre cisterna de placas de forma equivocada, em locais sombreados.



**Figura G 5 - Oficina de sensibilização em Nova Esperança**



**Figura G 6 - Oficina de sensibilização em Camurim**



**Figura G 7 -** Capacitação dos multiplicadores na Prainha do Canto Verde



**Figura G 8 -** Usuários SODIS em Nova Esperança

## **ANEXOS**

---

**Tabela ANEXO 1 - Diluições decimais das amostras em séries de cinco tubos contendo meio A1 – Etapa de agitação.**

Amostras		Diluições								
		22/11/2006			06/12/2006			08/12/2006		
<b>AB -1</b>		-3	-4	-5	-3	-4	-5	-2	-3	-4
<b>AB-2</b>		-3	-4	-5	-3	-4	-5	-2	-3	-4
<b>Agitadas</b>	<b>1 (10:00)</b>	-3	-4	-5	-2	-3	-4	-1	-2	-3
	<b>2 (11:00)</b>	-1	-2	-3	0	-1	-2	1	0	-1
	<b>3 (12:00)</b>	0	-1	-2	0	-1	-2	1	0	-1
	<b>4 (13:00)</b>	0	-1	-2	1	0	-1	1	0	-1
	<b>5 (14:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>6 (15:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
<b>Não Agitadas</b>	<b>1 (10:00)</b>	-3	-4	-5	-2	-3	-4	-1	-2	-3
	<b>2 (11:00)</b>	-1	-2	-3	-1	-2	-3	0	-1	-2
	<b>3 (12:00)</b>	-1	-2	-3	0	-1	-2	1	0	-1
	<b>4 (13:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>5 (14:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>6 (15:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
<b>CONT. 1</b>		-3	-4	-5	-3	-4	-5	-2	-3	-4
<b>CONT. 2</b>		-3	-4	-5	-3	-4	-5	-3	-4	-5

AB1: amostra água bruta 1

AB2: amostra água bruta 2

Cont.1: amostra controle 1, longe da radiação solar

Cont.: amostra controle 2, longe da radiação solar

Os valores da tabela acima correspondem ao expoente da base 10 (diluições decimais).  
Como exemplo, tem-se:

- $1 = 10^1 = 10\text{mL}$  (Volume inoculado: 5 vezes 10mL)
- $0 = 10^0 = 1\text{mL}$  (Volume inoculado: 5 vezes 1mL)
- $-1 = 10^{-1} = 0,1\text{mL}$  (Volume inoculado: 5 vezes 0,1mL)

**Tabela ANEXO 2 - Diluições decimais das amostras em séries de cinco tubos contendo meio A1 – Etapa de superfície.**

Amostras		Diluições								
		18/1/2006			31/1/2006			14/2/2006		
<b>AB -1</b>		-1	-2	-3	-2	-3	-4	-2	-3	-4
<b>AB-2</b>		-2	-3	-4	-3	-4	-5	-3	-4	-5
<b>Concreto branco</b>	<b>1 (10:00)</b>	-1	-2	-3	-1	-2	-3	-1	-2	-3
	<b>2 (11:00)</b>	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2
	<b>3 (12:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>4 (13:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>5 (14:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>6 (15:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
<b>Concreto preto</b>	<b>1 (10:00)</b>	-2	-3	-4	-2	-3	-4	-2	-3	-4
	<b>2 (11:00)</b>	0	-1	-2	0	-1	-2	-1	-2	-3
	<b>3 (12:00)</b>	1	0	-1	0	-1	-2	0	-1	-2
	<b>4 (13:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>5 (14:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>6 (15:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
<b>telha de amianto</b>	<b>1 (10:00)</b>	-1	-2	-3	-1	-2	-3	-2	-3	-4
	<b>2 (11:00)</b>	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2
	<b>3 (12:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>4 (13:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>5 (14:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>6 (15:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
<b>telha de barro</b>	<b>1 (10:00)</b>	-1	-2	-3	-2	-3	-4	-2	-3	-4
	<b>2 (11:00)</b>	0	-1	-2	-1	-2	-3	-1	-2	-3
	<b>3 (12:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>4 (13:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>5 (14:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>6 (15:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
<b>bacia da alumínio</b>	<b>1 (10:00)</b>	-1	-2	-3	-2	-3	-4	-3	-4	-5
	<b>2 (11:00)</b>	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2
	<b>3 (12:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	0	-1	-2
	<b>4 (13:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	0	-1	-2
	<b>5 (14:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
	<b>6 (15:00)</b>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
<b>CONT. 1</b>		-1	-2	-3	-3	-4	-5	-2	-3	-4
<b>CONT. 2</b>		-3	-4	-5	-2	-3	-4	-2	-3	-4

AB1: amostra água bruta 1

AB2: amostra água bruta 2

Cont.1: amostra controle 1, longe da radiação solar

Cont.: amostra controle 2, longe da radiação solar

Os valores da tabela acima correspondem ao expoente da base 10 (diluições decimais).

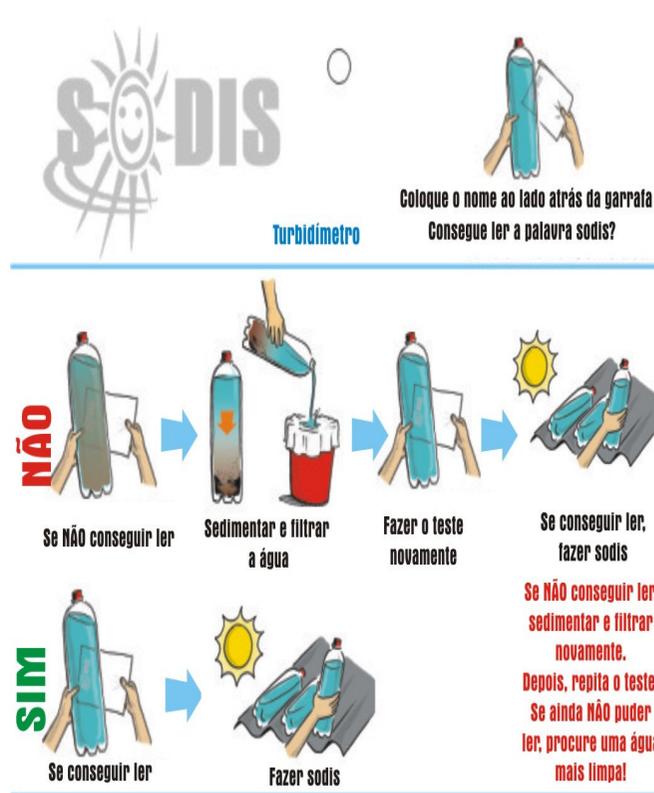


Figura ANEXO 1 - Material distribuído aos multiplicadores, utilizado na difusão do SODIS

Poesia – SODIS

Isaías das graças, 15 anos,  
moradora da comunidade Nova Esperança.

**I**

Para você ter saúde  
É preciso se cuidar  
Com a água que se bebe  
Você pode se contaminar

**II**

Se a água que você bebe  
Vem lá do caminhão  
Meu amigo não se iluda  
Você pode pegar amarelão

**III**

Meu amigo preste atenção  
Pra história que hei de contar  
De um tratamento chamado SODIS  
Que muitas vidas veio melhorar

**IV**

Certo dia chegou lá em casa  
Um sujeito cheio de animação  
Dizendo que a minha água  
Precisava de atenção

**V**

Foi aí que ele me ensinou  
Um jeito de me proteger  
Fazendo um tal de SODIS  
Que agora eu vou lhe dizer

**VI**

É simples e você vai gostar  
Só precisa de uma explicação  
Basta uma garrafa transparente e limpa  
Nova e sem arranhão

**VII**

Também não deve esquecer  
De lavar com água e sabão  
E depois colocar água limpa  
Agitando com dedicação

**VIII**

Às seis horas da manhã  
Com o dia ensolarado  
No sentido horizontal  
Se coloca no telhado

**IX**

Quando for à tardezinha  
A garrafa terá de tirar  
Mas antes de consumir a água  
Você deixe esfriar

**X**

mas preste atenção  
Com o copo que vai utilizar  
Antes de colocar a água  
Primeiro tem que lavar

**XI**

Se você ficou curioso  
Não fique de braços cruzados  
Vá logo fazer o SODIS  
E terá bons resultados