

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTU SENSU* EM ENGENHARIA DO**  
**MEIO AMBIENTE – PPGEMA**

**WALESKA FERNANDA FERREIRA MORGADO**

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS NATURAIS POR RADIAÇÃO SOLAR**  
**UTILIZANDO OS BIOINDICADORES:**  
*Escherichia coli e Clostridium perfringens*

**GOIÂNIA**

**2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**WALESKA FERNANDA FERREIRA MORGADO**

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS NATURAIS POR RADIAÇÃO SOLAR  
UTILIZANDO OS BIOINDICADORES:  
*Escherichia coli* e *Clostridium perfringens***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás (UFG) para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

**Área de Concentração:** Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Mariângela Fontes Santiago

**Co-Orientadores:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Luiza Cintra Campos e Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa

**GOIÂNIA**

**2008**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação ( CIP)

M845d Morgado, Waleska Fernanda Ferreira.  
Desinfecção de águas naturais por radiação solar utilizando os  
bioindicadores : *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* /  
Waleska Fernanda Ferreira Morgado. – 2008.  
125 f. : il., tabs., grafs. ; 29 cm.

Bibliografia: f. 104-108.  
Anexos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,  
Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação Strictu  
Sensu em Engenharia do Meio Ambiente, Goiânia, 2008.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dra. Mariângela Fontes Santiago.  
Co-orientadores: Profa. PhD Luiza Cintra Campos e Prof. Dr.  
Marcelo de Paula Corrêa.

1. Desinfecção de água por radiação solar. 2. Água -  
desinfecção. 3. *Escherichia coli*. 4. *Clostridium perfringens*. I.  
Título.

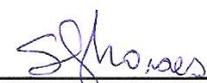
CDU: 628.166.085

WALESKA FERNANDA FERREIRA MORGADO

**DESINFECÇÃO DE ÁGUAS NATURAIS POR RADIAÇÃO SOLAR  
UTILIZANDO OS BIOINDICADORES:  
*Escherichia coli* e *Clostridium perfringens***

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do grau de Mestre, aprovada em 25 de agosto de 2008, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Mariângela Fontes Santiago – UFG  
Presidente da Banca

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Sandra Gomes de Moraes – UNICAMP

Prof.<sup>o</sup>. PhD Eduardo Queija de Siqueira – UFG

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Ieda Maria Sapateiro Torres – UFG

GOIÂNIA

2008

*Aos meus pais, sobretudo, por serem essas pessoas maravilhosas no sentido pleno da palavra, íntegras, companheiras e amorosas, que me estimulam sempre na busca de mais conhecimentos e fazem com que não desista nunca. O meu sincero reconhecimento é a conclusão deste trabalho dedicado a vocês.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por me fortalecer nos momentos necessários e trazer sabedoria na condução do meu dia-a-dia, de forma a reunir todos os elementos que foram precisos nesta etapa da minha vida.

Ao meu amor e companheiro, Wilson Mendonça Neto, por seu apoio e estímulo diário, estando ao meu lado para minimizar minhas deficiências físicas e emocionais na conclusão deste. Que minhas numerosas ausências sejam agora compensadas!

Aos meus pais, irmãos e toda família e amigos que, de alguma ou várias formas, me ajudaram, agradeço pelo amor e incentivos constantes.

À minha orientadora Prof<sup>ª</sup> Mariângela Fontes Santiago, por sua sabedoria na condução dos desafios surgidos, e por seu exemplo diário como profissional acadêmico.

Aos meus Co-Orientadores, Prof<sup>ª</sup>. Luiza Cintra Campos e Prof<sup>º</sup>. Marcelo de Paula Corrêa, que, mesmo distantes, contribuíram imensamente com seus conhecimentos neste trabalho.

À Prof<sup>ª</sup>. Ieda Maria Sapateiro Torres, por disponibilizar o laboratório na Faculdade de Farmácia da UFG para as análises microbiológicas e, principalmente, por sua amizade.

À Universidade Federal de Goiás – UFG, em especial aos professores do PPGEMA, por sua valorosa contribuição nesta área extremamente atual e necessária e aos professores e funcionários da Faculdade de Farmácia que colaboraram para a execução deste trabalho.

À Universidade de Brasília – UnB pela oportunidade de aperfeiçoamento técnico.

À Giovanna, por sua colaboração como precursora desta linha de pesquisa e ao Thiago por seu apoio nas análises estatísticas.

À Turma do PPGEMA, pela união que muito contribuiu para superar os momentos de dificuldades e às colegas Margareth, Suzi e Maysa por seu companheirismo.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro através da bolsa de pesquisador de mestrado.

“Deus criador, Pai da família humana, Vós formastes a Amazônia, maravilha da vida, Bênção para o Brasil e para o mundo. Despertai em nós o respeito e a admiração pela obra Que vossa mão entregou aos nossos cuidados. Ensinai-nos a reconhecer o valor de cada criatura Que vive na terra, cruza os ares ou se move nas águas. Perdoai, Senhor, a ganância e o egoísmo destruidor; Moderai nossa sede de posse e poder. Que a Amazônia, berço acolhedor de tanta vida, Seja também o chão da partilha fraterna, Pátria solidária de povos e culturas, Casa de muitos irmãos e irmãs. Enviai-nos todos em missão! O Evangelho da vida, luz e graça para o mundo, Fazendo-nos discípulos e missionários de Jesus Cristo, Indique o caminho da justiça e do amor; E seja anúncio de esperança e de paz Para os povos da Amazônia e de todo o Brasil.  
Amém.”

ORAÇÃO DA CAMPANHA DA FRATERNIDADE 2007

## RESUMO

### **TÍTULO: Desinfecção de Águas Naturais por Radiação Solar utilizando os bioindicadores: *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens***

Os países latino-americanos enfrentam sérios problemas com a alta incidência de doenças relacionadas com a falta de saneamento básico, sendo mais afetadas as populações que vivem em localidades pobres, periféricas e em zonas rurais. A utilização da radiação solar no processo de desinfecção de água, SODIS, é introduzida nesse contexto como uma alternativa de desinfecção da água independente de insumos, que funciona sem fornecimento de energia elétrica, baixo custo e de fácil operação em comunidades pequenas. Este trabalho teve por objetivo avaliar a inativação dos patógenos *Escherichia coli* e o *Clostridium perfringens* através da SODIS na região Centro-Oeste do Brasil, na cidade de Goiânia – GO. Para a determinação das bactérias *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* foi utilizado os métodos Colilert® e tubos múltiplos (NMP/100 mL), respectivamente. A inativação e o recrescimento destes bioindicadores, a análise dos parâmetros físico-químicos da água bruta e da água desinfetada pela SODIS foram os enfoques principais deste estudo. Água bruta foi coletada de um poço raso da Escola de Engenharia Civil (EEC) da Universidade Federal de Goiás (UFG) e inoculada com concentrações determinadas dos bioindicadores, separadamente, acondicionadas em garrafas de PET e expostas ao sol pelo período das 09:00 às 15:00 horas. Amostras de água foram coletadas e analisadas em laboratório após os tempos de exposição de 0, 2, 4 e 6 horas. O trabalho experimental foi dividido em duas etapas, a primeira considerou a diferença de volumes nas garrafas, 1,5 L e 2 L, para investigar o efeito das concentrações de oxigênio, a verificação do recrescimento após 3 dias de armazenamento na própria garrafa de PET em temperatura ambiente e a avaliação da água bruta antes e após a SODIS. Na segunda etapa, garrafas com volume padrão de 1,5 L foram usadas em combinação com e sem concentrador solar. Os resultados mostraram que houve uma pequena diferença, (0,25-Log para *Clostridium perfringens* e 0,5-Log *Escherichia coli*) nas inativações bacterianas em relação aos diferentes volumes, sendo maiores nas garrafas de 1,5 L para ambos os bioindicadores na etapa 1. O uso do concentrador solar não apresentou melhoria no processo em relação ao *Clostridium perfringens* e o recrescimento foi proporcional à concentração final dos bioindicadores após as 6 horas de exposição.

## ABSTRACT

### **TITLE: Water solar disinfection using *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens* as bioindicators**

Latin-American countries are facing serious problems related to waterborne diseases due to the lack of basic sanitation, affecting in particular those people living in small and rural communities. Solar radiation for water disinfection, SODIS, seems a promising process for small communities since it does not require electric energy and it has low cost and easy operation. This work aimed to evaluate the inactivation of the pathogens *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens* by SODIS in the Center-West region of Brazil, Goiânia-GO. The Colilert® and multiple tubes (NMP/100 mL) were used to determine the *Escherichia coli* and the *Clostridium perfringens* bacterias, respectively. The inactivation and the re-growth of these bioindicators, the physico-chemical parameters of the raw and disinfected waters were the main focus of this work. Raw water was collected from a well located at the Civil Engineering School (EEC) of Federal University of Goiás (UFG) and it was inoculated apart using pre-determined concentrations of these bio-indicators. Samples were put in transparent PET bottles with capacity of 2L and left under sunlight exposure between 9am and 3pm. Samples were collected and analyzed in the laboratory after 0, 2, 4 and 6 hours of exposure. The work was divided into two phases: the first evaluate the effect of the use of two water volumes (1.5 L and 2 L) on the pathogen inactivation. In addition, the re-growth of these pathogens in the PET bottles after 3 storage days at ambient temperature was also investigated. In the second phase, PET bottles containing 1.5 L of contaminated water were exposed to sunlight radiation with and without solar reflectors. The results showed that there was a small difference (0,25-Log to *Clostridium perfringens* and 0,5-Log to *Escherichia coli*) in the inactivation of both bioindicators between the two volumes evaluated in the first phase. The use of the solar reflector did not improve the inactivation of the *Clostridium perfringens* and their re-growth was proportional to the final concentration after 6 hours of sunlight exposure.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Principais doenças relacionadas à ingestão de água contaminada e seus agentes causadores -----	18
Tabela 2.1	Refletâncias médias em percentual de diferentes materiais -----	31
Tabela 2.2	Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano -----	43
Tabela 2.3	Parâmetros de aceitação da água para consumo humano -----	43
Tabela 3.1	Condições de estudo da etapa 1: Setembro/Outubro – 2007 -----	47
Tabela 3.2	Condições de estudo da etapa 2: Abril/Maio – 2008 -----	47
Tabela 3.3	Métodos e equipamentos usados nas análises físico-químicas-----	52
Tabela 4.1	Características Físico-Químicas da Água do Poço – Maio / 2007-----	59
Tabela 4.2	Características Microbiológicas da Água do Poço - Maio / 2007 -----	59
Tabela 4.3	Resultados da concentração inoculada de Escherichia coli - Etapa 1 -----	61
Tabela 4.4	Resultados da concentração inoculada de Clostridium perfringens - Etapa 1----	62
Tabela 4.5	Resultados da concentração inoculada de Clostridium perfringens - Etapa 2----	63
Tabela 4.6	Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do Clostridium perfringens na Etapa 1-----	66
Tabela 4.7	Resultados da ANCOVA para a inativação de Clostridium perfringens na etapa 1 (set/out 2007) na Faculdade de Engenharia Civil – UFG em Goiânia---	68
Tabela 4.8	Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da Escherichia coli na Etapa 1 -----	74
Tabela 4.9	Resultados da ANOVA para a inativação de Escherichia coli na etapa 1 (set/out 2007) na Escola de Engenharia Civil – UFG em Goiânia -----	75
Tabela 4.10	Recrescimento de Escherichia coli na etapa 1 -----	76
Tabela 4.11	Matriz de correlação dos parâmetros físico-químicos avaliados na etapa 1 (set/out 2007)-----	80
Tabela 4.12	Resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 1 (setembro 2007)-----	81
Tabela 4.13	Resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 1 (outubro 2007) -----	82
Tabela 4.14	Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do Clostridium perfringens na Etapa 2-----	87
Tabela 4.15	Resultados da ANCOVA para a inativação de Clostridium perfringens na etapa 2 (abril/maio 2008) na Escola de Engenharia Civil – UFG em Goiânia---	88

Tabela 4.16	Matriz de correlação dos parâmetros físico-químicos avaliados na etapa 2 (abril/maio 2008) -----	92
Tabela 4.17	Resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 2 (abril 2008) -----	93
Tabela 4.18	Resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 2 (maio 2008)-----	94
Tabela 4.19	Identificação microbiana dos sobreviventes a SODIS na etapa 2 -----	97
Tabela 4.20	Microrganismos identificados antes e após a SODIS -----	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Espectro da radiação solar mostrando as diferentes bandas da radiação e suas faixas de comprimento de onda -----	23
Figura 2.2	Dimerização fotoquímica de duas bases timina -----	26
Figura 2.3	Distribuição mundial da radiação solar em faixas que indicam as possibilidades de aplicações solares -----	31
Figura 2.4	Participação de diferentes materiais em embalagens de refrigerantes no período de janeiro de 2005 a dezembro de 2006 (ABIR, 2007)-----	33
Figura 2.5	Estimativas de consumo de bebidas não-alcoólicas para a região Centro-Oeste em litros/milhão (ABIR, 2007)-----	34
Figura 2.6	Estimativas de consumo de bebidas não- alcoólicas para os estados da região centro-oeste em litros/milhão (ABIR, 2007)-----	35
Figura 3.1	Condição experimental na etapa 1 -----	46
Figura 3.2	Garrafas com 1,5L e 2L de água -----	46
Figura 3.3	Concentrador solar com capacidade para 4 garrafas de PET -----	46
Figura 3.4	Condição experimental na etapa 2 -----	46
Figura 3.5	Poço da EEC/ UFG -----	49
Figura 3.6	Galões de 20L de água inoculada -----	49
Figura 3.7	Cartelas Quanti-Tray-----	53
Figura 3.8	Seladora Quanti-Tray Sealer Modelo 2X -----	53
Figura 3.9	Tubos múltiplos para determinação de <i>Clostridium perfringens</i> -----	54
Figura 3.10	Resultados negativos e positivos (negros) para <i>Clostridium perfringens</i> . -----	54
Figura 4.1	Comportamento da R-UVA na etapa 1 nos 8 experimentos -----	64
Figura 4.2	Comportamento da R-UVA na etapa 2 nos 8 experimentos -----	64
Figura 4.3	Inativação de <i>Clostridium perfringens</i> em função do tempo de exposição na etapa 1 (set/out 2007)-----	69
Figura 4.4	Recrescimento de <i>Clostridium perfringens</i> na etapa 1 -----	70
Figura 4.5	Temperaturas médias em função do tempo de exposição para <i>Clostridium perfringens</i> na etapa 1 (set./out 2007) -----	70

Figura 4.6	Valores médios de oxigênio dissolvido em função do tempo de exposição para <i>Clostridium perfringens</i> na etapa 1 (set./out 2007) -----	71
Figura 4.7	Valores médios de pH em função do tempo de exposição para <i>Clostridium perfringens</i> na etapa 1 (set./out 2007) -----	72
Figura 4.8	Turbidez média em função do tempo de exposição para <i>Clostridium perfringens</i> na etapa 1 (set./out 2007)-----	72
Figura 4.9	Valores médios para cor aparente em função do tempo de exposição para <i>Clostridium perfringens</i> na etapa 1 (set./out 2007) -----	73
Figura 4.10	Inativação de <i>Escherichia coli</i> em função do tempo de exposição na etapa 1 (set/out 2007) -----	76
Figura 4.11	Comparação da temperatura média da água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L-----	77
Figura 4.12	Comparação dos valores médios do oxigênio dissolvido na água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L -----	78
Figura 4.13	Comparação dos valores médios do pH na água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L -----	78
Figura 4.14	Comparação dos valores médios de turbidez na água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L -----	79
Figura 4.15	Comparação dos valores médios de cor aparente na água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L -----	79
Figura 4.16	Inativação de bactérias heterotróficas totais na água bruta em função do tempo de exposição na etapa 1 (set/out 2007) -----	83
Figura 4.17	Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta para garrafas com 1,5 L antes da SODIS nos 8 experimentos -----	84
Figura 4.18	Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta para garrafas com 1,5 L após a SODIS nos 8 experimentos -----	84
Figura 4.19	Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta para garrafas com 2 L antes da SODIS nos 8 experimentos -----	85
Figura 4.20	Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta para garrafas com 2 L após a SODIS nos 8 experimentos -----	85
Figura 4.21	Comparação da inativação microbiana entre os bioindicadores <i>Escherichia coli</i> e <i>Clostridium. perfringens</i> em função da radiação usados na etapa 1 (set/out 2007)-----	86

Figura 4.22	Inativação de <i>Clostridium perfringens</i> em função do tempo de exposição na etapa 2 (abril/maio 2008)-----	89
Figura 4.23	Comparação da temperatura média da água exposta por 6 h com e sem concentrador solar -----	90
Figura 4.24	Comparação do pH médio da água exposta por 6 h com e sem concentrador solar -----	90
Figura 4.25	Comparação da turbidez média da água exposta por 6 h com e sem concentrador solar -----	91
Figura 4.26	Comparação da cor aparente média da água exposta por 6 h com e sem concentrador solar -----	92
Figura 4.27	Inativação de bactérias heterotróficas totais na água bruta em função do tempo de exposição na etapa 2 (abril/maio 2008)-----	95
Figura 4.28	Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta antes da SODIS -----	96
Figura 4.29	Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta após a SODIS -----	96
Figura 4.30	Dias 18 e 19.04.08 -----	98
Figura 4.31	Dias 24 e 25.04.08 -----	98
Figura 4.32	Repiques de 24 h -----	98
Figura 4.33	Lâminas de Gram-----	98
Figura 4.34	BBL Gram-positivos-----	99
Figura 4.35	BBL Gram-negativos -----	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABIR	Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não-Alcoólicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATCC	American Type Culture Collection
C	Citosina
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DRCM	Meio Diferencial Enriquecido para Clostrídios
DST	Tecnologia de Substrato Definido
ETAs	Estações de Tratamento de Afluentes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnologia da Água
INCQS	Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MUG	4-metilumbeliferil- $\beta$ -d-glucoronídeo
NMP	Número Mais Provável
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONPG	o-nitrofenil- $\beta$ -D-galactopiranosídeo
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
PET	Politereftalato de Etileno ou polietileno tereftalato
POAs	Processos Oxidativos Avançados
R-UV	Radiação Ultravioleta
R-UVA	Radiação Ultravioleta A
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SODIS	Processo de desinfecção solar de águas
SOPAS	Processo de pasteurização solar
T	Timina
THMs	Trihalometanos
uC	Unidade de Cor
UFC	Unidade Formadora de Colônia

UFG	Universidade Federal de Goiás
UnB	Universidade de Brasília
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
USEPA	United States Environmental Protection Agency
uT	Unidade de Turbidez
UV	Ultravioleta
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Objetivos	21
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>22</b>
2.1	Radiação Ultravioleta (R-UV)	22
2.2	A Dose de R-UV	24
2.3	Mecanismos de Inativação	25
2.4	Vantagens e Desvantagens da R-UV	27
2.5	Radiação Solar	28
2.6	Recipientes – Garrafas de PET	32
2.7	Processos e mecanismos de desinfecção e esterilização	37
2.8	Microrganismos importantes na SODIS	39
2.9	Padrão de Potabilidade de Água	42
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA / ESTRATÉGIAS EXPERIMENTAIS</b>	<b>45</b>
3.1	Variações dos Experimentos	45
3.2	Água de Estudo	49
3.3	Preparo das Garrafas de PET	49
3.4	Simulações das Medidas de Radiação Solar	51
3.5	Análises	51
3.5.1	Análises Físico-Químicas	51
3.5.2	Análises Microbiológicas	52
3.6	Métodos Bacteriológicos e Inoculação das Amostras	54
3.6.1	Métodos Bacteriológicos	54
3.6.2	Preparo das Amostras	55
3.6.3	Inoculação das Amostras	56
3.6.4	Coleta e Armazenamento das Amostras	56
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>58</b>
4.1	Resultados dos Estudos Preliminares da Água do Poço	58
4.2	Resultados das Inoculações dos Bioindicadores	61

4.2.1	Inoculação de <i>Escherichia colina</i> na Etapa 1 -----	61
4.2.2	Inoculação de <i>Clostridium Perfringens</i> na Etapa 1 -----	62
4.2.3	Inoculação de <i>Clostridium Perfringens</i> na Etapa 2 -----	62
<b>4.3</b>	<b>Resultados das Simulações das Medidas de Radiação Solar -----</b>	<b>63</b>
<b>4.4</b>	<b>Resultados dos Estudos da Etapa 1-----</b>	<b>65</b>
4.4.1	Resultados do <i>Clostridium perfringens</i> na Etapa 1 -----	65
4.4.1.1	Resultados da Inativação de <i>Clostridium perfringens</i> na Etapa 1-----	67
4.4.1.2	Recrescimento de <i>Clostridium perfringens</i> na Etapa 1 -----	69
4.4.1.3	Análise dos Parâmetros Físico-Químicos para <i>Clostridium perfringens</i> na Etapa 1 -	70
4.4.2	Resultados da <i>Escherichia coli</i> na Etapa 1-----	73
4.4.2.1	Resultados da Inativação de <i>Escherichia coli</i> na Etapa 1 -----	74
4.4.2.2	Recrescimento de <i>Escherichia coli</i> na Etapa 1 -----	76
4.4.2.3	Análise dos Parâmetros Físico-Químicos para <i>Escherichia. coli</i> na Etapa 1 -----	76
4.4.3	Análises da Água (Sem Bioindicadores) na Etapa 1-----	80
4.4.3.1	Análise dos Parâmetros Físico-Químicos da Água Bruta na Etapa 1-----	83
4.4.4	Comparação entre <i>Escherichia coli</i> e <i>Clostridium perfringens</i> na Etapa 1 -----	86
<b>4.5</b>	<b>Resultados dos Estudos da Etapa 2-----</b>	<b>86</b>
4.5.1	Resultados do <i>Clostridium perfringens</i> na Etapa 2 -----	86
4.5.1.1	Resultados da Inativação de <i>Clostridium perfringens</i> na Etapa 2 -----	88
4.5.1.2	Análise dos Parâmetros Físico-Químicos para <i>Clostridium perfringens</i> na Etapa 2 -	89
4.5.2	Análises da Água (Sem Bioindicadores) na Etapa 2-----	93
4.5.2.1	Análise dos Parâmetros Físico-Químicos da Água Bruta na Etapa 2-----	95
4.5.2.2	Identificação Microbiana após a SODIS na Etapa 2-----	96
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES -----</b>	<b>100</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS -----</b>	<b>102</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----</b>	<b>103</b>
	<b>ANEXOS -----</b>	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O elevado crescimento urbano acompanhado do desenvolvimento tecnológico e industrial tem repercussões imediatas no meio ambiente e na população que dele depende para sobrevivência. Diante deste fato, a sociedade tem tido dificuldade para se adaptar a essa nova realidade e, com isso, surgem teorias novas de consciência da saúde do meio ambiente, onde se encontram relacionados o homem e as formas básicas de saneamento, saúde e educação ambiental (HELLER, 1997).

No início do século 21, a humanidade se deparou com o problema da escassez de água como uma ameaça para a saúde humana e a vida do planeta. A escassez ou falta de água afeta mais que 40% da população mundial por razões políticas, econômicas e climáticas. Em paralelo, mais que 25% da população mundial sofre de problemas de saúde ou de higiene, relacionados à água. Apesar dos esforços institucionais para a melhoria da qualidade da água e da infra-estrutura sanitária, cerca de 1,1 bilhões de pessoas não têm acesso a um suprimento adequado de água e esgoto, especialmente em países da África, Ásia e América Latina (RANGEL, 2008).

Aproximadamente 80% de todas as doenças humanas estão relacionadas à água não tratada, saneamento precário e falta de conhecimento básico de higiene e dos mecanismos básicos das doenças. Percebe-se, portanto, a necessidade da aplicação de métodos de tratamento das águas de consumo e efluentes (RODRIGUES et al., 1993).

Os principais agentes biológicos descobertos nas águas contaminadas são as bactérias patogênicas, os vírus e os parasitas. As bactérias patogênicas encontradas na água e alimentos constituem uma das principais fontes de morbidade em nosso meio. Elas são as responsáveis pelos numerosos casos de enterites, diarréias infantis e doenças epidêmicas (como a febre tifóide), com resultados freqüentemente letais. Os vírus mais comumente encontrados nas águas contaminadas por dejetos humanos, entre outros, são os da poliomielite e da hepatite infecciosa. Dentre os parasitas que podem ser ingeridos através da água, destaca-se a *Entamoeba histolytica*, causadora da amebíase e suas complicações, inclusive para o sistema hepático. Esta é encontrada, sobretudo, em países quentes e em locais onde existem más condições sanitárias. Na tabela 1.1 podem ser observadas as principais doenças relacionadas à ingestão de água contaminada e seus agentes causadores (WHO, 1996).

**Tabela 1.1** Principais doenças relacionadas à ingestão de água contaminada e seus agentes causadores (WHO, 1996).

<b>Doenças</b>	<b>Agente Causador</b>
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>
Disenteria bacilar	<i>Shiggella sp.</i>
Febre tifóide	<i>Salmonella typhi</i>
Hepatite infecciosa	Vírus da Hepatite do tipo A
Febre paratifóide	<i>Salmonella paratyphi</i> A, B e C
Gastroenterite	Outros tipos de <i>Salmonella</i> , <i>Shiggella</i> , <i>Proteus sp.</i>
Diarréia infantil	Tipos enteropatogênicos de <i>Escherichia coli</i>
Leptospirose	<i>Leptospirose sp.</i>

Pelo menos um terço da população nos países em desenvolvimento não tem acesso à água potável. A falta de fornecimento adequado de água e de infra-estrutura de saneamento propicia sérios riscos à saúde e expõe a população ao perigo de contaminação e doenças transmissíveis pela água não tratada. Há cerca de 4 bilhões de casos de diarréia a cada ano, e 2,5 milhões de casos que terminam em morte. A cada dia, cerca de 6000 crianças morrem de desidratação devido à diarréia (SODIS, 2008).

Segundo Monteiro (1999), vários países latino-americanos enfrentam sérios problemas com a alta incidência de doenças relacionadas com a falta de saneamento básico, sendo mais afetadas as populações que vivem em localidades pobres, periféricas e em zonas rurais. Estes locais, por não possuírem sistemas de esgoto, despejam uma elevada carga de poluição em corpos d'água, muitos dos quais servem de abastecimento de água sem nenhum tratamento antes do seu consumo. Wegelin et al. (1994) enfatiza a importância do uso de tecnologias apropriadas dos sistemas de abastecimento de água e dos sistemas de tratamento de esgotos através de baixo custo e cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o diagnóstico dos serviços de água e esgotos de 2006 cuja publicação ocorreu em dezembro de 2007, relata que a quantidade de municípios brasileiros contidos na amostra agregada corresponde à totalização de 4.516 municípios sobre os serviços de água e de 1.251 sobre os serviços de esgotos (respectivamente, 81,2% e 22,5% do total de municípios brasileiros). Considerando esses dados, os prestadores de serviços que estão presentes no SNIS em 2006

atuam em municípios que possuem uma população urbana de 147,9 milhões de pessoas, no caso dos serviços de água, e 115,3 milhões no caso dos serviços de esgotos (respectivamente, 97,1% e 75,7% do total do país). O nível de atendimento urbano de água na Região Centro-Oeste foi de 98,0% pelos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2006 e de 98,8% pelos prestadores regionais. A distribuição da quantidade de municípios e respectivas populações, cujas informações, de forma agregada, constam do SNIS em 2006, segundo os estados brasileiros, em Goiás foi observado 232 municípios com um percentual de 94,3% e a população urbana de 5.031.129 alcançando um percentual de 99,1%.

Devido à ocupação esparsa da zona rural, uma opção tecnológica a ser considerada é a adoção de sistemas de abastecimento de água uni – domiciliares, ou seja, obtidos em pequenos volumes por residência. A utilização da radiação solar no processo de desinfecção de água é introduzida nesse contexto como uma alternativa de desinfecção da água, independente de insumos, que funciona sem fornecimento de energia elétrica e que apresenta grande simplicidade (BRANDÃO, 2000).

Os estudos relativos à desinfecção solar de águas, conhecida como SODIS (do inglês – SODIS é acrônimo de Solar Water Disinfection) tiveram seu início no final da década de 70, passando a ter maior reconhecimento a partir de 1985.

O uso da energia solar para desinfecção de águas vem sendo proposto para utilização, por exemplo, em áreas rurais de países em desenvolvimento, possibilitando a desinfecção de águas captadas em poços ou mananciais superficiais, cujas características físicas e químicas são adequadas ao consumo humano, mas sanitariamente duvidosas, uma vez que apenas a avaliação do aspecto dessas não permite conclusão sobre a contaminação da amostra de água coletada, relatam Paterniani e Silva (2005).

Sommer et al. (1997) destacam que, no que diz respeito à desinfecção solar, diversos estudos têm sido realizados com objetivo de determinar o efeito da luz solar sobre diferentes organismos indicadores de contaminação e organismos patogênicos transmissores de doenças pela água. A importância desses estudos resulta do fato de que, como as condições ambientais são distintas em cada país e região, as condições de uso da desinfecção solar variam de local para local.

De acordo com a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004), que estabelece o padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano, as águas destinadas ao consumo humano devem ser distribuídas à população sem o risco de veiculação de doenças, com condições sensoriais adequadas e cujos parâmetros físicos, químicos, radioativos, além do microbiológico já citado, atendam aos limites estabelecidos. Segundo

Daniel *et al.* (2001), a prática de controle microbiológico de qualidade da água de consumo humano, no Brasil, se fundamenta no controle de bactérias do grupo coliformes.

A detecção de coliformes totais e termotolerantes, qualitativamente ou quantitativamente, podem ser realizadas pelos métodos dos tubos múltiplos, contagem em membranas filtrantes e em substratos cromogênicos. O uso de organismos comuns do intestino como indicadores de poluição fecal tem sido, universalmente, aceito para monitorar e avaliar a segurança microbiológica da água para abastecimento, além de avaliar a eficiência de processos de tratamento de água (WHO, 1996). A escolha dos bioindicadores deste estudo, *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* reforçam esta afirmativa, sendo que valores médios em UFC/g relatados por Leclerc (1977) para a flora fecal humana são de  $4 \times 10^8$  para *Escherichia coli*, e  $4 \times 10^6$  para *Clostridium perfringens*.

O estudo com um microrganismo mais resistente à desinfecção, como o *Clostridium perfringens*, que é esporogênico, é um diferencial proposto neste estudo, já que foram identificados organismos formadores de esporos na água, após a desinfecção solar de Fleury (2006). Admite-se obter uma redução baixa de *Clostridium perfringens* indicando em torno de 30% de inativação de protozoários (MENDEZ-HERMIDA *et al.*, 2005).

No presente trabalho foi avaliada a utilização da radiação solar como agente desinfetante de águas naturais dentro das características climáticas e de insolação presentes no Brasil, tomando como referência a região Centro-Oeste, cidade de Goiânia, capital do Estado de Goiás, Brasil. A eficiência da desinfecção solar da água, que é uma opção de tratamento de baixo custo e que não necessita de recursos tecnológicos e operacionais significativos, e o uso de recipientes simples e acessíveis para acondicionamento da água a ser tratada como, por exemplo, as garrafas de polietileno tereftalato (PET), serão objetos de estudo desta pesquisa.

A utilização das garrafas de PET no processo de desinfecção solar, após o seu uso convencional como embalagens para refrigerantes ou água, contribui para a conservação do meio ambiente, uma vez que aumenta o tempo de vida útil destas garrafas que são baratas e de fácil acesso (FLEURY, 2006). De modo similar, o uso de embalagens de plástico metalizado provenientes de alimentos industrializados para a cobertura do concentrador solar a ser utilizado, também tem sua contribuição ambiental pelo reúso.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficiência da radiação solar na desinfecção de águas naturais utilizando a *Escherichia coli* e o *Clostridium perfringens* como indicadores biológicos.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Quantificar a inativação dos microrganismos *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* pela SODIS;
- Avaliar a influência dos parâmetros temperatura, pH, cor, turbidez e oxigênio dissolvido (OD) na inativação dos microrganismos no processo de desinfecção solar;
- Determinar o tempo de exposição à radiação solar, necessário para inativação dos microrganismos patogênicos;
- Determinar o índice de R-UVA e o volume mais adequado de água nas garrafas de PET para otimização do processo de SODIS;
- Avaliar a eficiência das garrafas de PET e do concentrador solar no processo de desinfecção solar;
- Avaliar o potencial de recrescimento bacteriano nas águas expostas à radiação solar;
- Determinar o tempo máximo de conservação da água após o uso da SODIS que mantenha as características microbiológicas dentro dos limites legais de potabilidade;
- Obter dados regionais para disponibilização de um método de desinfecção de águas naturais de baixo custo e de fácil operação em comunidades pequenas e áreas rurais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Radiação Ultravioleta (R-UV)

Métodos alternativos de desinfecção começaram a ser desenvolvidos com a finalidade de substituir a cloração e, conseqüentemente, minimizar a formação de precursores de trihalometanos (THMs) e outros subprodutos que apresentam potencial cancerígeno (DANIEL *et al.*, 2001)

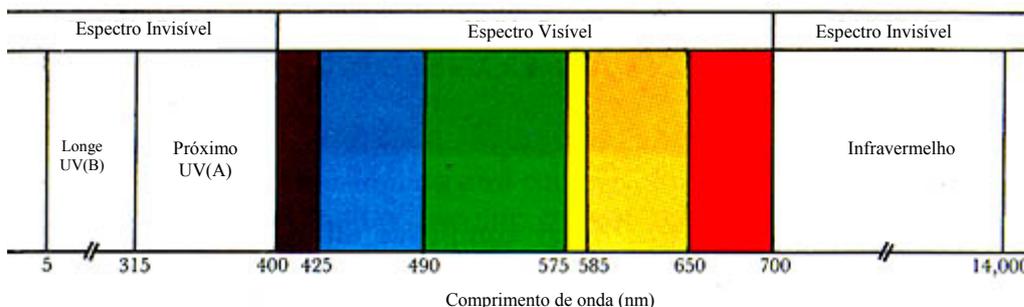
Ao contrário de outros desinfetantes, que têm ação química, a radiação ultravioleta (R-UV) atua por meio físico, atingindo, principalmente, os ácidos nucléicos dos microrganismos, promovendo reações fotoquímicas que inativam os vírus e as bactérias. A R-UV tem crescente aplicação como alternativa aos agentes químicos tradicionais no processo de desinfecção de águas de abastecimento e, também, de águas residuárias.

O efeito germicida deste tipo de energia foi reportado pela primeira vez por Downs e Blunt, em 1878 (KOLLER, 1952 *apud* DANIEL, 2001). Entretanto, a R-UV utilizada como alternativa para desinfecção é conhecida desde o início do século passado, mas por problemas de confiabilidade de equipamento, tecnologia, entre outros, foi abandonada. Posteriormente, superada a maioria desses problemas, o método de desinfecção por R-UV começou a ganhar popularidade, principalmente, nos países europeus e a pesquisa e o desenvolvimento desse método têm aumentado bastante. Um dos fatores importantes para sua popularização é o custo, que o torna competitivo economicamente, se comparado à cloração.

As primeiras instalações de desinfecção com R-UV ocorreram na Suíça e na Áustria, em 1955, sendo que, em 1985, ambos os países contavam com aproximadamente 500 e 600 instalações, respectivamente. Segundo a USEPA (United States Environmental Protection Agency), citada por Wright e Cairns (1998) *apud* Daniel (2001), em 1988, havia cerca de 3.000 instalações de desinfecção com R-UV para águas de abastecimento, sendo 2.000 na Europa e 1.000 nos Estados Unidos. No Brasil, particularmente na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, as pesquisas foram iniciadas em 1977 (CAMPOS; PIZZIRANI, 1977 *apud* DANIEL, 1993) tendo por objetivo a desinfecção de esgotos.

A R-UV pertence ao espectro eletromagnético e está situada na faixa de 10 a 400 nm de comprimento de onda, entre os raios X e a luz visível (KOLLER, 1952 *apud* DANIEL, 2001). A subdivisão da faixa de R-UV entre os vários valores de comprimento de onda é:

- a) UV vácuo → 10 a 200 nm
- b) UV C → 200 a 280 nm
- c) UV B → 280 a 315 nm
- d) UV A → 315 a 400 nm



**Figura 2.1** - Espectro da radiação solar mostrando as diferentes bandas da radiação e suas faixas de comprimento de onda (ACRA, 1984).

De acordo com Bolton (1999) *apud* Daniel (2001), o comprimento de onda de maior efeito bactericida é o de 254 nm, que está inserido na faixa do UV C. No entanto, Harm (1980) *apud* Daniel (2001) afirma que a absorção máxima de R-UV ocorre em 260 nm, e o comprimento de onda de 254 nm é relativo à emissão máxima de lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. O intervalo de comprimento de onda compreendido entre 254 e 285 nm é considerado a faixa germicida ótima para a inativação de microrganismos.

A R-UV utilizada para a inativação de microrganismos, usualmente, é obtida por meio de lâmpadas especiais. A grande maioria é composta por lâmpadas de vapor de mercúrio ionizado, de baixa e média pressão (por exemplo, tubular, tipo lâmpadas fluorescentes) e com diversos valores de potência. Isso significa que o método de desinfecção por radiação ultravioleta utiliza a energia elétrica a fim de gerar radiação para a eliminação, a inativação ou a inviabilização de microrganismos.

O termo fotólise refere-se à interação da radiação luminosa com as moléculas, provocando uma ruptura das ligações químicas, fragmentando-as. A luz é composta por pequenos “pacotes” de energia, denominados fótons, cuja energia,  $E$ , é inversamente proporcional ao comprimento de onda,  $\lambda$ , da luz, sendo expressa na Equação 1:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:  $h$ : constante de Plank ( $6,026 \times 10^{-34}$  Js);  $c$ : velocidade da luz (m/s);  $\lambda$ : comprimento de onda (m).

Se a absorção de um fóton por uma molécula promover a fotólise (fragmentação), o fóton deve ter energia suficiente e superior para romper uma ligação específica ou várias ligações entre os átomos que compõem a molécula. Esse fenômeno, na maioria das vezes, está relacionado a comprimentos de onda na região do espectro correspondente à R-UV. Compostos que absorvem R-UV e apresentam alto rendimento quântico de fotólise são bons candidatos a fotodegradação.

Quando se irradiam moléculas de água com R-UV de comprimento de onda menor que 190 nm, ocorre o rompimento de ligações acarretando a formação de radicais hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ) e hidrogênio ( $\text{H}^\cdot$ ), poderosos agentes oxidantes e redutores, respectivamente. Portanto, processos de descontaminação, tanto em meio aquoso como em ar úmido, podem ser realizados com base nesse fenômeno (DANIEL *et al.*, 2001).

## 2.2 A Dose de R-UV

Alguns microrganismos patogênicos, particularmente vírus e protozoários, são mais resistentes ao desinfetante cloro do que as bactérias do grupo dos coliformes, por exemplo, *Escherichia coli* (National Research Council, 1980 *apud* DANIEL, 2001). Entretanto, Yip e Konasewich (1972) *apud* Daniel (2001) sugeriram que a dose de R-UV necessária para inativar organismos patogênicos é semelhante àquela necessária para promover o mesmo efeito nas bactérias usualmente utilizadas como indicadores de qualidade da água. Desse modo, para a inativação de patogênicos, as doses de R-UV necessárias, usadas como parâmetro para o grupo coliforme, podem ser mais efetivas do que a cloração no processo de desinfecção (SHABAN *et al.*, 1997 *apud* DANIEL, 2001).

Um problema que pode ocorrer com a utilização de R-UV é a indesejada recuperação de parcela dos microrganismos inativados. Isso significa que, sob irradiação de luz na faixa do visível, pode ocorrer reversão das reações fotoquímicas e os microrganismos podem recuperar a atividade. Esse mecanismo permite que microrganismos irradiados recuperem-se caso tenham recebido dose subletal de radiação ultravioleta. Portanto, a dose correta de UV é uma variável importante para o dimensionamento de instalações de desinfecção.

O termo dose de radiação ultravioleta é freqüentemente utilizado na literatura para representar a exposição de um dado organismo à irradiação na faixa germicida. Esse parâmetro é similar à concentração em mg/L quando o desinfetante é uma substância química.

A dose de R-UV é o produto da intensidade de radiação pelo tempo de exposição. Vale ressaltar que a inativação de um número fixo de microrganismos pode ser alcançada em curto intervalo de tempo e alta intensidade ou em tempo longo e baixa intensidade, ou seja, a dose é mantida constante. Segundo a Equação 2:

$$D = I \times t \quad (2)$$

Onde: D é a dose de radiação ultravioleta (W.h/m<sup>2</sup>); I é a intensidade da radiação (W/m<sup>2</sup>); t é o tempo de exposição (h).

A unidade mais adequada para expressar a dose de radiação UV é mJ/cm<sup>2</sup>, o mesmo que mW.s/cm<sup>2</sup>, ou, ainda, pode-se usar J/m<sup>2</sup>.

A fração de sobrevivência é dada pela Equação 3:

$$f(D) = \frac{N}{N_0} \quad (3)$$

Onde: N<sub>0</sub>, N: respectivamente, concentração de microrganismos antes e depois da irradiação ultravioleta (organismos/100 mL); f(D): função da dose.

As Equações (2) e (3) sugerem que a intensidade e o tempo de exposição podem ser diferentes para uma mesma fração de sobrevivência (QUALLS e JOHNSON, 1985 *apud* DANIEL, 2001).

### 2.3 Mecanismos de Inativação

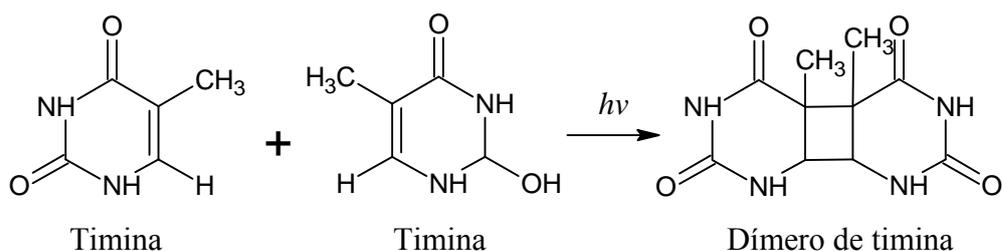
Ao contrário da maioria dos agentes desinfetantes normalmente utilizados em águas, a R-UV não inativa os microrganismos por meio de interação (reação) química. A inativação dos microrganismos é causada pela absorção dessa luz de alta energia, que promove reações fotoquímicas com os componentes fundamentais das células, prejudicando seu funcionamento normal, por exemplo, interrompendo o mecanismo de duplicação ou provocando a morte da mesma (USEPA, 1999 *apud* DANIEL, 2001).

A desinfecção por R-UV ocorre devido à absorção da radiação pelas proteínas e pelos ácidos nucleicos RNA e DNA. A absorção de altas doses de R-UV pelas proteínas

presentes nas membranas celulares leva ao rompimento dessas membranas e, conseqüentemente, à morte da célula. Porém, a absorção de pequenas doses de R-UV pelo DNA pode apenas interromper a habilidade do microrganismo de se reproduzir, impedindo-o de contaminar o meio.

A R-UV é rapidamente absorvida por algumas moléculas presentes no DNA, como as purinas e as pirimidinas, que se tornam mais reativas. A absorção máxima de R-UV pelo DNA ocorre em 260 nm, sugerindo que a inativação pela radiação é mediada pela absorção direta de purinas e pirimidinas pelas moléculas, levando à formação de dímeros e hidratos.

A absorção de R-UV por bases nitrogenadas adjacentes pode resultar na formação de dímeros, como citosina-citosina, adenina-adenina e timina-timina. A timina, por ter a estrutura mais simples das bases nitrogenadas, é a que apresenta maior formação de dímeros, os quais mudam a estrutura do DNA impedindo a reprodução do microrganismo. Esse é o mecanismo fundamental da desinfecção por R-UV, representado na Figura 2.2:



$h\nu$  = incidência da radiação ultravioleta

**Figura 2.2** - Dimerização fotoquímica de duas bases timina (DANIEL, 2001).

Segundo Rodrigues (2000), o mecanismo de desinfecção por R-UV ocorre devido à inabilidade da bactéria recuperar-se dos danos provenientes da radiação. Caso a radiação não seja suficientemente intensa para causar danos letais à célula, uma fotorreativação pode ocorrer gerando mutações no organismo. A luz ultravioleta interfere no DNA das bactérias ocasionando lesões em pirimidinas adjacentes, promovendo a ligação covalente entre elas (formando, por exemplo, os dímeros de timina mostrados na Figura 2.2). Quanto maior o tempo de incidência de R-UV na bactéria, maior a quantidade de bases modificadas. Estas lesões interferem no pareamento normal de bases, impedindo, assim, a duplicação e manutenção celular. A transição citosina timina é a mutação mais freqüente, mas outras substituições de bases (transversão) e mudanças de matriz de leitura também são estimuladas pela luz UV, bem como duplicação e deleção.

## 2.4 Vantagens e Desvantagens da R-UV

De acordo com Daniel *et al.* (2001), são várias as razões para a escolha da R-UV como agente desinfetante em tratamento de água, dentre elas: a) a R-UV é efetiva para grande variedade de bactérias e vírus, usando doses relativamente pequenas; b) mínimos riscos à saúde (a formação de subprodutos é mínima); c) Não confere residual, o qual poderia reagir com substâncias orgânicas na produção comercial ou industrial (por exemplo, não é produzida descoloração ou mudança de sabor, quando se utiliza R-UV em indústria alimentícia); d) segurança e aceitação dos operadores e do público (nenhum produto químico tóxico é transportado, armazenado ou manuseado); e) simplicidade e baixos custos de operação e manutenção (o equipamento de R-UV é mais simples do que os equipamentos de geração de ozônio e dióxido de cloro); f) pequeno tempo de contato, conseqüentemente, não necessita de grandes tanques de contato (são alcançadas doses efetivas de desinfecção em poucos segundos, comparados ao período de 10 a 60 minutos de outras tecnologias de desinfecção, em se tratando de sistema com fonte de energia externa).

Dentre as desvantagens da desinfecção com R-UV, destacam-se: a) os mecanismos de reparo do dano provocado ao DNA dos microrganismos, se uma dose subletal for empregada; b) a matéria dissolvida ou em suspensão reduz a intensidade de radiação quando esta atravessa a lâmina líquida; c) não confere residual à água distribuída (DANIEL *et al.*, 2001).

No entanto, o fato da R-UV não deixar residual desinfetante na água, tem sido discutivelmente apontado como argumento para o uso do cloro, pois, na realidade, há um potencial para formação de biofilme nas redes de distribuição de água. Se a água contiver nutriente (particularmente carbono orgânico assimilável), eles podem se acumular em torno das canalizações, dando suporte ao crescimento microbiano, e, além disso, a presença de 1 mg/L de cloro residual livre, não garante que o biofilme não seja formado nas superfícies das canalizações e os coliformes fecais não sejam encontrados nas águas de consumo (SOUZA, 2000).

A desinfecção com R-UV é mais efetiva para águas com cor e turbidez de pequeno valor, devido à necessidade de penetração da luz no meio, portanto, a qualidade da água a ser tratada é um importante fator na utilização deste processo.

## 2.5 Radiação Solar

A literatura mostra que os microrganismos patogênicos, geralmente presentes na água, são vulneráveis ao calor e à R-UV (BRYAN et al., 1992 *apud* DANIEL, 2001). Uma vez que o sol é fonte natural, universalmente disponível e gratuita, tanto de calor como de R-UV, imagina-se que essa fonte seja a base de um método de desinfecção efetivo e de baixo custo para uso em regiões afastadas e menos favorecidas, principalmente em países em desenvolvimento e áreas críticas.

Segundo Anon (1988), o mecanismo de inativação dos organismos patogênicos pela luz solar é resultado de um efeito combinado da temperatura e radiação. Porém, Reed (1997) sugere que outros fatores podem estar envolvidos, como a condição de aerobiose da água. Nesse caso, considera-se que a inativação do agente patogênico dá-se pela transformação do oxigênio dissolvido ( $O_2$ ) na água, em ozônio, ( $O_3$ ) devido à influência da radiação.

Dentre os processos estudados para a desinfecção de águas, os chamados processos oxidativos avançados (POAs) têm recebido grande atenção por serem capazes de converter poluentes em espécies químicas inócuas. Os POAs são definidos como processos de oxidação, onde radicais hidroxilas ( $OH^\cdot$ ) são gerados em quantidade suficiente para atuarem como principais agentes oxidantes. Vários são os fotocatalisadores utilizados ( $TiO_2$ , ZnS, CdS, ZnO,  $WO_3$ ,  $SrTiO_3$  e  $Fe_2O_3$ ) com  $TiO_2$ , atraindo grande atenção como processo alternativo para purificação de água e ar, inclusive, no que concerne à desinfecção (ASSALIN, 2000).

O cloro e derivados como hipoclorito e cloroaminas como desinfetante é o mais utilizado, atualmente, no Brasil e no mundo. Este apresenta vantagens relevantes como: alta eficiência, baixo custo e a manutenção de um residual desinfetante que assegura a boa qualidade da água até seu ponto de uso. Porém, uma desvantagem significativa do uso do cloro é a sua capacidade de reagir com a matéria orgânica presente na água, formando subprodutos tais como os THMs (trihalometanos). Em 1976, descobriu-se que o clorofórmio, um dos principais THMs, mostrou ser agente cancerígeno em ratos. Além da formação dos THMs, descobriu-se que alguns microrganismos, tais como os protozoários, têm mostrado resistência ao cloro, o que mostra a elevada importância de se buscarem novos processos de desinfecção conforme Assalin (2000).

A radiação solar aplicada para desinfecção de água, utilizando recipientes de plástico e de vidro, mostrou-se efetiva, pois, foi obtida inativação de 99,9% de coliformes em

95 minutos de exposição, ao passo que foram necessários 630 minutos para se obter a mesma eficiência com luz artificial. O componente da radiação solar mais efetivo na destruição de microrganismos parece ser a R-UV com comprimento de onda na faixa de 315 a 400 nm e, em menor grau, a luz visível (violeta e azul) com comprimento de onda de 400 a 490 nm (ACRA et al., 1984).

A completa eliminação dos organismos patogênicos requer um mínimo de duas horas de exposição à radiação solar direta de 600 W/m<sup>2</sup>. É recomendado como fator de segurança, principalmente para as regiões tropicais úmidas, um período de cinco horas de exposição. A presença de nuvens ou de potenciais interferências climáticas (fumaça, *fog*) diminui a eficiência do processo de desinfecção (ZAPP et al., 1987 *apud* DANIEL, 2001). Já Herrera (2003) relata que nos dias ensolarados, o tempo de exposição à radiação solar requerido é, geralmente, superior a cinco horas para remover de maneira completa (até cinco unidades logarítmicas) os coliformes fecais presentes na água, de acordo com estudos de laboratório e campo realizados por Wegelin, desde 1991.

Segundo Mendez-Hermida (2005), a redução da infecciosidade dos oocistos de *Cryptosporidium parvum* por SODIS pode não ser permanente, pois, o processo de reparo do DNA pode começar após a exposição. Contudo, estudos recentes mostram que o reparo do DNA após a exposição dos oocistos à R-UV pode não ser suficiente para que eles recuperem seu poder de infecção.

O aumento da permeabilidade da parede do oocisto de *C. parvum* produzido pela elevada temperatura da água pode facilitar o transporte de produtos na R-UV, tais como o peróxido de hidrogênio e íons superóxido, para o interior dos oocistos, onde eles podem ter um ótimo efeito biocida (MENDEZ-HERMIDA, 2005).

As águas com elevadas contaminações não são desinfetadas facilmente pela radiação solar, nem tampouco as águas com elevada turbidez, como é o caso de alguns rios. É esperado que a turbidez atenuar o efeito da radiação solar e que elementos nutritivos da água residuária facultem a proliferação de alguns microrganismos, relata Odeyemi (1986) *apud* Daniel (2001).

A R-UVA (315 a 400 nm) é a principal responsável pela inativação de microrganismos e a R-UV de comprimento de onda de 400 a 450 nm (luz violeta), praticamente, não tem efeito bactericida quando tem atuação independente. Entretanto, o efeito sinérgico dessas duas faixas de radiação (como é o caso na radiação solar) aumenta significativamente a taxa de inativação dos microrganismos (WEGELIN *et al.*, 1994).

Do ponto de vista do desenvolvimento de unidades de desinfecção solar, o resultado mais relevante do trabalho de Wegelin *et al.* (1994) é a observação do efeito sinérgico da radiação solar e da temperatura. De acordo com Feachem *et al.* (1983) apud Sommer *et al.* (1997), para destruição de enterovírus pelo calor, é necessário expô-lo à temperatura de 63° C por 30 minutos. Wegelin *et al.* (1994), em seus experimentos, observaram redução de 99,9% de enterovírus após 42 minutos de exposição ao sol, com temperatura da água a 40°C. Para a mesma água, sob similar condição de radiação, mas em temperatura de 20°C, foram necessários 150 minutos para atingir o mesmo grau de inativação. Conclui-se que a temperatura como único agente desinfetante não é capaz de inativar o vírus, porém, amplifica significativamente o efeito da radiação. Parece óbvio, também, que, sob condições de temperatura mais elevada, o efeito da temperatura por si só passe a ser significativo.

A turbidez e a espessura da lâmina d'água interferem significativamente na eficiência de inativação de microrganismos. O aumento da turbidez e da profundidade da água leva a uma menor eficiência do processo, se considerado um tempo fixo de exposição. Águas mais turvas necessitarão de maior tempo de exposição para efetiva desinfecção, ou, dependendo da intensidade da turbidez, não serão passíveis de desinfecção eficaz.

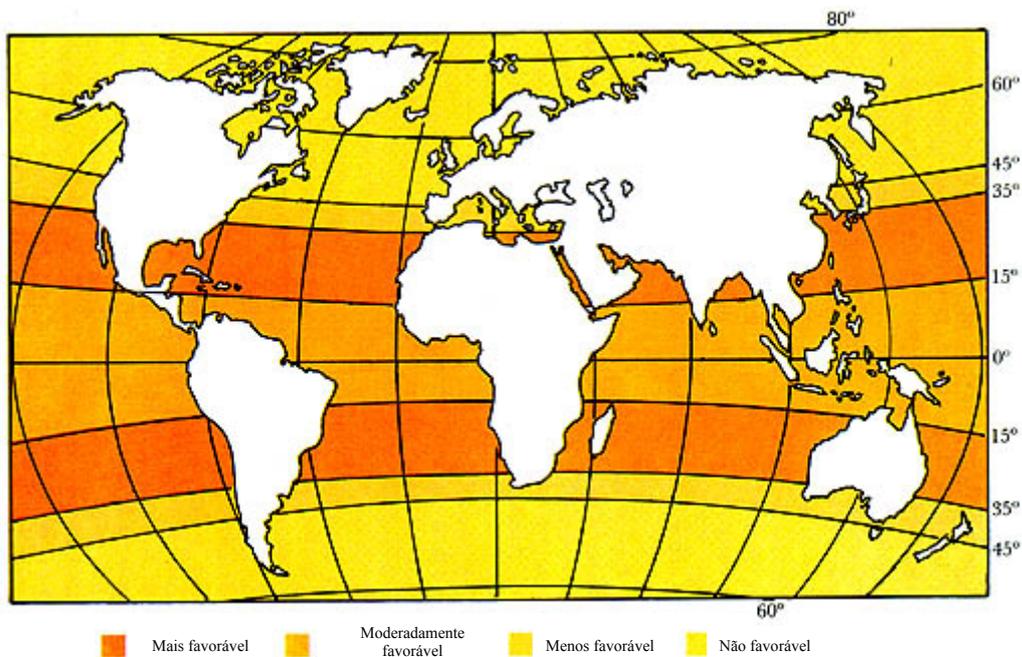
Apesar do efeito negativo da turbidez em testes realizados sob condição controlada, observa-se que, mesmo com elevada turbidez (~ 110 UTN) e elevado grau de contaminação ( $10^9$  UFC/mL), a eliminação total de coliformes pode ser conseguida com um tempo de exposição de duas horas e temperatura da água a 50°C. Testes preliminares realizados em Brasília (BRANDÃO, 2000) mostraram que, em dia ensolarado, a temperatura da água atingiu 50°C após duas horas de exposição e permaneceu acima dessa temperatura por mais de três horas. Isso sugere o potencial de utilização dessa tecnologia em grande parte do Brasil.

Segundo Herrera (2003), os papéis metalizados e os plásticos metalizados e aluminizados, empregados como embalagens de presentes e alimentos como batatas fritas e similares, são os materiais mais refletivos dentro da faixa de comprimento de onda 300-540nm, portanto, mais eficientes que o papel alumínio utilizado por Fleury (2006), conforme observado na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1** - Refletâncias médias em percentual de diferentes materiais (HERRERA, 2003).

<b>MATERIAL</b>	<b>200 – 700 nm</b>	<b>300 – 540 nm</b>
Plástico metalizado (embalagem de presentes)	68,8 – 79,3	66,0 – 75,2
Plástico aluminizado	25,8 – 69,9	25,3 – 68,7
Fita 100% alumínio autoaderente	68,4	57,66
Papel metalizado (embalagem de presentes)	60,1	59,4
Papel alumínio (para uso em cozinha)	41,6 – 56,4	38,8 – 56,3
Placa e lâmina de alumínio	16,6 – 19,1	14,8 – 16,3
Lâmina galvanizada	28,98	31,6

É importante notar que a maioria dos países em desenvolvimento está dentro das regiões mais favoráveis para o uso da SODIS entre as latitudes 35°N e 35°S (Figura 2.3). Por esta razão, eles podem contar com a radiação solar como uma fonte de energia vantajosa que pode ser prontamente explorada de forma barata pelas famílias rurais e urbanas para uma variedade de propósitos, incluindo a desinfecção solar de água potável e soluções de reidratação oral (ACRA, 1984). Portanto, a região do presente estudo se enquadra na faixa mais favorável de aplicação da radiação solar, justificando a sua utilização na desinfecção de águas naturais.

**Figura 2.3** - Distribuição mundial da radiação solar em faixas que indicam as possibilidades de aplicações solares (ACRA, 1984)

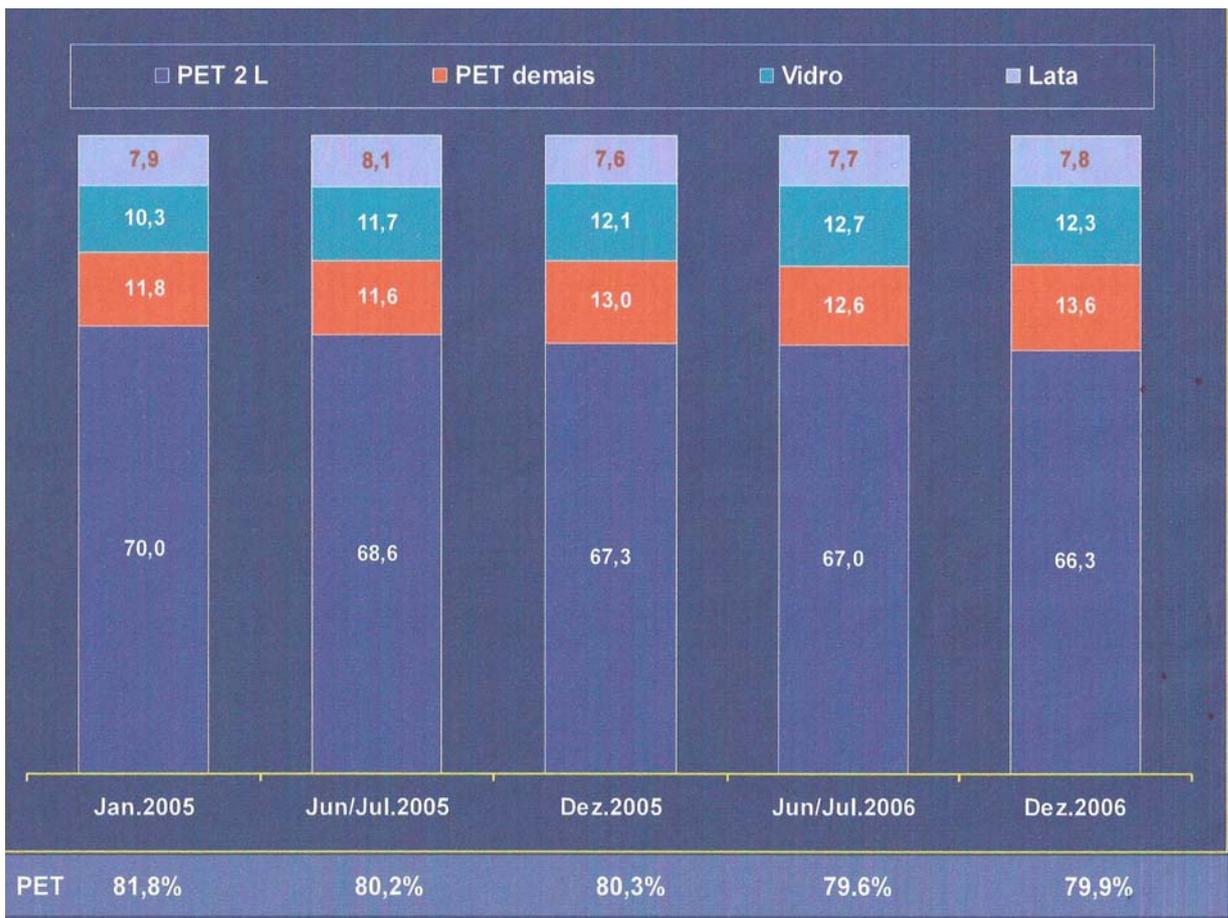
A desinfecção solar pode ser concebida tanto em instalações em batelada, para servir a uma unidade domiciliar (pequenos volumes), como em sistema contínuo (algo semelhante a um aquecedor solar, porém transparente), a fim de produzir maior volume de água e servir a escolas, postos de saúde e outras instituições na zona rural. Um sistema contínuo de desinfecção solar também poderá fornecer água bacteriologicamente segura para pequenas empresas agrícolas familiares e, com isso, ser usada na melhoria e/ou beneficiamento do produto agrícola, agregando renda ao pequeno produtor. A região Centro-Oeste, como centro agrícola nacional brasileiro, encontra-se perfeitamente situado neste contexto.

## **2.6 Recipientes – Garrafas de PET**

As embalagens foram criadas para proteger e transportar produtos. A barreira é a capacidade que uma embalagem tem de resistir à absorção ou evaporação de gases e vapores, resistir à passagem de luz e também à permeação de gorduras. A barreira a gases é avaliada em termos de taxa de permeabilidade a gases, ou seja, pela quantidade de gás que passa através de uma unidade de área superficial do material de embalagem por unidade de tempo, a determinada temperatura e sob certo gradiente de pressão parcial do gás e a determinada umidade relativa. Quanto maior for a temperatura, maior a difusão de gases. No caso da umidade, o vapor de água compete com o gás seja CO<sub>2</sub> ou O<sub>2</sub> (GARCIA, 1989; DIOGO, 2002; SARANTÓPOULUS, 2002 apud PACHECO, 2006).

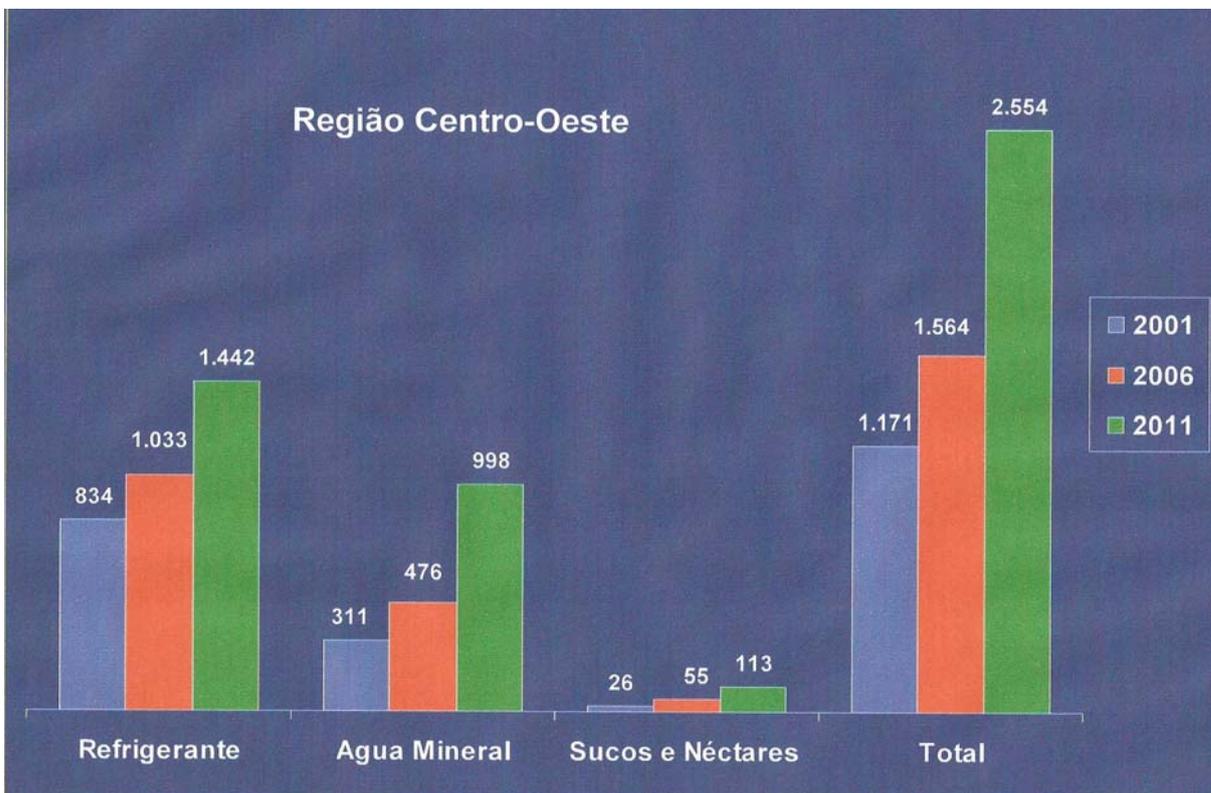
O mercado de refrigerantes é, dentre as bebidas não alcoólicas, o mais desenvolvido. O Brasil é o 3º maior mercado do mundo, atrás de Estados Unidos e México, embora com consumo per capita ainda baixo, cerca de 70 litros/ano (ABIR, 2007).

As embalagens mais utilizadas para refrigerantes são: metálicas (latas de alumínio), PET e de vidro. De acordo com a ABIR (2007), no período de janeiro de 2005 a dezembro de 2006, as embalagens de PET 2 L foram as mais vendidas, com os resultados variando entre 70% em janeiro de 2005 a 66,3% em dezembro de 2006 e, se forem consideradas todas as embalagens de PET, tem-se de 81,8% em janeiro de 2005 a 79,6% em junho/julho de 2006 na participação do mercado de refrigerantes. As embalagens de vidro e de lata tiveram suas maiores vendas em junho/julho de 2006, com 12,7% e junho/julho de 2005, com 8,1%, respectivamente, como mostrado na Figura 2.4.

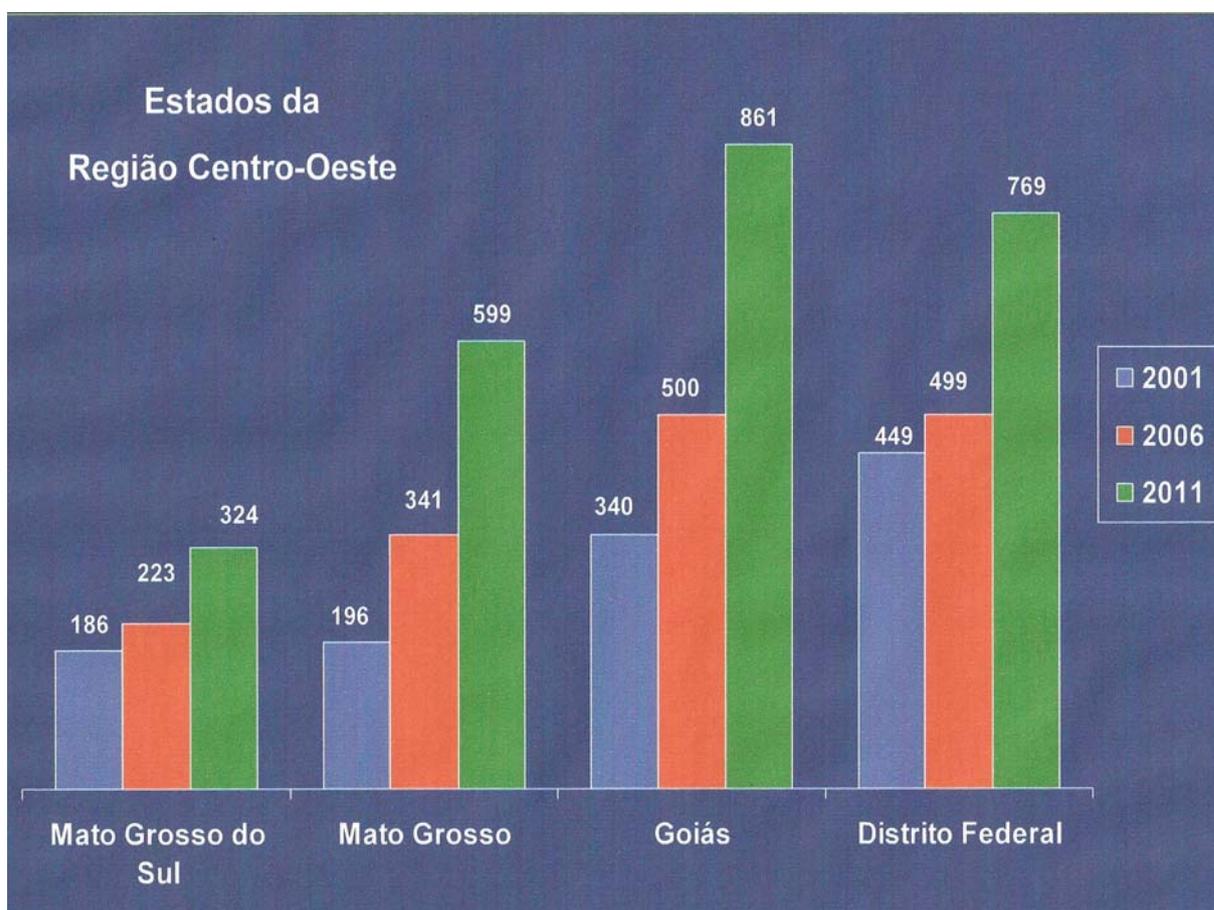


**Figura 2.4** – Participação de diferentes materiais em embalagens de refrigerantes no período de janeiro de 2005 a dezembro de 2006 (ABIR, 2007).

As estimativas de consumo de refrigerantes para a região centro-oeste em 2011 são de 1442 litros/milhão, ao passo que a água mineral terá 998 litros/milhão e sucos e néctares 113 litros/milhão, indicando que seu somatório ainda não alcança o valor da estimativa para os refrigerantes, conforme Figura 2.5. Em Goiás, as estimativas de consumo de refrigerantes, sucos e água mineral para 2011 são as maiores da região centro-oeste, alcançando 861 litros/milhão e os valores dos demais estados podem ser observados na Figura 2.6. Assim, torna-se válida a re-utilização das garrafas de PET segundo a metodologia deste trabalho para evitar-se o acúmulo de resíduos sólidos gerados na nossa região, tanto hoje quanto futuramente.



**Figura 2.5** – Estimativas de consumo de bebidas não-alcoólicas para a região centro-oeste em litros/milhão (ABIR, 2007).



**Figura 2.6** – Estimativas de consumo de bebidas não- alcoólicas para os estados da região centro-oeste em litros/milhão (ABIR, 2007)

O PET é um material de grande importância no segmento de embalagem. Isso se deve às suas excelentes propriedades, a exemplo da elevada resistência mecânica, aparência nobre, entre outras. A escolha e o desenvolvimento do PET para uso em bebidas carbonatadas (refrigerantes) resultaram em estudos paralelos entre indústrias de bebidas e fabricantes de plásticos, levando-se em consideração os custos de energia proveniente do petróleo. Ao lado da utilização em refrigerantes, as embalagens de PET vêm apresentando acentuada expansão em outros segmentos como o alimentício, farmacêutico, higiênico e limpeza (GARCIA, 1989 *apud* SARANTÓPOULUS, 2002 *apud* PACHECO, 2006).

O aparecimento das embalagens de PET no Brasil ocorreu, praticamente, no início de 1989, com apenas duas empresas fornecedoras, ambas com garrafas de 2000 mL, com fundo côncavo em base de polietileno de alta densidade (PEAD). Neste mesmo ano, estudos

realizados visavam à introdução da garrafa de 2000 mL, com fundo petalóide (forma do fundo da embalagem usada atualmente), que ocorreu no início de 1990 (GARCIA, 1989 *apud* PACHECO, 2006).

O formato e o tamanho do recipiente utilizado para expor as amostras ao sol mostraram-se pouco influente na taxa de inativação dos microrganismos indicadores. No Egito, mostrou-se uma tendência de rápida redução na taxa de morte ou inativação bacteriana em amostras contidas em recipientes de 500 mL e 100 mL. Ambos os recipientes possuíam tamanhos pequenos, tipicamente utilizados para coleta de água e armazenamento, como garrafas, comumente utilizadas em países em desenvolvimento. A posição vertical ou horizontal de exposição ao sol também produziu pouco efeito na eficiência do processo (ARAFA, 1985 *apud* DANIEL, 2001).

Por ser uma tecnologia destinada às regiões em desenvolvimento, os materiais empregados na SODIS devem ter baixo custo. Assim, as alternativas testadas foram as garrafas de vidro, PVC (policloreto de vinila), PET e sacolas de PET. As garrafas de vidro comuns contêm óxido de ferro e espessura média de 2mm sendo praticamente opacas à R-UV. Dessa forma seriam necessários vidros especiais (Pyrex®, Corex®, etc) que tem custo elevado e inviabilizam o objetivo da tecnologia. Quanto aos plásticos, o PET possui menos aditivos que o PVC, tendo preferência pelo menor potencial de contaminação da água. As garrafas devem ser incolores, pois as cores marrom e verde absorvem a radiação solar UV-A. (WEGELIN *et al.*, 2000).

A transmitância da R-UV e visível nas garrafas de PET transparente, verde e no vidro transparente foram testadas por Fleury (2006). O PET transparente começou a transmitir luz no comprimento de onda de 320 nm (6,5%), aumentando significativamente a transmitância até o comprimento de onda aproximado de 380 nm (80,4%) e, após este valor, houve uma tendência à estabilização. Comportamento similar ocorreu para o vidro, que começou a transmitir luz no comprimento de 290 nm (0,8%) e apresentou tendência à estabilização no comprimento de onda de 350 nm (95,1%). A curva do PET verde, que também transmitiu a luz a partir do comprimento de onda de 320 nm (2%), apresentou maior desuniformidade na sua formação.

A partir de 340 nm, o PET transparente permitiu uma transmitância acima de 60 %, conforme citado na literatura por Wegelin *et al.* (2000), o PET verde 40,4 % e o vidro 89,9 %. Já o comprimento de onda de 400 nm, a transmitância foi de 84 % para o PET transparente, 97,6 % para o vidro e 81,1 % para o PET verde, demonstrando assim, que os maiores valores de transmitância ocorreram para o vidro, depois para o PET transparente e em

seguida para o PET verde. Estes resultados confirmam o registro de Acra *et al.* (1984) que apontam os recipientes incolores, de plástico ou de vidro, como as melhores escolhas para a desinfecção solar porque eles transmitem a luz próximo da região ultravioleta de 320 – 400 nm. Sendo a luz UV-A a principal responsável pela desinfecção solar, na região de 320 – 400 nm, e secundariamente a luz violeta, na região de 400 – 425 nm (Wegelin *et al.*, 1994) pode-se admitir, a partir dos resultados encontrados, que os materiais de plástico e vidro permitem a transmitância nestes comprimentos de onda (320 – 425 nm), afirma Fleury (2006).

A eficiência da desinfecção será maior em recipientes que possuírem transmitância próxima à região ultravioleta do espectro de luz. O grau de maior letalidade observado está relacionado aos comprimentos de onda próximos à R-UV. Os recipientes metálicos com superfície aberta e reflexão interior podem ser utilizados com eficiência no processo de desinfecção solar. No entanto, o tempo de exposição deve ser maior que uma ou duas horas (BALDI, 1987 *apud* DANIEL, 2001).

Em relação aos recipientes, os sacos de polietileno transparentes mostraram-se mais eficientes do que os vasilhames de refrigerante em vidro e PET. Tal eficiência é atribuída à baixa perda de radiação do material e ao aumento mais rápido da temperatura nos mesmos (BRANDÃO, 2000). O uso dos sacos descartáveis não parece ser interessante na realidade brasileira devido ao poder aquisitivo e ao grau de instrução dos cidadãos-alvo dessa tecnologia, pois, a reutilização dos recipientes ou a utilização do mesmo saco para vários fins poderia levar a contaminações cruzadas e à ineficiência do método de desinfecção. A utilização de sacos plásticos novos, a serem descartados após uso, pode significar custo excessivamente elevado para os usuários rurais, além de não fazer parte de sua cultura. Devem-se desenvolver recipientes específicos, com dimensões apropriadas para otimizar a captura da radiação, menor suscetibilidade à contaminação externa e maior durabilidade. A perda de radiação pelo material empregado, se ocorrer, poderá ser compensada com maior tempo de exposição.

## **2.7 Processos e mecanismos de desinfecção e esterilização**

Desinfecção é o processo de destruição de microrganismos, patogênicos ou não, na forma vegetativa (não-esporulada), através de meios físicos e químicos. O mecanismo de destruição dos organismos na desinfecção depende principalmente da natureza do desinfetante e do tipo de organismo. Ainda que os mecanismos de desinfecção não estejam completamente esclarecidos, existe evidência de que a maior parte dos desinfetantes atue destruindo a

proteína celular, principalmente por inativação dos sistemas enzimáticos críticos, responsáveis pelas enzimas essenciais para a vida microbiológica. A destruição ou inativação da proteína enzimática pode ocorrer de várias maneiras, segundo o tipo de desinfetante (LAWRENCE E BLOCK, 1968, *apud* MONTEIRO 1999). Há ainda a diferenciação entre desinfecção e sanitização, sendo a primeira relativa a seres animados (exemplo mãos) e a segunda a seres inanimados como superfícies e, no caso da embalagem de PET, será usado o termo sanitização aplicado ao bioindicador *Escherichia coli*.

A presença e geração de enzimas dentro da célula bacteriana sugerem que o mecanismo de desinfecção implique, ao menos, em duas etapas: penetração do desinfetante através da parede celular e, reação com as enzimas dentro da célula. Esta constatação está de acordo com a observação genérica de que as moléculas neutras são bactericidas mais efetivas que os íons, aparentemente devido ao seu poder de penetrar com mais rapidez nas paredes celulares carregadas negativamente. Enquanto que a passagem de ânions através das paredes celulares pode ser prejudicada pela repulsão eletrostática, as moléculas neutras podem difundir-se mais livremente (FAIR *et al.*, 1968).

Os agentes químicos tais como ozônio, dióxido de cloro e cloro, capazes de oxidar os compostos orgânicos, podem atuar como desinfetantes por oxidação química direta da matéria celular. A aplicação direta de energia calorífica, irradiação por ondas curtas, ou destruição ultra-sônica produz a destruição física dos microrganismos. Isso mostra que um número considerável de compostos químicos (orgânicos e inorgânicos) e agentes físicos causam danos nos microrganismos patogênico, principalmente por interação com as proteínas enzimáticas ou por alterações estruturais destrutivas dentro da célula (WEBER, 1979).

A esterilização é a eliminação ou destruição completa de todas as formas de vida microbiana, por meio de processos físicos ou químicos (MARTINS, 2001). O termo esterilização foi aplicado ao bioindicador esporulado *Clostridium perfringens* no caso da remoção do mesmo nas embalagens de PET e galões que o acondicionaram.

Bactérias anaeróbias estritas, como o *Clostridium perfringens*, só crescem em anaerobiose, sendo inibidas ou mortas na presença de oxigênio, que não é utilizado em seu metabolismo. Aquelas que são mortas pela presença de O<sub>2</sub>, não possuem enzimas tais como catalase, que desdobra peróxido de hidrogênio em oxigênio e água, ou superóxido dismutase, que transforma o ânion superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) em água oxigenada. A água oxigenada ou peróxido de hidrogênio e o ânion superóxido causam danos letais à bactéria, afirma TRABULSI (1991).

Germicidas de alto nível são aqueles que têm atividade nos esporos bacterianos e podem ser esterilizantes se o contato for longo e desinfetante, se o tempo de contato for pequeno. Como exemplos têm os seguintes germicidas químicos: glutaraldeído, ácido peracético, peróxido de hidrogênio entre outros.

A ação bactericida dos ácidos minerais e álcalis origina-se dos efeitos dos íons  $\text{H}_3\text{O}^+$  e  $\text{OH}^-$ . Quando os ácidos minerais e álcalis encontram-se concentrados, acredita-se que o íon  $\text{H}_3\text{O}^+$  seja mais forte que o íon  $\text{OH}^-$ . Os agentes oxidantes fortes, tais como o ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, podem atuar pela inativação enzimática, ou por oxidação degradativa do material celular. A ação desinfetante do cloro e outros halógenos está baseada na rápida inativação enzimática (MONTEIRO 1999).

O peróxido de hidrogênio está sendo introduzido no mercado brasileiro por diversas vantagens: a) custo relativamente baixo; b) preparo e uso simples; c) fácil armazenamento; d) fácil transporte; e) sem toxicidade; f) sem residual químico, pois, se desdobra em oxigênio e água. Recomendado na concentração de 3% a 25% e indicado para materiais termossensíveis entre outros, age mediante exposição de 15 a 30 minutos, como desinfetante (MARTINS, 2001).

## 2.8 Microrganismos importantes na SODIS

A *Escherichia coli* é uma espécie de bactéria do grupo coliforme termotolerante e é abundante nas fezes humanas e de animais, compreendendo 95% dos coliformes presentes no intestino, tendo sido encontrada somente em esgotos, efluentes, águas naturais e solos que tenham recebido contaminação fecal recente. Ressalta-se que dentre os coliformes, esta é a única espécie que, seguramente, provém de fezes humanas ou de animais de sangue quente (WHO, 1996), sendo, portanto, considerada como a clássica indicadora da possível presença de patógenos entéricos nas águas. Tornou-se possível nos últimos anos, através de testes cromofluorogênicos baseados em expressões enzimáticas, a detecção simples e rápida de *Escherichia coli* e de outras bactérias específicas para fins de monitoramento de mananciais. Segundo Acra *et al.* (1984) a *Escherichia coli* é mais resistente aos efeitos letais da luz solar que outras bactérias como a *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhie*, *Salmonella enteritidis*, e por isso serve bem como bom indicador sobre o efeito da luz solar sobre bactérias entéricas.

Segundo Daniel *et al.* (2001), a *Escherichia coli* usualmente é empregada como microrganismo indicador de contaminação fecal. Todavia, a resistência de alguns patogênicos aos desinfetantes, notadamente os protozoários, é maior que a da bactéria *Escherichia coli*. Por este motivo, é conveniente que sejam feitos exames para detectar outros microrganismos indicadores que possam representar o comportamento de vírus, bactérias esporuladas e cistos de protozoários diante dos desinfetantes.

O *Clostridium perfringens* tem sido utilizado como indicador bacteriológico de contaminação fecal, pois, sua incidência no meio aquático está constantemente associada a dejetos humanos, sendo sua presença detectada em fezes, esgotos e águas poluídas. Por serem esporuladas, essas bactérias apresentam grande resistência aos desinfetantes e às condições desfavoráveis do meio ambiente e a excepcional longevidade de seus esporos na água é útil na detecção de contaminação fecal remota, em situações em que outros indicadores menos resistentes como *Escherichia coli*, já não estão mais presentes (CETESB, 1993).

A pesquisa de *Clostridium perfringens* é recomendada pela CETESB (1993) como um complemento valioso para outros testes bacteriológicos de avaliação da qualidade da água. Em esgotos e águas poluídas, a densidade de *Clostridium perfringens* geralmente excede a de vírus e de bactérias patogênicas. Portanto, sua ausência em águas de consumo humano é uma indicação segura da ausência desses microrganismos.

O *Clostridium perfringens* são bacilos curtos, Gram-positivos, anaeróbios obrigatórios, imóveis, esporogênicos (esporos ovais, com localização central ou subterminal). Não possuem catalase, fermentam a lactose, manose e sacarose com produção de gás e apresentam fraca fermentação da celobiose, manitol e salicilina e fermentação turbulenta do leite. Produzem lecitinase, gelatinase e fosfatase ácida; reduzem o sulfito a sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e o nitrato, a nitrito. A temperatura ótima para o seu desenvolvimento é de 45°C, podendo crescer entre 20 a 50°C (CETESB, 1993).

Os colifagos são bacteriófagos que infectam e replicam em cepas hospedeiras de *Escherichia coli* e são usados como indicadores de vírus. Já as bactérias *Clostridium perfringens*, por terem a capacidade de formar esporos, portanto, com maior resistência às adversidades do meio, podem ser usadas como indicadores de protozoários. Os colifagos, em geral, apresentam resistência semelhante à da *Escherichia coli*, enquanto o *Clostridium perfringens* é mais resistente, demonstrando ser um indicador em potencial para águas que apresentem suspeita de conter protozoários patogênicos, dados os usos do manancial e do solo que compõem a bacia hidrográfica drenada pelo manancial (DANIEL, 2001).

Alguns estudos têm sido desenvolvidos para utilizar a bactéria *Clostridium perfringens* como indicadora de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* na qualidade e eficiência de tratamentos de água potável, pois seus esporos apresentam taxa de sobrevivência mais elevada e resistência aos processos de tratamento e desinfecção da água maior do que os cistos e oocistos, além de serem mais fáceis, rápidos e baratos de pesquisar em laboratório que os protozoários (TEIXEIRA, 2003).

Embora não exista na legislação vigente a exigência de pesquisa para *Clostridium perfringens*, consta no capítulo IV artigo 11 a recomendação da inclusão de pesquisa de organismos patogênicos, com o objetivo de atingir, como meta, um padrão de ausência, dentre outros, de enterovírus, cistos de *Giardia spp* e oocistos de *Cryptosporidium sp* (BRASIL, 2004).

Netto (1987) relata que, dos organismos anaeróbios esporulados, o mais característico é o *Clostridium perfringens*, também aparecendo regularmente nas fezes, porém em menor número que a *Escherichia. coli*. Os esporos podem sobreviver mais tempo na água do que os organismos coliformes e costumam resistir à cloração normal das ETAs (estação de tratamento de afluentes). A presença desses esporos numa água natural indica contaminação fecal, e a ausência de coliformes indica que se trata de poluição antiga.

De acordo com Evangelista (2001), inúmeros microrganismos são formadores de células de resistência capazes de tolerar condições incompatíveis para a vida de células vegetativas; elas, porém, estão longe de igualar a resistência dos esporos bacterianos aos fatores adversos ao seu crescimento e desenvolvimento.

Em determinadas espécies e constituindo características exclusivas de bactérias em forma de bastonete (por ex. *Bacillus* aeróbios e *Clostridium* anaeróbios), se desenvolve o que é chamado endósporo ou esporo. O esporo é dotado de enorme resistência, podendo sobreviver em condições que não lhe são favoráveis durante longos anos (EVANGELISTA, 2001).

Somente um esporo se forma em cada célula, localizando-se em direção polar ou central; após a produção do esporo, a célula vegetativa pode ser desintegrada. No esporo, ocorre um mecanismo específico de sobrevivência celular, caracterizado por um estado de criptobiose (dormência ou vida latente) com suspensão de sua atividade metabólica. Este estágio de repouso se rompe quando o meio se volve adequado à sua germinação e coincide com aquele favorável ao crescimento das células vegetativas. É ponto pacífico que a formação dos esporos ocorre como um ato de legítima defesa do microrganismo para sua sobrevivência quando as condições de seu substrato se tornam adversas, discorre Evangelista (2001).

Os esporos que atingem os alimentos, comumente são provenientes do solo, principalmente, aqueles originados de resíduos orgânicos, como acontece nos terrenos turfosos, nas partes barrentas de rios e lagos, em planícies aluvionais etc (EVANGELISTA, 2001).

## **2.9 Padrão de Potabilidade de Água**

O controle da qualidade da água de consumo humano se tornou uma ação de saúde pública a partir da década de 1970, quando a Portaria nº 56/Bsb, de 14 de março de 1977 do Ministério da Saúde instituiu a norma de potabilidade em todo o território nacional. Entretanto, a implementação de um programa de vigilância da qualidade da água só ocorreu a partir da criação do Sistema Nacional de Vigilância Ambiental em Saúde em 1999, e da publicação da Portaria nº 1.469 de 29 de dezembro em 2000 que já foi revogada pela Portaria nº. 518 de 25 de março de 2004 que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A Portaria nº 36 de 19 de janeiro de 1990 é denominada como ato relacionado que está em vigor e aprova normas e o padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano a serem observadas em todo o território nacional. Anteriormente, a qualidade era associada apenas a aspectos estéticos e sensoriais, tais como a cor, o gosto e o odor.

De acordo com a Portaria nº. 518 de 2004, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a água potável é “água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde”. Ainda segundo essa mesma Portaria, a água potável deve passar por um controle de qualidade, a fim de verificar se a água fornecida à população está apta ao consumo humano. Esse controle de qualidade consiste em um “conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelos responsáveis pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição”.

O Artigo 11 dessa Portaria define que a água potável deve estar em conformidade com o padrão microbiológico conforme Tabela 2.2.

**Tabela 2.2** - Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano. (BRASIL, 2004).

PARÂMETRO	VMP (1)
<u>Água para consumo humano (2)</u>	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes (3)	Ausência em 100 mL
<u>Água na saída do tratamento</u>	
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
<u>Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)</u>	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes (3)	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês:
	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês;
	Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês:
	Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 ml

(1) Valor máximo permitido.

(2) Água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras.

(3) A detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

No controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que as novas amostras revelem resultado satisfatório.

No Artigo 12 da Portaria nº. 518 de 2004 da ANVISA, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser observado um padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção de 1,0 UT em 95% das amostras para

desinfecção (água subterrânea), 1,0 UT para filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta) e 2,0 UT em 95% das amostras para filtração lenta.

Os parâmetros de aceitação da água para consumo humano estão citados na Tabela 2.3 e devem ser seguidos, segundo a Portaria nº. 518 de 2004.

**Tabela 2.3** - Parâmetros de aceitação da água para consumo humano (BRASIL, 2004).

PARÂMETRO	VMP (1)
Amônia	1,5 mg/L
Cloreto	250 mg/L
Cloro Livre	5,0 mg/L
Cor aparente	15 uH
Dureza	500 mg/L
Ferro	0,3 mg/L
Fluoreto	1,5 mg/L
Gosto	Não objetável
Nitrato (como N)	10 mg/L
Nitrito (como N)	1 mg/L
Odor	Não objetável
pH	6,0 a 9,5
Sólidos dissolvidos totais	1.000 mg/L
Sulfato	250 mg/L
Turbidez	5 UT

(1) Valor máximo permitido.

### 3 METODOLOGIA / ESTRATÉGIAS EXPERIMENTAIS

Os experimentos incluíram a análise e exames das seguintes variáveis: volume de água nas garrafas de PET, recrescimento dos bioindicadores e uso do concentrador solar no processo da desinfecção solar de águas naturais e o seu impacto na inativação dos indicadores *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens*.

#### 3.1 Variações dos Experimentos

Os experimentos foram realizados no período de setembro/outubro de 2007 e abril/maio de 2008, em Goiânia, na Escola de Engenharia Civil (EEC) da Universidade Federal de Goiás (UFG), cuja localização é 16°40'43" S (Sul), 49°15'14" W (Oeste) e 802 m de altitude. Foram colocados recipientes com as amostras de água para exposição à radiação solar, em uma mesa suporte de telha de amianto (6 mm), inclinação de 10%, de 70 cm de altura média, 110 cm de largura e 153 cm de comprimento, detalhada em Fleury (2006).

Anteriormente aos dias dos experimentos, foram feitas consultas ao site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para verificar a previsão climática, presença ou não de sol, nuvens e precipitações para direcionar o estudo aos dias de sol, sem nuvens e precipitações, ou seja, com condição de céu claro. As amostras de água foram acondicionadas em garrafas de PET transparentes e com superfície totalmente lisa, de 2 L (Figura 3.1). Com o intuito de padronizar a metodologia, foi mantida a mesma marca de garrafa de PET usada por Fleury (2006), exceto que foram utilizadas garrafas novas, ou seja, que tiveram seu uso regular de armazenamento de bebida uma única vez e, logo depois foram sanitizadas e esterilizadas de acordo com os processos específicos para cada bioindicador.

As garrafas foram individualmente aferidas com auxílio de provetas para os volumes de 1,5 L e 2 L e marcadas com canetinhas de retroprojeter externamente para serem devidamente identificadas com os diferentes volumes e horários de coletas (Figura 3.2). A utilização de volumes diferentes de amostra de água teve como objetivo verificar a possível interferência de processos oxidativos avançados na desinfecção solar, que foram avaliados com a maior presença de oxigênio na garrafa contendo menor volume de água.

Foram utilizados também dois concentradores solares (suportes de madeira) revestidos internamente por plásticos metalizados. A embalagem reutilizada para revestir os concentradores solares foi, principalmente, do salgadinho de milho sabor galinha, da marca Mico's®, fabricação da Cicopal Indústria e Comércio de Produtos Alimentícios e Higiene

Pessoal LTDA, situada no município de Senador Canedo, próximo a Goiânia. Segundo informação da Cicopal, este plástico metalizado é grau BOPP e possui elevada resistência, foi colado aos concentradores utilizando a cola Amazonas® nº02, testada previamente para evitar reação com o plástico metalizado que descorava com outras colas, quando colado na madeira do concentrador solar (Figuras 3.3 e 3.4).

O uso do concentrador solar aumenta a temperatura da água das amostras sem impedir a incidência da radiação solar. O concentrador solar utilizado foi construído mantendo as características geométricas semelhantes ao do modelo proposto pelo Instituto Mexicano de Tecnologia da Água (IMTA), que tem capacidade para 3 garrafas de PET. Porém, o concentrador solar proposto neste estudo foi adaptado para ter uma capacidade de 4 garrafas de PET, para garantir as mesmas condições de estudo e, para isso, tiveram que ser aumentadas as medidas da base e das aletas. Assim, foram usados os mesmos concentradores solares que Fleury (2006), exceto o revestimento externo alterado para o plástico metalizado.



**Figura 3.1** - Condição experimental na etapa 1



**Figura 3.2** - Garrafas com 1,5L e 2L de água



**Figura 3.3** - Concentrador solar com capacidade para 4 garrafas de PET



**Figura 3.4** - Condição experimental na etapa 2

Os períodos definidos para a exposição das amostras de água à radiação solar foram previamente escolhidos em função da ausência de precipitação e menor ocorrência de nuvens. A etapa 2 teve seu início bastante adiado em função do período prolongado de chuvas

na região Centro-Oeste, neste ano de 2008. Portanto, as amostras da água foram submetidas às condições de estudo estabelecidas nas Tabelas 3.1 e 3.2:

**Tabela 3.1** Condições de estudo da etapa 1: Setembro/Outubro – 2007

Bioindicador	Tempos de exposição solar e retirada de amostras			
	00:00h	02:00h	04:00h	06:00h
<i>Clostridium perfringens</i> Total amostras: 16	2 garrafas (1 com 2L e 1 com 1,5L)	4 garrafas (2 com 2L e 2 com 1,5L)	4 garrafas (2 com 2L e 2 com 1,5L)	6 garrafas (2 com 2L e 2 com 1,5L e 2 para recrescimento de 3 dias)
<i>Escherichia coli</i> Total amostras: 8	2 garrafas (1 com 2L e 1 com 1,5L)	—	—	6 garrafas (2 com 2L e 2 com 1,5L e 2 para recrescimento de 3 dias)
Sem bioindicador Total amostras: 2	1 garrafa (1,5L)	—	—	1 garrafa (1,5L)
Total de amostra por experimento: 26				

**Tabela 3.2** Condições de estudo da etapa 2: Abril/Maio – 2008

Bioindicador	Tempos de exposição solar e retirada de amostras			
	00:00h	02:00h	04:00h	06:00h
<i>Clostridium perfringens</i> sem concentrador solar Total amostras: 08	2 garrafas	2 garrafas	2 garrafas	2 garrafas
<i>Clostridium perfringens</i> com concentrador solar Total amostras: 06	—	2 garrafas	2 garrafas	2 garrafas
Sem bioindicador com concentrador solar Total amostras: 02	1 garrafa	—	—	1 garrafa
Total de amostras por experimento: 16				

Devido à inexistência de um residual na desinfecção solar que pudesse garantir que a qualidade da água permanecesse a mesma por um período prolongado, que é somente possível com um processo químico de desinfecção, a avaliação do potencial de recrescimento bacteriano é importante, principalmente, em se tratando de água para consumo humano e de uso não imediatamente após a desinfecção. Assim, uma garrafa de cada volume para cada bioindicador na etapa 1 dos experimentos foi retirada após 6 h de exposição ao sol e armazenadas em suas embalagens originais, em um local específico dentro do laboratório, à

temperatura ambiente, por 72 h (3 dias) para avaliação posterior do recrescimento bacteriano. Essas condições foram determinadas a fim de simular a realidade de uma família sem refrigerador em sua residência, que manteria a água nas próprias garrafas de PET e que precisasse estocar a água por mais tempo.

O período experimental foi de quatro meses, dividido conforme estabelecido anteriormente. A água de estudo foi exposta ao sol uma vez por semana na etapa 1 em função do grande número de amostras dos dois bioindicadores usados, *Escherichia coli* e o *Clostridium perfringens*, e todo o trabalho prévio (preparo e esterilização de meios de cultura, soluções, vidrarias, manutenção dos bioindicadores, etc.) e posterior ao experimento (descontaminação dos meios inoculados com as amostras, lavagem e secagem de vidrarias, leituras dos resultados, etc.) que envolvia toda a semana, inclusive as análises de recrescimento após 3 dias de exposição ao sol. Já na etapa 2, a exposição pôde ser duas vezes por semana principalmente pela diminuição das amostras e o uso de um único bioindicador, o *Clostridium perfringens*. Em ambas as etapas foram feitas análises físico-químicas e microbiológicas da água bruta antes e depois da exposição solar e, através do método de contagem em placas em profundidade, obteve-se o resultado de heterotróficos totais. Essas amostras sem os bioindicadores foram usadas para avaliar se a R-UV era eficaz na água "real" do poço.

As amostras de água foram colocadas em garrafas de PET nos volumes já definidos e colocadas em exposição solar às 09 h da manhã e retiradas nos seguintes horários, para análises: 11 h, 13 h e 15 h (último horário de exposição, perfazendo um total de 06 horas). O horário de verão iniciou-se no dia 14 de outubro de 2007 e finalizou em 17 de fevereiro de 2008 e, neste período, os experimentos realizados tiveram alteração de horário de início e fim (10 h às 16 h) e, portanto, também os horários das retiradas de amostras foram: 12 h, 14 h e 16 h.

A exposição das amostras à radiação solar foi realizada no período de 9 h às 15 h, considerado ideal para os experimentos. A máxima intensidade da radiação solar está relacionada com a máxima elevação do sol durante o dia. As garrafas foram direcionadas para o norte conforme verificado por uma bússola no próprio local dos experimentos, em cima da telha. Durante este período, foram tomadas as amostras e realizadas as análises anteriormente definidas nos intervalos de 2 h, 4 h e 6 h após o início da exposição ao sol.

Foram inoculadas as amostras da água do poço (Figura 3.5) com os microrganismos indicadores. Em galões de 20 L (Figura 3.6), foram preparados inóculos com  $10^3$  de *Clostridium perfringens*, e  $10^6$  de *Escherichia coli*. Foram tomadas amostras de cada

uma para confirmação do quantitativo do microrganismo em questão, que são as amostras inoculadas no tempo zero.



**Figura 3.5** - Poço da EEC/ UFG



**Figura 3.6** - Galões de 20 L de água inoculada

### 3.2 Água de Estudo

Foram realizados estudos preliminares que tiveram como objetivo auxiliar na decisão sobre o tipo de água a ser utilizada e a metodologia de coleta mais apropriada. Para escolha da água, foram analisados os parâmetros físico-químicos: turbidez, cor aparente, pH, oxigênio dissolvido e temperatura, bem como a contaminação microbiana pré-existente e a acessibilidade de manuseio e transporte da mesma, além dos indicadores *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens*, que deveriam estar ausentes, pois foram inseridos na água de estudo de forma padronizada e conhecida para realização da desinfecção solar.

A preparação da água de estudo consistiu no uso da água natural de um poço raso, de 20 m de profundidade aproximadamente, da Escola de Engenharia Civil – UFG, inoculada com a *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* em garrafas de PET, separadamente.

### 3.3 Esterilização e Sanitização das Garrafas de PET

As garrafas de PET de 2 L, para acondicionamento das amostras, e os galões de 20 L, para armazenamento da água bruta colhida no poço, foram submetidos a processos de remoção dos seus bioindicadores a cada experimento realizado, afim de que não houvesse interferência nos valores inoculados inicialmente.

A sanitização das garrafas de PET que foram inoculadas com a *Escherichia coli* começava pelo menos 72 horas antes do início de cada experimento. As mesmas garrafas de PET foram utilizadas durante os 08 experimentos para a *Escherichia coli* na etapa 1 e, assim, era necessário garantir a sanitização destas garrafas após cada experimento. As garrafas foram primeiramente preenchidas completamente com água clorada de torneira mais 4 mL devidamente pipetados (2 colheres de sopa) de hipoclorito de sódio comercial, fechadas com suas respectivas tampas e conservadas por 24 horas. Após este período, esta água era descartada e novamente as garrafas eram preenchidas com água clorada de torneira, que após 24 horas era descartada, correspondendo ao primeiro enxágüe. Depois, as garrafas eram novamente preenchidas com água clorada de torneira e conservadas por mais 24 horas ou até o momento de encher a garrafa com a própria água de estudo, efetuando-se assim o segundo enxágüe. Na metodologia descrita por Fleury (2006) este último enxágüe era feito com água destilada que, por ser muito propensa a recontaminação, foi substituída pela água clorada que era retirada antes do uso e cada garrafa era ambientada com a água bruta do poço antes de receber a água de estudo, ou seja, a água inoculada com a *Escherichia coli*. Já na esterilização das garrafas de PET, inoculadas com o *Clostridium perfringens*, foi feita uma modificação do agente sanitizante hipoclorito de sódio para o peróxido de hidrogênio a 3%, que é um esterilizante químico bastante eficiente mantendo o tempo de contato e número de enxágües. Os certificados de análises do peróxido de hidrogênio PA utilizados estão no Anexo A. O peróxido de hidrogênio a 3% usado como esterilizante das garrafas de PET e galões de armazenamento da água de estudo, ficou por, no mínimo, 24 h em contato antes dos dois enxágües rigorosos, com 24 h de intervalo entre eles.

No momento de uso, foi usado jaleco de manga comprida, além de calça comprida e sapato fechado, óculos de segurança e máscara contra gases, principalmente, pelo risco de contaminação com as toxinas do *Clostridium perfringens*. Este bioindicador não foi manipulado em cabine de segurança biológica no momento da inoculação na água de estudo dentro de galões, nas tomadas de ensaio e nas esterilizações das garrafas de PET. O mesmo tipo de conduta ocorreu para a *Escherichia coli* na etapa 1, sendo que ambos os bioindicadores foram mantidos através de suas soluções estoque pelas metodologias específicas e também as análises microbiológicas das amostras após a SODIS foram realizadas em cabine de segurança biológica certificada.

### **3.4 Simulações das Medidas de Radiação Solar**

Os dados de R-UVA foram obtidos por modelagem matemática através do código computacional denominado UVGAME (Ultraviolet Global Atmospheric Model), alimentado por informações atmosféricas (ozônio, perfil, aerossóis, etc), geográficas (latitude/longitude) e temporais (dia/hora/mês), uma vez que não havia sensores para medição deste tipo de radiação no sítio experimental. Os cálculos foram feitos levando também em consideração observações de ozônio feitas pelo sensor OMI (Ozone Mapping Instrument) a bordo do satélite Aura. O modelo de transferência radiativa utilizado oferece dados de alta precisão para situações de céu claro, que foi a condição de escolha para os dias de realização dos experimentos, conforme citado no item 3.1 (Corrêa, 2004).

### **3.5 Análises**

Os exames e análises realizados para caracterização da água foram feitos de acordo com os procedimentos propostos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2004).

#### **3.5.1 Análises Físico-Químicas**

Para avaliar a influência dos parâmetros cor, turbidez, pH, oxigênio dissolvido e temperatura no processo, foram feitas análises físico-químicas da água no Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Goiás.

As análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas em todas as amostras, utilizando os equipamentos listados na Tabela 3.3. Antes da exposição à radiação solar e durante o experimento todas as análises da água foram realizadas para controle da sua qualidade.

**Tabela 3.3** Métodos e equipamentos usados nas análises físico-químicas:

MÉTODO	EQUIPAMENTO	MARCA	MODELO
Cor Aparente	Colorímetro	Hack	DR/890
Oxigênio Dissolvido	Sonda de medição de oxigênio e temperatura	Schott	Handylab OX1
pH	pHmetro	Qualxtron	8010
Temperatura	Sonda de medição de oxigênio e temperatura	Schott	Handylab OX1
Turbidez	Turbidímetro	Marconi	MATB 1000

### 3.5.2 Análises Microbiológicas

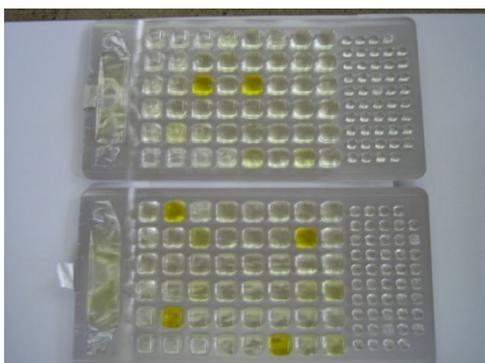
A eficiência da desinfecção da água natural por meio da radiação solar foi avaliada através de análises microbiológicas, realizadas nos Laboratórios de Enzimologia e de Controle de Qualidade Microbiológico de Medicamentos, Cosméticos e Correlatos da Faculdade de Farmácia, da Universidade Federal de Goiás, com base na inativação dos microrganismos *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens*, este último por apresentar maior resistência aos agentes desinfetantes.

Portanto, um dos indicadores biológicos utilizado nos experimentos é a *Escherichia coli* ATCC (American Type Culture Collection) 8739. A solução estoque foi preparada para se obter uma concentração aproximada de  $15 \times 10^8$  NMP/100 mL, ou seja,  $15 \times 10^8$  número mais provável de microrganismos por 100 mL de amostra, e a água de estudo,  $8 \times 10^6$  NMP/100 mL.

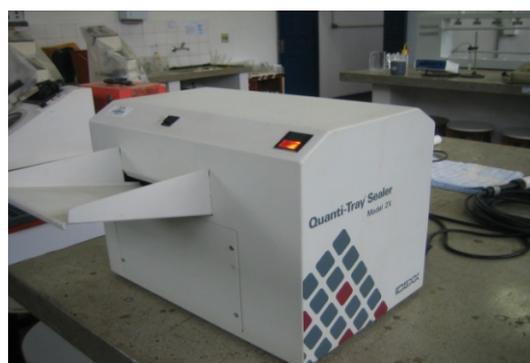
Para a identificação e quantificação simultânea do número de coliformes totais e *Escherichia coli* viáveis, foi utilizado o método Colilert®, patenteada pela IDEXX e que se baseia na tecnologia de substrato definido (DST).

Quando os coliformes totais metabolizam o indicador-nutriente o-nitrofenil-β-D-galactopiranosídeo (ONPG) do Colilert®, a amostra adquire coloração amarela. Quando a *Escherichia coli* metaboliza o indicador-nutriente 4-metilumbeliferil-β-d-glucoronídeo (MUG) do Colilert®, a amostra se torna fluorescente. O Colilert® pode detectar simultaneamente estas bactérias a uma concentração de 1UFC/100 mL, dentro de 24 horas, até em presença de 2 milhões de bactérias heterotróficas presentes por cada 100 mL.

As amostras de água das garrafas de PET, que foram previamente inoculadas com a *Escherichia coli*, foram coletadas e misturadas ao reagente Colilert e homogeneizadas até a completa solubilização. Após, foram transferidas para as cartelas Quanti-Tray (Figura 3.7), que foram seladas em uma Seladora Quanti-Tray Sealer Modelo 2X (Figura 3.8) e, em seguida, incubadas a 35°C, por aproximadamente, 24 horas.



**Figura 3.7** - Cartelas Quanti-Tray



**Figura 3.8** - Seladora Quanti-Tray Sealer Modelo 2X

A quantificação do NMP de coliformes totais foi realizada por meio da contagem das cavidades da cartela Quanti-Tray/2000 que adquiriram coloração amarela intensa, após 24 horas de incubação. Para a quantificação de *Escherichia coli* foram utilizadas as mesmas cartelas dos coliformes totais, porém, estas cartelas foram colocadas sob uma lâmpada ultravioleta (comprimento de onda de 360 nm) portátil, onde as cavidades positivas foram as que apresentarem a cor amarela intensa e a fluorescência (IDEXX, 2007). Após a contagem das células (poços) da cartela, utilizou-se a tabela Quanti-Tray/2000 para a determinação do NMP/100 mL dos coliformes totais e *Escherichia coli*.

A cepa de *Clostridium perfringens*, com referência ATCC 12924 fornecido pelo Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde (INCQS), lote 0497215, INCQS 00215, foi a substituta da cepa CCT 7392, de *Clostridium perfringens*, com referência ATCC 13124 e lote T02/3/I fornecido pela Fundação André Tosello, que já se encontrava não-viável quando repicada. A quantidade deste microrganismo que foi inoculada nas amostras a serem testadas variou de 100 a 1000 UFC, sendo o valor ideal entre 500 a 600 UFC. O informe da bactéria de referência *Clostridium perfringens* do INCQS está no Anexo B.

A determinação de *Clostridium perfringens* foi realizada segundo rotina proposta pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo – CETESB (CETESB, 1993), que se baseia no método dos tubos múltiplos pela redução do sulfito e coagulação do leite tornassolado. O método foi realizado em ensaios presuntivo e

confirmativo. No ensaio presuntivo as amostras foram inoculadas nos tubos e incubadas a 35°C, durante 48 horas, em anaerobiose. Este ensaio foi feito em meio diferencial enriquecido para clostrídios (DRCM) e contendo sulfito. Após esse período, o enegrecimento do meio, resultante da redução do sulfito, é uma prova positiva da presença dos clostrídios na amostra (Figuras 3.9 e 3.10). No ensaio confirmativo, os tubos positivos do ensaio presuntivo foram inoculados em leite tornassolado e incubados a 35°C, durante 48 horas, em anaerobiose e a formação de coágulos indica resultado positivo. Porém, tendo em vista o longo tempo de análise necessário para realização dos ensaios para *Clostridium perfringens*, e, considerando que esse organismo será inoculado em valores bastante elevados, se comparados com a sua incidência no ambiente aquático natural para o estudo em questão, somente foi feito o ensaio presuntivo (TEIXEIRA, 2003).



**Figura 3.9** – Tubos múltiplos para a determinação de *Clostridium Perfringens*



**Figura 3.10** – Resultados negativos e positivos (negros) para *Clostridium Perfringens*

### 3.6 Métodos Bacteriológicos e Inoculação das Amostras

#### 3.6.1 Métodos Bacteriológicos

A detecção e a quantificação de *Escherichia coli* foram realizadas pelo método Colilert®, técnica que fornece os resultados em número mais provável de microrganismos presentes em 100 mL de amostra (NMP/100 mL) baseado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA e WEF, 2004).

A detecção e a quantificação de *Clostridium perfringens* foram realizadas pela técnica de tubos múltiplos para a determinação do número mais provável (NMP) de microrganismos presentes em uma amostra. As análises foram realizadas baseadas no Método

de Ensaio - L5/213 (CETESB, 1993), adaptada pela UnB (MONTEIRO, 1999) e, ainda, com a alteração da tabela de NMP na leitura dos resultados (Anexo C).

As metodologias já foram abordadas anteriormente, conforme seção sobre análises microbiológicas.

### 3.6.2 Preparo das Amostras

As amostras para *Escherichia coli* foram preparadas a partir de repiques da cultura estoque congelada da cepa padrão, a fim de torná-la novamente viável. A seguir, foi feito o preparo da cultura estoque líquida que forneceu em torno de  $67$  a  $86 \times 10^7$  UFC/mL, sendo este valor devidamente comprovado por meio da técnica de contagem em placas de Petri, *pour plate*, em cada experimento, e diluições seriadas que quantificaram a concentração da bactéria *Escherichia coli* viável na cultura estoque líquida.

As amostras para *Clostridium perfringens* foram aquecidas em banho-maria a  $75^\circ\text{C}$ , durante 10 minutos, a fim de eliminar organismos não esporulados e formas vegetativas. Após, foram feitas as diluições necessárias.

Os tubos contendo o meio de cultura diferencial enriquecido para clostrídios (DRCM), simples e duplo, previamente identificados e preparados, conforme já descrito, foram inoculados em porções de 1 mL, em série de três tubos para cada diluição efetuada e 10 mL no DRCM duplo. Os tubos de ensaio inoculados foram incubados em anaerobiose pela adição de vaselina líquida na superfície dos tubos, por 48 horas, à temperatura de  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Alexander (1982) fornece a tabela para as diferentes diluições e as respectivas inoculações que foram efetuadas. De acordo com o número de tubos com resultado positivo, em cada série de três tubos inoculados, obtém-se um código por meio do qual se calcula o NMP/100 mL de *Clostridium perfringens* (Anexo C).

Na leitura dos resultados na tabela de NMP/100 mL presente no Anexo C, para a combinação de positivos onde se lê: 0-0-0, o valor encontrado é  $< 3$  e, para definir um número dentro deste intervalo foi adotado 2,9, sendo o maior valor antes do 3 que já seria uma próxima combinação na tabela.

### 3.6.3 Inoculação das Amostras

Uma maior parcela da amostra de água do poço (dois galões de 20 L cada na etapa 1 e um galão na etapa 2) foi inoculada com concentrações entre  $10^2$  a  $10^3$  NMP/100 mL de *Clostridium perfringens* e, através da técnica dos tubos múltiplos, foi quantificado o número deste indicador presente no volume de estoque, que era utilizado para inocular a amostra, possibilitando, assim, o cálculo do volume ( $V_1$ ) necessário deste estoque para inserir na água coletada. A Equação 3.6 foi usada para encontrar este valor:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (3.6)$$

Onde  $C_1$  é a concentração em NMP/100 mL no estoque;  $V_1$  é o volume em mL do estoque que vai ser acrescentado na amostra total;  $C_2$  é a concentração em NMP/100 mL que se deseja encontrar ( $10^3$  NMP/100 mL) e  $V_2$  é o volume em mL da amostra total (40.000 mL, divididos em dois galões de 20.000 mL cada).

Já para obter uma concentração inicial de  $8 \times 10^6$  NMP/100 mL de *Escherichia coli* na água de estudo, foi calculada a quantidade da solução estoque usando a mesma equação acima.

Onde  $C_1$  é a concentração de bactérias encontrada na solução estoque;  $V_1$  é o volume em mL da solução estoque que vai ser acrescentado na amostra total;  $C_2$  é a concentração que se deseja encontrar ( $8 \times 10^6$  NMP/100 mL) e  $V_2$  é o volume em mL da amostra total (20.000 mL em um único galão).

Na etapa 2 foi usado somente um galão de 20 L para o *Clostridium perfringens*, já que a *Escherichia coli* não foi estudada nesta fase, pois, o uso do concentrador solar para este bioindicador já havia sido avaliado por Fleury (2006).

### 3.6.4 Coleta e Armazenamento das Amostras

Para a coleta de amostras para os exames microbiológicos realizados nos Laboratórios de Controle de Qualidade Microbiológico de Medicamentos, Cosméticos e Correlatos e de Enzimologia da Faculdade de Farmácia, da UFG, foram utilizados sacos plásticos estéreis descartáveis e graduados e frascos de laboratório de vidro graduado com tampa, lavados e esterilizados, previamente, enquanto que para a análise dos parâmetros

físico-químicos foram utilizados recipientes devidamente limpos e secos do próprio Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia Civil, da UFG. O volume de tomada de ensaio foi variado, conforme a exigência de cada parâmetro.

As amostras foram analisadas do ponto de vista microbiológico para *Clostridium perfringens*, no dia seguinte à exposição da radiação solar na etapa 1 e, assim, foram conservadas conforme recomendação do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, sob refrigeração à temperatura menor que 10°C, até 01 hora após a coleta, sendo que o tempo limite não deve exceder 24 horas (APHA, AWWA e WEF, 2004). Para *Escherichia coli* as análises foram iniciadas no mesmo dia, após o término da retirada das amostras do último horário de exposição ao sol. Já as análises físico-químicas ocorreram simultaneamente à retirada das amostras em cada intervalo de tempo anteriormente estipulado. Já na etapa 2, as amostras contendo *Clostridium perfringens* foram analisadas no mesmo dia, pois, não havia mais as amostras de *Escherichia coli* o que favoreceu na agilidade das análises nesta etapa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resultados dos Estudos Preliminares da Água do Poço

Além da caracterização da microflora bacteriana presente na água do poço e o conhecimento dos parâmetros físico-químicos que a tornam apta a ser submetida à SODIS, estes estudos preliminares puderam auxiliar na implantação de uma metodologia mais adequada à sua coleta para a utilização nos experimentos.

Assim, na primeira coleta para a análise da SANEAGO, a água do poço foi escoada durante aproximadamente 24 horas de antecedência antes do início da coleta propriamente dita, porém, para uma rotina experimental este longo tempo seria inviável. Para as análises do mês de março, ela foi escoada somente 30 minutos antes da coleta e, foi constatada uma maior contaminação por coliformes totais, embora os coliformes fecais apresentaram-se ausentes. Portanto, estabeleceu-se nas coletas posteriores do mês de maio e subsequentes, que antes de cada coleta esta tubulação de saída ficaria imersa numa solução de hipoclorito de sódio a 0,5% por 24 horas. O tempo de escoamento também foi variável e, na coleta do dia 07 de maio, água do poço 1º dia, este durou 30 minutos. Durante a coleta do dia 08 de maio, água do poço 2º dia, escoou-se por 45 minutos e, por fim, na coleta de 09 de maio, água do poço 3º dia, o escoamento prévio foi de 60 minutos. Pelos resultados obtidos, o tempo de escoamento de 60 minutos apresentou melhores resultados, sendo, portanto, definido na metodologia para os futuros experimentos.

A metodologia para Contagem de Heterotróficos Totais é a do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2004) e, segundo os valores encontrados no mês de maio, estão dentro do limite proposto pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004) que é de 500 UFC/mL.

Primeiramente foi realizada uma coleta da água do poço da Escola de Engenharia Civil/UFG que foi a água utilizada nos experimentos e encaminhada para análise nos Laboratórios da SANEAGO (Saneamento de Goiás S/A). O laudo está no Anexo D.

Após, foram realizadas três coletas e análises consecutivas da água bruta (poço), sendo que as características físico-químicas e microbiológicas estão disponíveis nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

**Tabela 4.1** – Características Físico-Químicas da Água do Poço – Maio / 2007

Testes	Água Poço		
	1º Dia: 07.05.07	2º Dia: 08.05.07	3º Dia: 09.05.07
Físico-Químicos			
Oxigênio Dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	4,5	4,1	4,5
Temperatura (°C)	28,0	27,2	27,0
Cor Aparente uC (PtCo)	30,0	23,0	12,0
Turbidez (uT)	7,4	6,1	4,5
pH	7,0	7,0	6,5

**Tabela 4.2** – Características Microbiológicas da Água do Poço - Maio / 2007

Testes	Água Poço		
	1º Dia: 07.05.07	2º Dia: 08.05.07	3º Dia: 09.05.07
Microbiológicos			
Contagem Heterotróficos (UFC/mL)	209,0	41,0	38,0
Identificação Microbiana	<i>Corynebacterium renal group</i>	<i>Corynebacterium aquaticum</i> , <i>Bacillus brevis</i> e <i>Bacillus cereus</i>	<i>Corynebacterium aquaticum</i>
Coliformes Totais (NMP/100mL)	12,4	3,0	3,1
Coliformes Fecais – <i>Escherichia coli</i>	Ausentes	Ausentes	Ausentes
<i>Clostridium perfringens</i>	Ausentes	Ausentes	Ausentes

A metodologia utilizada na identificação dos microrganismos de maior incidência observados nas placas de Petri da contagem de heterotróficos totais em ágar *plate count* (APC) está descrita em Fleury (2006), exceto que a técnica de inoculação inicial das amostras de água usada foi *pour plate* e não em superfície.

Dos microrganismos isolados nas amostras da água do poço da EEC/UFG, dois gêneros se destacaram *Corynebacterium* e *Bacillus*, sendo que Fleury (2006) também os detectou nas amostras de água após a desinfecção solar. Interessante ressaltar que a água provinha de outra fonte, um poço raso de 20 m de profundidade, semelhante ao deste estudo, porém localizado em um bairro distante deste, em uma área menos urbanizada.

Segundo Koneman (2001), o gênero *Corynebacterium* contém, na atualidade, bacilos gram-positivos, retos ou ligeiramente curvos, delgados, com extremidades afiladas ou, às vezes, em forma de bastão. Não possuem endósporos. Não são ramificados nem ácido-resistentes e, com exceção de *Corynebacterium aquaticum*, são imóveis. O gênero inclui espécies aeróbias ou anaeróbias facultativas; a maioria fermenta glicose e outros carboidratos, e a maior parte, é catalase-positiva. As corinebactérias encontram-se amplamente distribuídas na natureza, sendo encontradas em solos e água, além de pele e mucosa de humanos e animais.

Em 1962, Liefson isolou pela primeira vez *Corynebacterium aquaticum* de água destilada e talvez possa ser encontrado em água doce. Existem poucos relatos sobre esse microrganismo como causa de doença em humanos. *Corynebacterium aquaticum* é a única espécie móvel do gênero *Corynebacterium*, é esculina-positivo, mas não é hemolítico, é aeróbio estrito e produz ácido a partir de manitol (KONEMAN, 2001).

*Bacillus*, o gênero da família Bacillaceae, abrange na atualidade mais de 60 espécies de *bacillus* gram-positivos aeróbios ou anaeróbios facultativos que produzem endósporos. As células bacterianas apresentam dimensões variáveis de 0,5 X 1,2 a 2,5 a 10µm. Esses microrganismos usualmente crescem bem em ágar sangue, formando colônias grandes, expandidas, branco-acinzentadas, com bordas irregulares. A maioria das espécies produz catalase, e a esporulação não é inibida por incubação em aerobiose, características úteis para auxiliar na diferenciação de *Bacillus* do gênero *Clostridium*. As espécies de *Bacillus* são ubíquas, habitando solos, água e ambiente que pode ser analisado através de amostras do ar que podem ser coletadas tanto por exposição de placas de Petri por um período definido de tempo fazendo uma avaliação qualitativa ou por equipamentos que coletam um volume de ar definido e padronizado e, assim, pode ser feita uma avaliação quantitativa. Os membros termofílicos e psicofílicos do gênero podem crescer a temperaturas elevadas, como 75°C, ou baixas, como -5°C; também podem desenvolver-se em acidez e alcalinidade extremas, variando o pH de 2 a 10. Portanto, as espécies de *Bacillus* podem ser isoladas a partir de diversos nichos ecológicos. Algumas formam parte da microbiota intestinal de humanos e outros animais, relata Koneman (2001).

*Bacillus cereus*, que possui ampla distribuição geográfica, sendo encontrada em solos, água e ambiente, foi isolada de uma variedade de alimentos, incluindo verduras, carnes, cereais, leite fresco pasteurizado e leite em pó. A frequência de intoxicação alimentar causada por *Bacillus cereus*, doença mediada por uma toxina, e não uma infecção aumentou nos últimos anos (KONEMAN, 2001).

## 4.2 Resultados das Inoculações dos Bioindicadores

### 4.2.1 Inoculação de *Escherichia coli* na Etapa 1:

Os resultados da concentração inoculada de *Escherichia coli* obtidos com a Equação 3.6 (Capítulo 3) durante a etapa 1 por experimento estão apresentados na Tabela 4.3. Pode-se observar que, exceto no ensaio 3, todos os demais experimentos apresentaram um aumento no recipiente com 2 L em relação ao de 1,5 L e que, comparados à concentração teórica, ambos apresentaram valores consideravelmente superiores. As amostras eram armazenadas na geladeira para evitar o crescimento da população de *Escherichia coli* entre o momento da primeira e última tomadas de ensaio, entre 09 h e 15 h. Porém, houve um intervalo de aproximadamente 03 h entre a retirada das amostras do Laboratório de Saneamento da EEC e os Laboratórios da Faculdade de Farmácia para a execução das análises microbiológicas propriamente ditas.

**Tabela 4.3** - Resultados da concentração inoculada de *Escherichia coli* - Etapa 1:

Ensaio	Volume estoque (V1)	Concentração Estoque (C1)	Volume total amostra (V2)	Concentração Teórica (C2)	Amostra Inoculada 1,5L	Amostra Inoculada 2L
1	186	$86 \times 10^7$	20.000	$8 \times 10^6$	$686,7 \times 10^6$	$770,1 \times 10^6$
2	186	$86 \times 10^7$	20.000	$8 \times 10^6$	$686,7 \times 10^6$	$770,1 \times 10^6$
3	228,57	$70 \times 10^7$	20.000	$8 \times 10^6$	$1299,7 \times 10^6$	$1119,9 \times 10^6$
4	205,12	$78 \times 10^7$	20.000	$8 \times 10^6$	$648,8 \times 10^6$	$727 \times 10^6$
5	202,53	$79 \times 10^7$	20.000	$8 \times 10^6$	$579,4 \times 10^6$	$866,4 \times 10^6$
6	238,8	$67 \times 10^7$	20.000	$8 \times 10^6$	$613,1 \times 10^6$	$920,8 \times 10^6$
7	235,29	$68 \times 10^7$	20.000	$8 \times 10^6$	$648,8 \times 10^6$	$770,1 \times 10^6$
8	238,8	$67 \times 10^7$	20.000	$8 \times 10^6$	$686,7 \times 10^6$	$816,4 \times 10^6$

#### 4.2.2 Inoculação de *Clostridium perfringens* na etapa 1:

Segundo a Equação 3.6 apresentada no item 3.6.3, estão apresentados na Tabela 4.4 os resultados da concentração inoculada de *Clostridium perfringens* obtidos na etapa 1 por ensaio. Pode-se observar que não houve diferença de concentração entre os recipientes de 1,5L e 2L e que, em relação à concentração teórica, ambos apresentaram valores consideravelmente inferiores. As amostras eram armazenadas na geladeira para evitar o crescimento ou declínio da população de *Clostridium perfringens* entre o momento da tomada de ensaio e as análises que aconteceram no dia seguinte, porém em outro laboratório e prédio conforme descrito nos itens 3.5.1 e 3.5.2. Como havia oxigênio no recipiente de armazenamento destas amostras, pode-se indicar que essa pequena concentração de O<sub>2</sub> mais o tempo de espera de 20 a 24h entre coletas e análises, tiveram influência nessa redução. Também foi verificada a diferença de concentração dos 4 primeiros experimentos para os 4 últimos, sendo que na metodologia de tubos múltiplos, essas diferenças expressivas ocorreram em apenas um tubo a mais ter dado resultado positivo, em uma única diluição (ver Anexo C).

**Tabela 4.4** - Resultados da concentração inoculada de *Clostridium perfringens* - Etapa 1:

Ensaio	Volume estoque (V1)	Concentração Estoque (C1)	Volume total amostra (V2)	Concentração Teórica (C2)	Amostra Inoculada 1,5L	Amostra Inoculada 2L
1	1,25	$1,6 \times 10^7$	20.000	1000	240	240
2	1,25	$1,6 \times 10^7$	20.000	1000	240	240
3	1,25	$1,6 \times 10^7$	20.000	1000	240	240
4	1,25	$1,6 \times 10^7$	20.000	1000	240	240
5	40	$5 \times 10^5$	20.000	1000	460	460
6	40	$5 \times 10^5$	20.000	1000	460	460
7	40	$5 \times 10^5$	20.000	1000	460	460
8	40	$5 \times 10^5$	20.000	1000	460	460

#### 4.2.3 Inoculação de *Clostridium perfringens* na etapa 2:

Segundo a Equação 3.6 apresentada no item 3.6.3, estão apresentados na Tabela 4.5 os resultados da concentração inoculada de *Clostridium perfringens* obtidos na etapa 2 por experimento. Pode-se observar que não houve diferença de concentração entre os recipientes

de 1,5L e 2L e que, em relação à concentração teórica, ambos apresentaram valores muito próximos ao teórico, com um pequeno aumento nos valores inoculados, sendo que nesta etapa as amostras não eram armazenadas, pois, como foi trabalhado somente o bioindicador *Clostridium perfringens*, houve um pequeno intervalo de tempo entre o momento da tomada de ensaio e as análises que aconteceram em outro laboratório e prédio conforme descrito nos itens 3.5.1 e 3.5.2, mas no mesmo dia, após a última coleta das 15h. Ainda nesse armazenamento, as amostras ficaram na geladeira até serem devidamente transportadas. Outro fator relevante que manteve a mesma padronização da concentração do estoque foi que nesta etapa os experimentos aconteceram duas vezes na semana, em dias consecutivos, perfazendo 1 mês, ao contrário da etapa 1, que foram 2 meses de experimentos, sendo 1 vez por semana a exposição das garrafas à radiação solar.

**Tabela 4.5** - Resultados da concentração inoculada de *Clostridium perfringens* - Etapa 2:

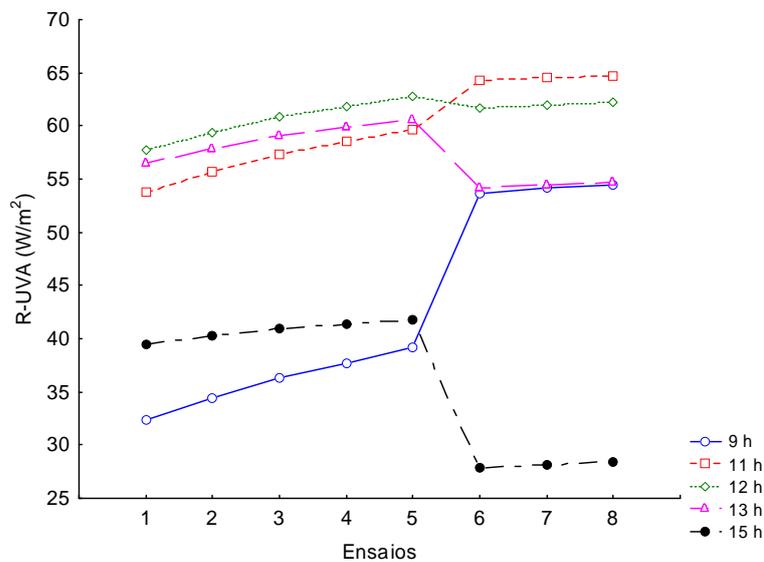
<b>Concentração Estoque (C1)</b>	<b>Volume total amostra (V2)</b>	<b>Concentração Teórica (C2)</b>	<b>Amostra Inoculada 1,5L</b>	<b>Amostra Inoculada 2L</b>
1x10 <sup>5</sup>	20.000	1000	1100	1100
1x10 <sup>5</sup>	20.000	1000	1100	1100
1x10 <sup>5</sup>	20.000	1000	1100	1100
1x10 <sup>5</sup>	20.000	1000	1100	1100
1x10 <sup>5</sup>	20.000	1000	1100	1100
1x10 <sup>5</sup>	20.000	1000	1100	1100
1x10 <sup>5</sup>	20.000	1000	1100	1100
1x10 <sup>5</sup>	20.000	1000	1100	1100

### 4.3 Resultados das Simulações das Medidas de Radiação Solar

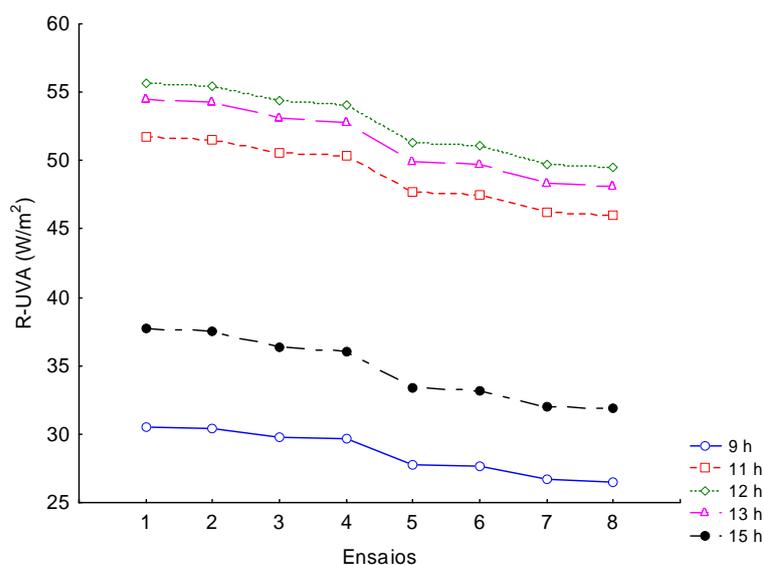
Conforme citado no item 3.4, os dados fornecidos pelo Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá - MG estão disponíveis no Anexo E, relativos aos períodos da etapa 1 e etapa 2, respectivamente. Como não existe um valor padrão de radiação para dentro de laboratórios e os níveis de R-UV em ambientes fechados são mínimos, ao contrário do que muitos pensam, pois, as lâmpadas fluorescentes não emitem UV para o ambiente exterior e também as amostras dos experimentos no tempo zero estavam longe de

janelas abertas, adotou-se zero para a R-UV nas análises estatísticas (CORRÊA, 2007 – comunicação pessoal).

Nas Figuras 4.1 e 4.2, estão os dados de R-UVA ( $\text{W/m}^2$ ) nas etapas 1 e 2, respectivamente, nos horários de retirada das amostras e no horário das 12 h cujos valores foram os maiores alcançados em determinados dias dos experimentos. Os três últimos experimentos da etapa 1 foram realizados das 10:00 h às 16:00 h, em virtude do horário de verão que teve início em 14/10/2007.



**Figura 4.1** – Comportamento da R-UVA nos 8 experimentos em set/out 2007



**Figura 4.2** – Comportamento da R-UVA nos 8 experimentos em abril/maio 2008

#### 4.4 Resultados dos Estudos da Etapa 1

Os resultados são apresentados em taxa de desinfecção, que é expressa como  $\log(N/N_0)$ , onde  $N$  e  $N_0$  são a concentração final e inicial do microrganismo indicador, respectivamente.

Os resultados de cada bioindicador foram registrados em planilha específica de acompanhamento durante os experimentos e tabelas foram elaboradas a partir destes dados das análises microbiológicas e físico-químicas e, estão disponíveis nos tópicos relativos aos dados de *Escherichia coli* etapa 1, *Clostridium perfringens* etapa 1 e *Clostridium perfringens* etapa 2.

A análise estatística está subdividida em dois itens: 4.4 e 4.5 conforme a etapa de realização dos experimentos. Foi usado o programa interativo STATISTICS sendo que para a adaptação ao programa, alguns dados tiveram sua forma de apresentação modificados nas Tabelas 4.6, 4.8 e 4.13 e, assim, temos:

- Ensaio: relativo aos oito experimentos realizados: 1 a 8;
- Tempo: relativo aos tempos de exposição à radiação solar, sendo: a) 0 h (ou seja, sem exposição à R-UVA); b) 2 h; c) 4 h; e d) 6 h;
- Volume: relativo aos dois volumes de água colocados nas garrafas de PET, sendo p (pequeno) para 1,5L e g (grande) para 2L;
- Concentrador solar: s) sem o uso do concentrador solar e c) com o uso do concentrador solar;
- Radiação: relativo aos valores de R-UVA ( $W/m^2$ ) fornecidos pelo Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá, constantes no Anexo E, sendo que no tempo a, de 0 h, a radiação foi considerada também zero.

##### 4.4.1 Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do *Clostridium perfringens* na Etapa 1

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do *Clostridium perfringens* na Etapa 1 estão dispostos na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do *Clostridium perfringens* na Etapa 1**

Log (N/N0)	NMP/100mL	% Sobreviventes	ENSAIO	TEMPO	VOLUME	RADIAÇÃO	TEMPERATURA	OD	pH	TURBIDEZ	COR
0	240	NA	1	a	p	0	26,45	5,68	6,44	11,05	41
0	240	NA	2	a	p	0	26,75	6,43	6,34	2,56	10,5
0	240	NA	3	a	p	0	27,8	5,1	6,22	7,53	42
0	240	NA	4	a	p	0	27,7	5,76	6,16	7,68	92
0	460	NA	5	a	p	0	27,3	6,18	6,09	10,95	125
0	460	NA	6	a	p	0	27,4	5,93	6,24	8,2	61
0	460	NA	7	a	p	0	27,5	5,95	6,25	9,01	89
0	460	NA	8	a	p	0	28,8	6,54	6,23	11,85	141
-0,8616973	33	13,75%	1	b	p	53,7333	36,65	7,05	6,39	11,72	44,75
-0,20411998	150	62,50%	2	b	p	55,6167	37,67	8,45	6,42	2,57	14
-1,17609126	16	6,67%	3	b	p	57,3498	41,1	7,49	6,35	6,38	40
-0,19836765	152	63,33%	4	b	p	58,5107	38,1	7,07	6,22	8,46	108,5
-0,48666657	150	32,61%	5	b	p	59,6698	41,87	7,5	6,18	9,37	105,3
-0,48666657	150	32,61%	6	b	p	64,2113	39,75	7,8	6,3	7,8	68,2
-0,29820684	231,5	50,33%	7	b	p	64,5496	39,9	8,4	6,32	7,93	80,8
-0,29726985	232	50,43%	8	b	p	64,7282	43,55	11	6,31	8,71	134,8
-1,68124124	5	2,08%	1	c	p	56,5001	41,77	7,9	6,59	10,85	43
-1,63984855	5,5	2,29%	2	c	p	57,9001	42,9	8,37	6,47	2,48	14
-1,47712125	8	3,33%	3	c	p	59,1192	46,25	7,44	6,39	6,16	51
-1,01848341	23	9,58%	4	c	p	59,899	43,7	7,44	6,28	8	106,5
-0,78769657	75	16,30%	5	c	p	60,6444	47,02	7,41	6,23	9,16	144,8
-0,78769657	75	16,30%	6	c	p	54,2503	43,91	8,21	6,37	7,31	73,1
-1,96378783	5	1,09%	7	c	p	54,5159	44	8,6	6,39	7,47	87,9
-1,96378783	5	1,09%	8	c	p	54,7143	42,2	11,78	6,36	7,71	123,5
-1,68124124	5	2,08%	1	d	p	39,4373	42,3	8,35	6,53	10,59	44,75
-1,60569428	5,95	2,48%	2	d	p	40,2543	43,05	8,53	6,53	1,86	9,5
-1,91781324	2,9	1,21%	3	d	p	40,9293	46,65	7,82	6,44	4,99	49,5
-0,57403127	64	26,67%	4	d	p	41,351	45,4	7,94	6,37	7,44	107,3
-0,78769657	75	16,30%	5	d	p	41,7562	43,7	7,01	6,31	7,36	149
-0,78769657	75	16,30%	6	d	p	27,7989	43,8	7,92	6,43	7,19	74,9
-0,89932984	58	12,61%	7	d	p	28,1497	46,2	7,98	6,45	7,21	88
-0,90688298	57	12,39%	8	d	p	28,4654	48,72	8,09	6,48	11,01	129
0	240	NA	1	a	g	0	26,4	5,95	6,42	16,35	79,5
0	240	NA	2	a	g	0	26,95	5,98	6,36	2,87	17,5
0	240	NA	3	a	g	0	27,65	5,39	6,19	6,95	40,5
0	240	NA	4	a	g	0	27,7	5,43	6,14	8,57	80,5
0	460	NA	5	a	g	0	27,4	6,26	6,1	8,58	107,5
0	460	NA	6	a	g	0	27,4	5,89	6,21	8,9	77
0	460	NA	7	a	g	0	27,5	5,95	6,24	9,5	80
0	460	NA	8	a	g	0	28,7	6,55	6,21	11,95	142,5
-1,68560604	4,95	2,06%	1	b	g	53,7333	35	8,05	6,37	17,32	61
-1,47712125	8	3,33%	2	b	g	55,6167	36,5	8,45	6,38	2,24	13,25
-0,82390874	36	15,00%	3	b	g	57,3498	40,2	6,84	6,31	5,99	41,5
-0,19836765	152	63,33%	4	b	g	58,5107	37,25	6,21	6,15	8,39	98,25
-0,48666657	150	32,61%	5	b	g	59,6698	41,12	7,68	6,09	7,96	114,5
-0,48666657	150	32,61%	6	b	g	64,2113	37,3	7,35	6,24	8,38	70,1
-0,29820684	231,5	50,33%	7	b	g	64,5496	39,6	7,39	6,28	8,7	81
-0,29726985	232	50,43%	8	b	g	64,7282	40,8	6,99	6,3	9,37	124
-1,68560604	4,95	2,06%	1	c	g	56,5001	40,72	8,2	6,42	13,2	53,25
-1,00914338	23,5	9,79%	2	c	g	57,9001	42,1	8,43	6,39	2,11	12,25
-1,01848341	23	9,58%	3	c	g	59,1192	46,6	7,67	6,3	5,22	47,75
-1,42596873	9	3,75%	4	c	g	59,899	44,27	6,52	6,19	8,14	103,3
-0,48666657	150	32,61%	5	c	g	60,6444	46,95	7,79	6,11	7,54	128,8
-0,48666657	150	32,61%	6	c	g	54,2503	43,79	7,9	6,27	7,39	74,1
-1,54881448	13	2,83%	7	c	g	54,5159	43,91	8,01	6,29	7,45	80,2
-1,53242406	13,5	2,93%	8	c	g	54,7143	42,95	9,14	6,28	8,33	117,3
-1,68560604	4,95	2,06%	1	d	g	39,4373	42,62	7,2	6,68	12,27	52
-1,84239215	3,45	1,44%	2	d	g	40,2543	42,7	8,28	6,39	1,83	12,5
-1,84239215	3,45	1,44%	3	d	g	40,9293	47,75	7,04	6,27	5,31	48,75
-0,56066731	66	27,50%	4	d	g	41,351	45,82	6,4	6,24	7,08	124,8
-0,48666657	150	32,61%	5	d	g	41,7562	44,35	7,81	6,15	6,87	143
-0,48666657	150	32,61%	6	d	g	27,7989	42,7	7,15	6,3	6,78	80
-0,4823452	151,5	32,93%	7	d	g	28,1497	42,9	7,25	6,4	6,8	86,5
-0,48666657	150	32,61%	8	d	g	28,4654	33,72	6,48	6,41	7,41	117,8

Foi feita uma análise de Co-Variância em bloco – ANCOVA onde as variáveis tempo e volume foram consideradas categóricas pela quantidade de valores que elas assumem. A radiação não é constante ao longo do dia, mas foi considerada porque se deve considerar o máximo dentro do sistema. A radiação e a inativação do microrganismo *Clostridium perfringens* são contínuos e a inativação de *Clostridium Perfringens* é também variável dependente. A variável contínua é aquela que assume valores em intervalos da reta real e não é possível enumerar todos os valores. Geralmente esta variável provém de medições.

A radiação é uma co-variável que é uma variável preditora quantitativa e que vai prever a inativação do bioindicador. As duas variáveis categóricas, tempo e volume, mais a variável contínua radiação caracterizam a ANCOVA.

#### 4.4.1.1 Resultados da Inativação de *Clostridium perfringens* na Etapa 1

A inativação do *Clostridium perfringens* em função do tempo de exposição à R-UVA para os diferentes volumes de água inoculada nas garrafas de PET mostrou não haver diferença significativa nos resultados alcançados, embora possa ser observado na Figura 4.3 que as garrafas de 1,5 L apresentaram maiores inativações nos tempos 4 e 6 h de exposição em relação às de 2 L. A diferença de volume entre 2 L e 1,5 L pode ter sido muito pequena para que tanto a espessura da lâmina d'água quanto a quantidade de oxigênio tivessem relevância para o estudo, ainda mais levando em consideração que nas garrafas de 2 L havia espaço para a presença de oxigênio, já que a mesma não ficou completamente cheia com água.

Na Tabela 4.7 estão os resultados da ANCOVA para a inativação de *Clostridium perfringens* na etapa 1 (set/out 2007) na Escola de Engenharia Civil – UFG em Goiânia. Na Figura 4.3 foi observada diferença na inativação do *Clostridium perfringens* entre 2 h e 4 h de exposição, sendo que em 4 h a inativação média foi significativamente maior que em 2 h. Em 6 h obteve-se a maior média de inativação deste bioindicador. Para as garrafas de 1,5 L no tempo de 6 h, a inativação média de *Clostridium Perfringens* foi 1,5-Log, enquanto que para as garrafas de 2 L, a inativação média para *Clostridium Perfringens* foi aproximadamente 1,25- Log.

**Tabela 4.7** - Resultados da ANCOVA para a inativação de *Clostridium perfringens* na etapa 1 (set/out 2007) na Faculdade de Engenharia Civil – UFG em Goiânia

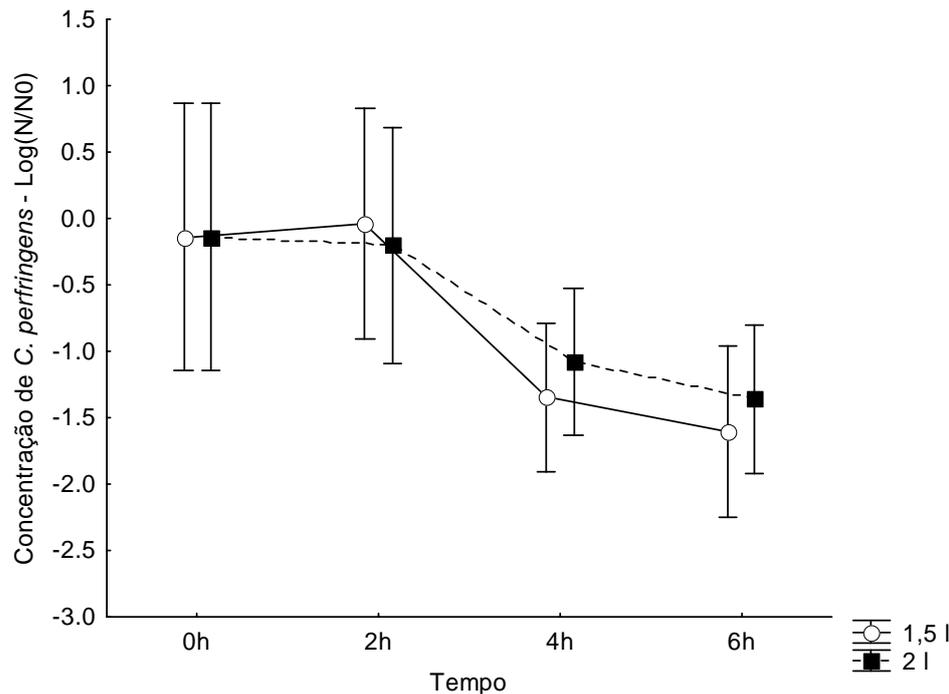
	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F <sup>(1)</sup>	p <sup>(2)</sup>
Intercepto	0,28996	1	0,289963	1,41242	0,239761
RADIAÇÃO	0,00302	1	0,003019	0,01470	0,903924
TEMPO	7,00821	3	2,336069	11,37908	0,000007
VOLUME	0,04348	1	0,043480	0,21179	0,647181
TEMPO*VOLUME	0,53276	3	0,177586	0,86503	0,464809
Erro	11,29123	55	0,205295		
	10,74708	54	0,199020		

(1) F = distribuição

(2) p = significância

F é a distribuição para duas populações normalmente distribuídas com variâncias iguais, a distribuição amostral da estatística de teste é a distribuição F. Possui as seguintes características: não é simétrica, assume valores positivos ou zero, mas nunca negativos e há uma distribuição F diferente para cada par de graus de liberdade.

O valor probabilístico p determina se as duas variâncias provêm da mesma distribuição. Em geral considera-se o valor  $p = 0,05$  como o valor crítico (95%). Na prática as variâncias são diferentes (ou seja, provêm de distribuições diferentes) se o valor p for inferior a 0,05. Neste caso pode aceitar-se como significativo o modelo de regressão. Na prática, quanto menor o valor de p melhor será o modelo.



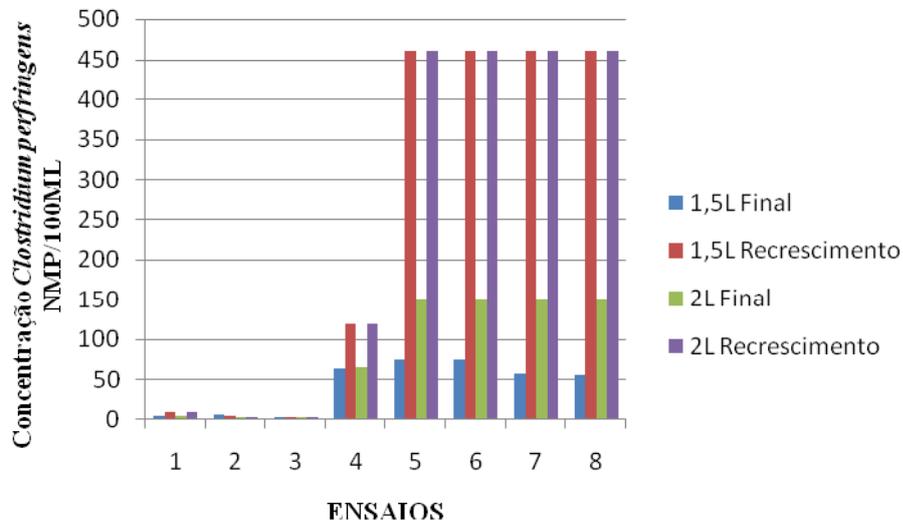
**Figura 4.3** – Inativação de *Clostridium perfringens* em função do tempo de exposição na etapa 1 (set/out 2007)

A porcentagem de inativação esperada de 30% para o *Clostridium perfringens* foi alcançada, sendo que os valores variaram entre o mínimo de 36,67% e máximo de 98,91%, dados obtidos da Tabela 4.6 através da diferença calculada individualmente entre a porcentagem de sobreviventes subtraído de 100%.

#### 4.4.1.2 Recrescimento de *Clostridium perfringens* na Etapa 1

A concentração de *Clostridium perfringens* obtida após a SODIS, ou seja, a amostra retirada após 6 h de exposição é proporcional a quantidade de *Clostridium perfringens* obtida após 3 dias de armazenamento para avaliar o potencial de recrescimento bacteriano. Assim, quando se consegue reduzir a concentração ao final da SODIS para praticamente zero, também o recrescimento observado nos três primeiros ensaios na Figura 4.4 é mínimo.

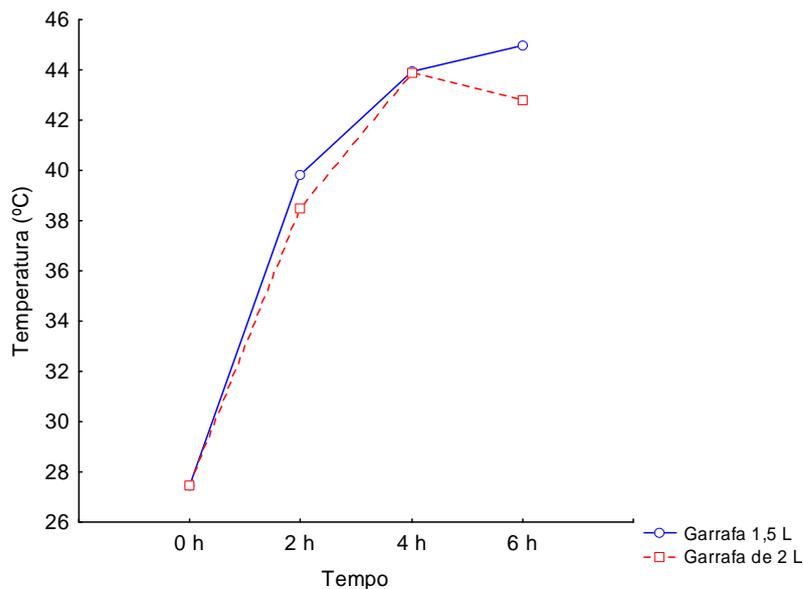
Estes resultados indicam que pode ocorrer um recrescimento significativo de microrganismos após o processo SODIS. Esse comportamento deve-se ao fato da radiação solar não apresentar efeito residual e a temperatura da água arrefecer lentamente, permanecendo alta e passando sempre pela temperatura de incubação utilizada para promover a proliferação de bactérias como as utilizadas nesse estudo.



**Figura 4.4** – Recrescimento de *Clostridium perfringens* na etapa 1

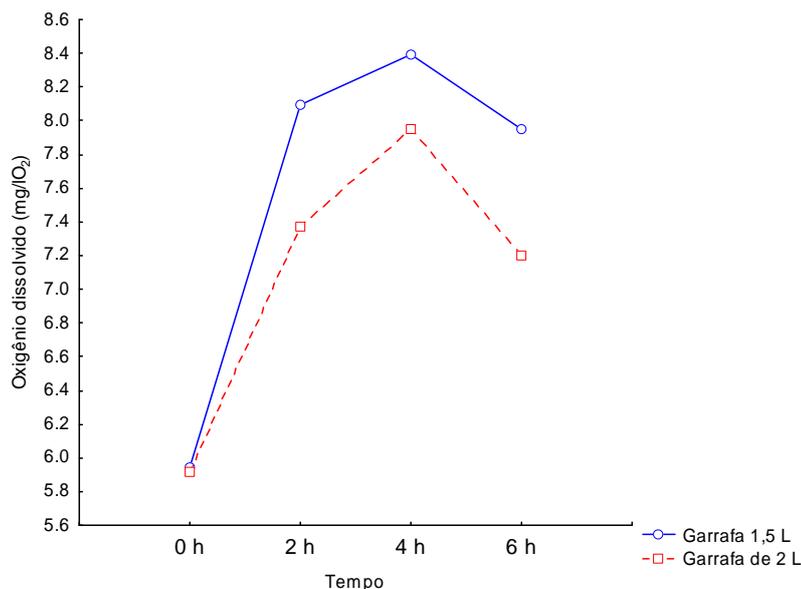
#### 4.4.1.3 Análise dos Parâmetros Físico-Químicos para *Clostridium perfringens* na Etapa 1

A temperatura média nos intervalos de tomada de ensaio ou retirada das amostras pode ser verificada na Figura 4.5. Os maiores valores individuais alcançados para as garrafas de 1,5 L e 2 L, após a SODIS, foram 48,72 °C e 47,75 °C respectivamente, abaixo do valor de 50 °C para o processo SOPAS.



**Figura 4.5** – Temperaturas médias em função do tempo de exposição

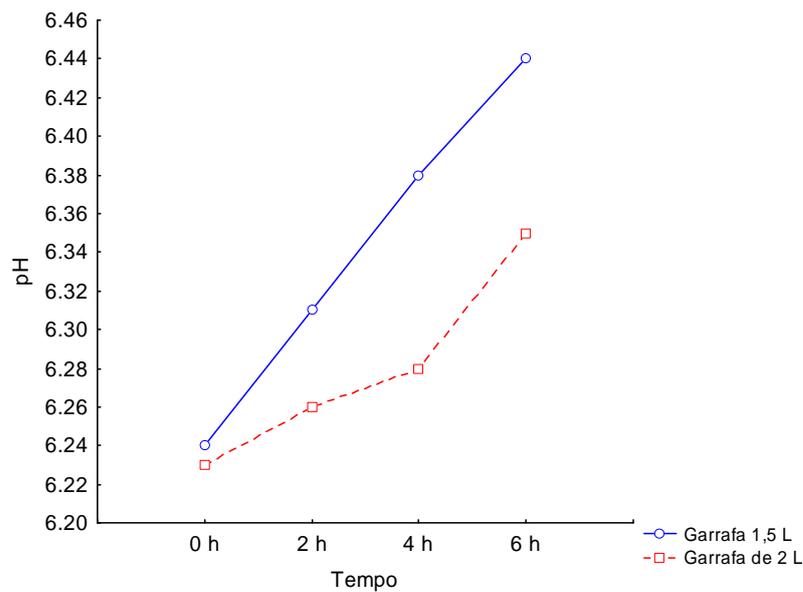
Os valores médios de oxigênio dissolvido segundo os horários de retirada das amostras estão descritos na Figura 4.6. Os maiores valores individuais encontrados para OD após a SODIS nas garrafas de 1,5 L foi 11,78 mg/L O<sub>2</sub> e nas garrafas de 2 L foi 9,14 mg/L O<sub>2</sub>. Pode-se observar que as diferenças nas médias das garrafas de 1,5 L e 2 L foram mínimas. Não houve diferença na concentração de OD entre os volumes de 1,5 L e 2 L, segundo teste de t (média do volume de 1,5L = 7,59; média do volume de 2 L = 7,11; t = 1,62; gl= 62; p = 0,1).



**Figura 4.6** – Valores médios de oxigênio dissolvido em função do tempo de exposição

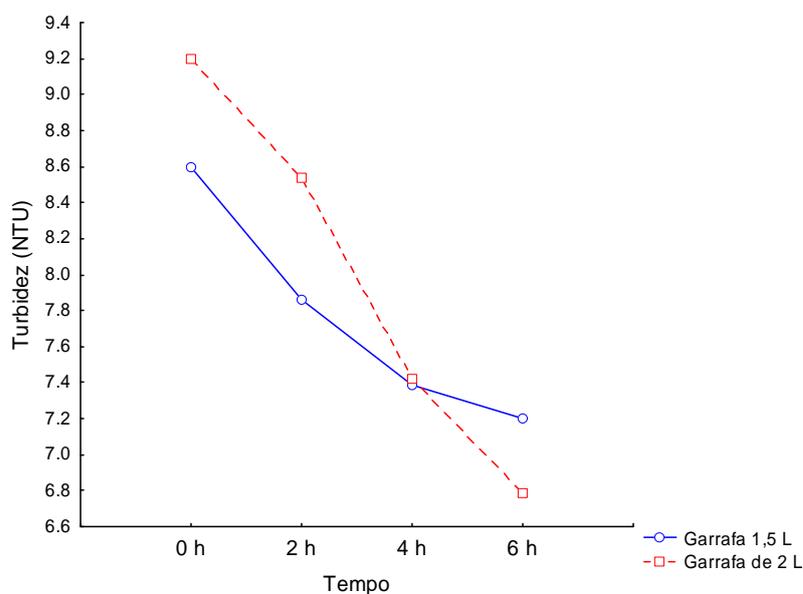
As amostras para as análises físico-químicas foram retiradas das garrafas de PET imediatamente após os intervalos de exposição à radiação solar (2, 4 e 6h), sendo então transferidas para béqueres de vidro para serem submetidas às medições de acordo com os ensaios. Nas análises de oxigênio dissolvido o sensor da sonda utilizada era mantida em movimentos circulares contínuos e lentos dentro do béquer contendo a amostra por aproximadamente 01 minuto e, após, eram tomados dois valores e depois feita a média deles.

As médias para o pH de acordo com as retiradas de amostras estão na Figura 4.7. Neste parâmetro físico-químico, também foi verificada uma pequena diferença entre os valores médios encontrados para as garrafas de 1,5 L e 2 L. Os valores individuais máximos de pH após a SODIS foram 6,59 para 1,5 L e 6,68 para 2 L. A escala proposta no gráfico da Figura 4.7 apresenta uma faixa estreita cujo intuito foi facilitar a visualização dos pontos nos intervalos de tempo das tomadas de ensaio, já que não houve variação significativa entre eles.



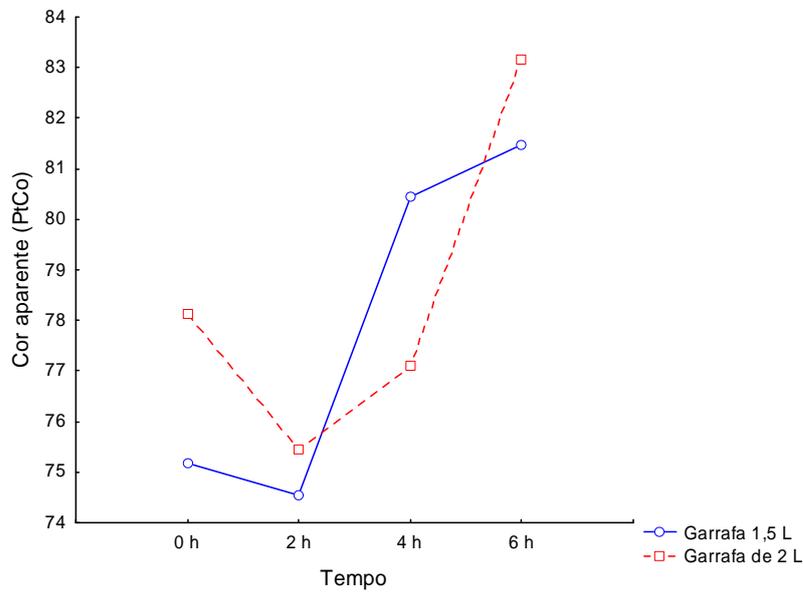
**Figura 4.7** – Valores médios de pH em função do tempo de exposição

Os valores médios da turbidez estão dispostos na Figura 4.8 e, conforme observado, são mínimas as diferenças entre os encontrados para as garrafas de 1,5 L e 2 L. Os maiores valores individuais encontrados após a SODIS para turbidez nas garrafas de 1,5 L foi 11,85 uT e nas garrafas de 2 L foi 17,32 uT, ainda abaixo do máximo permitido para a SODIS, que é 30 uT.



**Figura 4.8** – Turbidez média em função do tempo de exposição

As médias para a cor aparente nos intervalos de retirada das amostras pode ser verificada na Figura 4.9. Os maiores valores individuais alcançados após a SODIS para as garrafas de 1,5 L e 2 L foram 149 uC (PtCo) e 143 uC (PtCo), respectivamente.



**Figura 4.9** – Valores médios para cor aparente em função do tempo de exposição

#### 4.4.2 Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da *Escherichia coli* na Etapa 1

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da *Escherichia coli* na Etapa 1 estão dispostos na Tabela 4.8.

**Tabela 4.8** - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da *Escherichia coli* na Etapa 1

Log(N/N0)	E coli	ENSAIO	TEMPO	VOLUME	RADIAÇÃO	TEMPERATURA	OD	pH	TURBIDEZ	COOR
0	6,87E+04	1	a	p	0	26,5	5,95	6,56	19,45	103,5
0	6,87E+04	2	a	p	0	26,7	6,17	6,42	3,81	48
0	1,30E+03	3	a	p	0	27,7	5,81	6,49	8,39	75,5
0	6,49E+04	4	a	p	0	27,6	5,89	6,36	7,75	75,5
0	5,79E+04	5	a	p	0	27,3	6,45	6,43	12,55	105
0	6,13E+04	6	a	p	0	27,3	5,96	6,4	9,76	81
0	6,49E+04	7	a	p	0	27,4	5,98	6,5	9,98	84
0	6,87E+04	8	a	p	0	28,3	5,58	6,49	7,41	87,5
-2,352467208	3,05E+02	1	d	p	39,4373	40,6	7,9	6,73	21,17	112
-2,352467208	3,05E+02	2	d	p	40,2543	41,95	8,2	6,62	3,39	53,25
-1,159600609	9,00E+01	3	d	p	40,9293	46	8,35	6,66	6,71	89,25
-2,97326175	6,90E+01	4	d	p	41,351	42,3	8,36	6,61	6,8	112
-2,601610489	1,45E+02	5	d	p	41,7562	41,95	8,47	6,6	8,86	151,75
-2,626163314	1,45E+02	6	d	p	27,7989	40,51	8,1	6,55	8,84	104
-4,467620322	2,21E+00	7	d	p	28,1497	40,76	8,2	6,65	8,95	110
-4,468387176	2,34E+00	8	d	p	28,4654	31	7,56	6,43	6,43	123,75
0	7,70E+04	1	a	g	0	26,35	5,7	6,54	19,15	105
0	7,70E+04	2	a	g	0	26,9	6,16	6,4	3,75	46,5
0	1,12E+03	3	a	g	0	27,7	5,89	6,48	7,22	71,5
0	7,27E+04	4	a	g	0	27,6	5,7	6,29	7,6	76
0	8,66E+04	5	a	g	0	27,3	6,15	6,39	12,3	99,5
0	9,21E+04	6	a	g	0	27,3	5,7	6,41	9,28	80,3
0	7,70E+04	7	a	g	0	27,4	5,9	6,43	9,79	82,2
0	8,16E+04	8	a	g	0	28,3	5,28	6,43	7,24	89
-1,920405391	9,25E+02	1	d	g	39,4373	40	6,72	6,52	17,3	99,75
-1,895321048	9,80E+02	2	d	g	40,2543	41,9	8,04	6,51	3,24	50,5
-0,887811242	1,45E+02	3	d	g	40,9293	45,6	8,42	6,52	6,31	88,5
-3,636225129	1,68E+01	4	d	g	41,351	42,8	7,73	6,47	6,75	120,75
-2,213442574	5,30E+02	5	d	g	41,7562	42,75	8,33	6,45	7,37	149,75
-2,239889441	5,30E+02	6	d	g	27,7989	40,4	7,7	6,47	7,89	104,6
-3,148163	5,48E+01	7	d	g	28,1497	40,7	7,9	6,49	7,91	106,5
-3,159086565	5,66E+01	8	d	g	28,4654	31	7,56	6,43	6,43	123,75

Na análise estatística deste bioindicador, foi feita uma ANOVA, pois apenas tempo e volume são considerados, já que a radiação só foi avaliada nas 6 h de exposição.

#### 4.4.2.1 Resultados da Inativação de *Escherichia coli* na Etapa 1

A Tabela 4.9 mostra os resultados da ANOVA para a inativação de *Escherichia coli* na etapa 1 (set/out 2007) na Escola de Engenharia Civil – UFG em Goiânia. Segundo a Figura 4.10, a concentração da *Escherichia coli* tende a zero no tempo de 6 h de exposição.

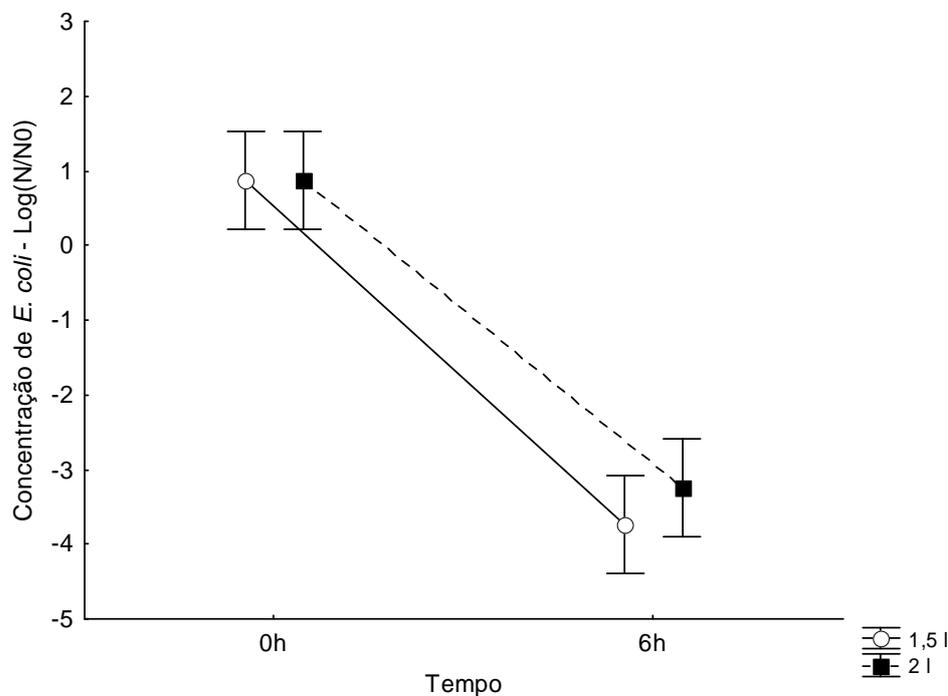
Tanto tempo quanto a interação tempo e volume não foi significativa. Os dois volumes se comportaram da mesma forma ao longo do tempo. Na Figura 4.10 pode-se verificar que praticamente não existe diferença na inativação da *Escherichia coli* entre os dois volumes, sendo que para a garrafa de 2 L a inativação esteve mais próxima de 3-Log e na garrafa de 1,5 L próxima a 4-Log, indicando que o decaimento da *Escherichia coli* após as 6 h de exposição foi significativo.

**Tabela 4.9** - Resultados da ANOVA para a inativação de *Escherichia coli* na etapa 1 (set/out 2007) na Escola de Engenharia Civil – UFG em Goiânia

	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F <sup>(1)</sup>	p <sup>(2)</sup>
Intercepto	55,39287	1	55,39287	109,1858	0,000000
TEMPO	55,39287	1	55,39287	109,1858	0,000000
VOLUME	0,47561	1	0,47561	0,9375	0,341214
TEMPO*VOLUME	0,47561	1	0,47561	0,9375	0,341214
Erro	14,20515	28	0,50733		

(1) F = distribuição

(2) p = significância



**Figura 4.10** – Inativação de *Escherichia coli* em função do tempo de exposição na etapa 1 (set/out 2007)

Embora a Figura 4.10 apresente uma reta, o decaimento não é linear, mas em função das tomadas de ensaio terem sido feitas somente no tempo zero e final, ou seja, após as 6h de exposição à radiação solar.

#### 4.4.2.2 Recrescimento da *Escherichia coli* na Etapa 1

Assim como para *Clostridium perfringens* houve um recrescimento proporcional à concentração final de *Escherichia coli* após a SODIS, conforme observado na Tabela 4.10.

Apenas nas amostras em que a desinfecção foi feita utilizando o concentrador solar, independente da condição climática e a temperatura média alcançada foi da ordem de 70 °C com 4 horas de exposição, não houve o recrescimento de bactérias do grupo coliformes nem *Escherichia coli*. Nessas condições segundo Sommer et al. (1997), tem-se um processo de pasteurização solar (SOPAS) e não de desinfecção solar, sendo utilizado este termo pasteurização como um processo que inibe qualquer possibilidade de recrescimento de bactérias.

**Tabela 4.10** – Recrescimento de *Escherichia coli* na etapa 1

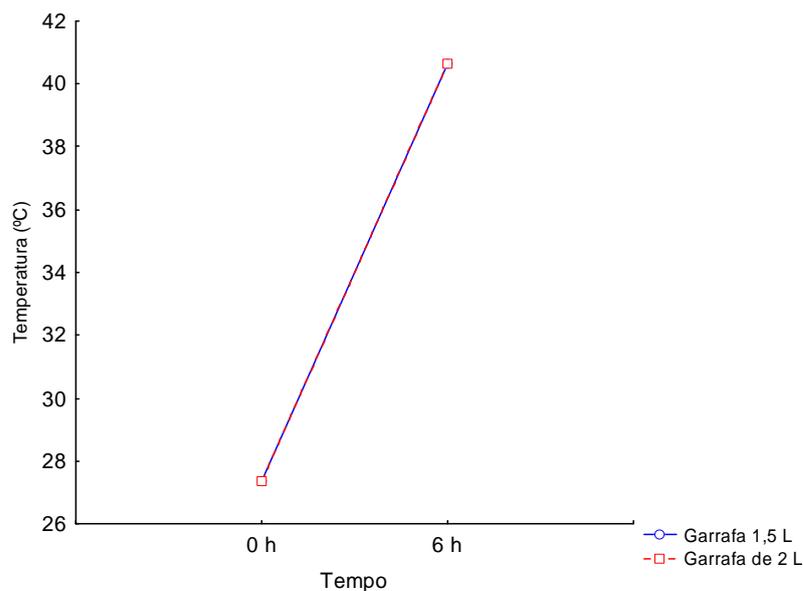
<b>Concentração de <i>Escherichia coli</i> - NMP/100 mL</b>				
<b>Ensaio</b>	<b>1,5L Final</b>	<b>1,5L Recrescimento</b>	<b>2L Final</b>	<b>2L Recrescimento</b>
1	$3 \times 10^2$	$1553 \times 10^2$	$9,25 \times 10^2$	$161 \times 10^2$
2	$3 \times 10^2$	$135 \times 10^2$	$9,8 \times 10^2$	$22 \times 10^2$
3	$0,9 \times 10^2$	$46 \times 10^2$	$1,45 \times 10^2$	$44 \times 10^2$
4	$69 \times 10^2$	$1414 \times 10^2$	$17 \times 10^2$	$162 \times 10^2$
5	$1,45 \times 10^2$	$228 \times 10^2$	$5,3 \times 10^2$	$30760 \times 10^2$
6	$1,45 \times 10^2$	$238 \times 10^2$	$5,3 \times 10^2$	$32550 \times 10^2$
7	$221 \times 10^2$	$19890 \times 10^2$	$55 \times 10^2$	$233 \times 10^2$
8	$233 \times 10^2$	$24890 \times 10^2$	$57 \times 10^2$	$328 \times 10^2$

#### 4.4.2.3 Análise dos Parâmetros Físico-Químicos para *Escherichia coli* na Etapa 1

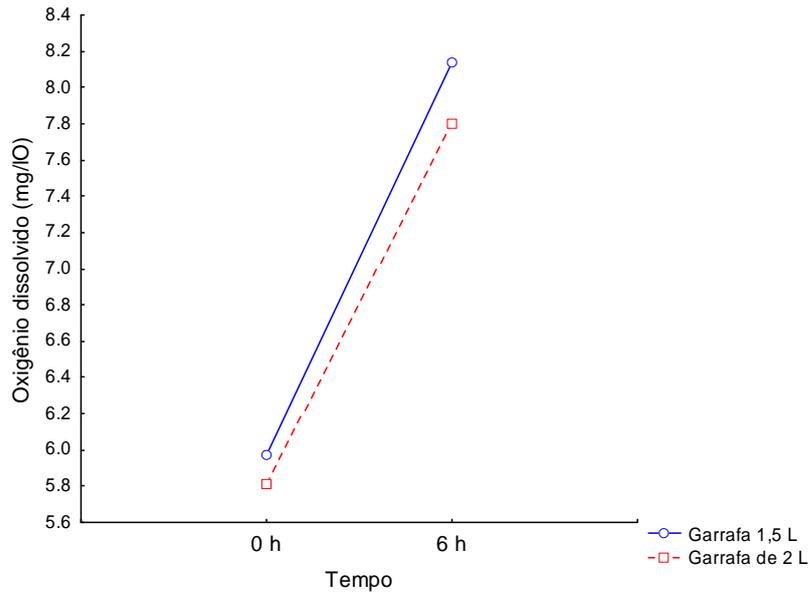
As Figuras 4.12 a 4.16 mostram todos os valores médios dos parâmetros físico-químicos avaliados na etapa 1 para o bioindicador *Escherichia coli*, assim como os realizados para o *Clostridium perfringens*, exceto que as retiradas de amostras foram somente nos tempos inicial (09:00 h) e final (15:00 h), pois, em Fleury (2006) esses estudos foram

aprofundados, tornando-se desnecessários aqui. Pode-se observar que as diferenças nas médias obtidas entre as garrafas de 1,5 L e 2 L são muito insignificantes, sendo que nas amostras das 15:00 h, para quase todos os parâmetros apresentados houve um leve declínio nas médias das garrafas de 2 L em relação a 1,5 L, somente a temperatura apresentou valores praticamente iguais conforme a sobreposição das retas observada na Figura 4.12.

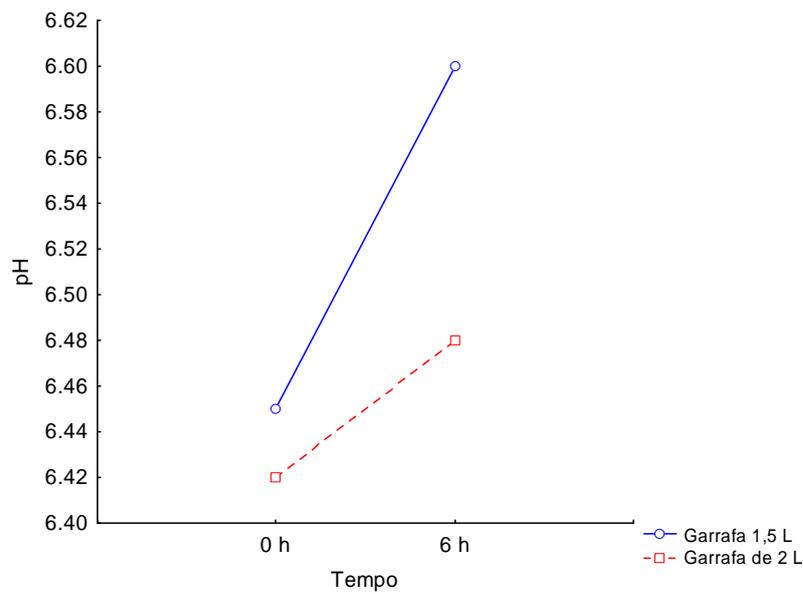
Na análise dos valores individuais máximos obtidos nos experimentos, foram encontrados para temperatura 46 °C para 1,5 L e 45,6 ° C para 2 L, enquanto que para o oxigênio dissolvido foram 8,47 mg/L O<sub>2</sub> e 8,42 mg/L O<sub>2</sub> para 1,5 L e 2 L respectivamente. Já o pH apresentou os valores máximos de 6,73 para as garrafas de 1,5 L e 6,54 para 2 L e, a turbidez máxima para 1,5 L foi 21,17 uT e 19,15 uT para 2 L. Finalmente, o parâmetro cor aparente indicou os valores 151,75 uC (PtCo) para as garrafas de 1,5 L e 149,75 uC (PtCo) para as de 2 L.



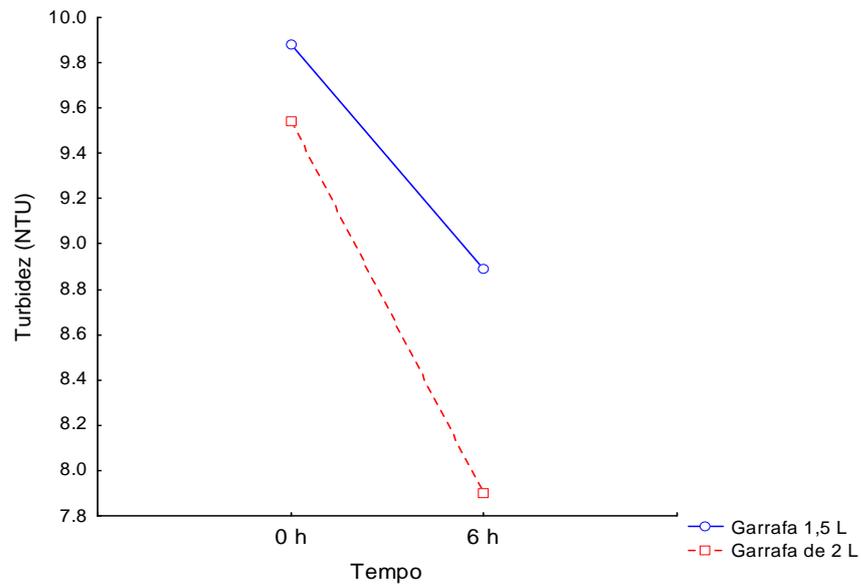
**Figura 4.11** - Comparação da temperatura média da água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L



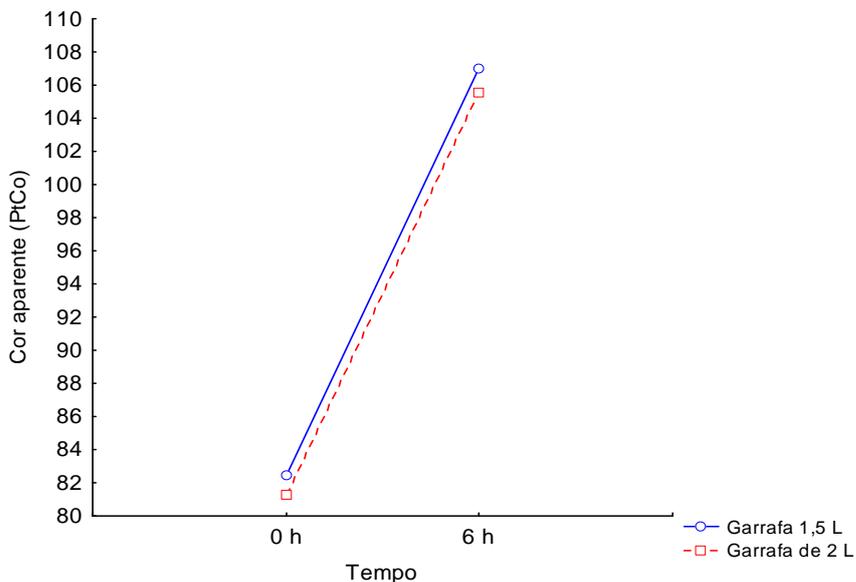
**Figura 4.12** - Comparação dos valores médios do oxigênio dissolvido na água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L



**Figura 4.13** - Comparação dos valores médios do pH na água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L



**Figura 4.14** - Comparação dos valores médios de turbidez na água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L



**Figura 4.15** - Comparação dos valores médios de cor aparente na água exposta por 6 h nas garrafas com 1,5 L e 2 L

A matriz de correlação apresentada na Tabela 4.11 mostra com o símbolo asterístico todos os parâmetros físico-químicos avaliados na etapa 1 (set/out 2007) e que estão correlacionados. Assim, verificamos que a radiação possui uma correlação expressiva com a temperatura e oxigênio dissolvido, ou seja, quando os valores da radiação se elevam, os valores para temperatura e OD também aumentam. Além da temperatura apresentar-se muito

correlacionada com a radiação e OD como já mencionado, existe uma menor correlação com o pH, e este, por sua vez, também possui uma correlação baixa com a temperatura e OD. A cor está correlacionada negativamente com o pH e positivamente com a turbidez e, assim, quando os valores da cor aparente aumentam, o pH diminui e a turbidez também aumenta. Portanto, a Tabela 4.11 é bastante útil para entendermos a correlação existente entre todos estes parâmetros que foram analisados nesse projeto.

**Tabela 4.11** – Matriz de correlação dos parâmetros físico-químicos avaliados na etapa 1 (set/out 2007)

	RADIAÇÃO	TEMPERATURA	OD	pH	TURBIDEZ	COR
RADIAÇÃO	1,00	0,79*	0,67*	0,18	-0,15	0,01
TEMPERATURA	0,79*	1,00	0,66*	0,31*	-0,23	0,12
OD	0,67*	0,66*	1,00	0,38*	-0,18	0,03
pH	0,18	0,31*	0,38*	1,00	-0,04	-0,49*
TURBIDEZ	-0,15	-0,23	-0,18	-0,04	1,00	0,45*
COR	0,01	0,12	0,03	-0,49*	0,45*	1,00

Nota: \* Parâmetros que estão correlacionados

#### 4.4.3 Análises da Água Bruta (Sem Bioindicadores) na Etapa 1

As Tabelas 4.12 e 4.13 apresentam os resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 1.

**Tabela 4.12** – Resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 1 (setembro 2007)

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 05/09/07</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra A</b>	P01= 35 P02= 41	P01=06 P02= 08
	Média= 38 UFC/mL	Média=07 UFC/mL
<b>Amostra B</b>	P01= 36 P02= 40	P01= 07 P02= 07
	Média= 38 UFC/mL	Média= 07 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 13/09/07</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra A</b>	P01= 35 P02= 35	P01=03 P02= 04
	Média=35 UFC/mL	Média=3,5 UFC/mL
<b>Amostra B</b>	P01= 32 P02= 32	P01=02 P02= 02
	Média=32 UFC/mL	Média= 02 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 21/09/07</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra A</b>	P01= 36 P02= 34	P01=03 P02= 03
	Média=35 UFC/mL	Média=03 UFC/mL
<b>Amostra B</b>	P01= 31 P02= 33	P01=02 P02= 02
	Média=32 UFC/mL	Média= 02 FC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 27/09/07</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra A</b>	P01= 47 P02= 56	P01= 05 P02= 08
	Média= 51,5 FC/mL	Média= 6,5 UFC/mL
<b>Amostra B</b>	P01= 52 P02= 54	P01= 03 P02= 05
	Média= 53 UFC/mL	Média= 04 UFC/mL

**Tabela 4.13** – Resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 1 (outubro 2007)

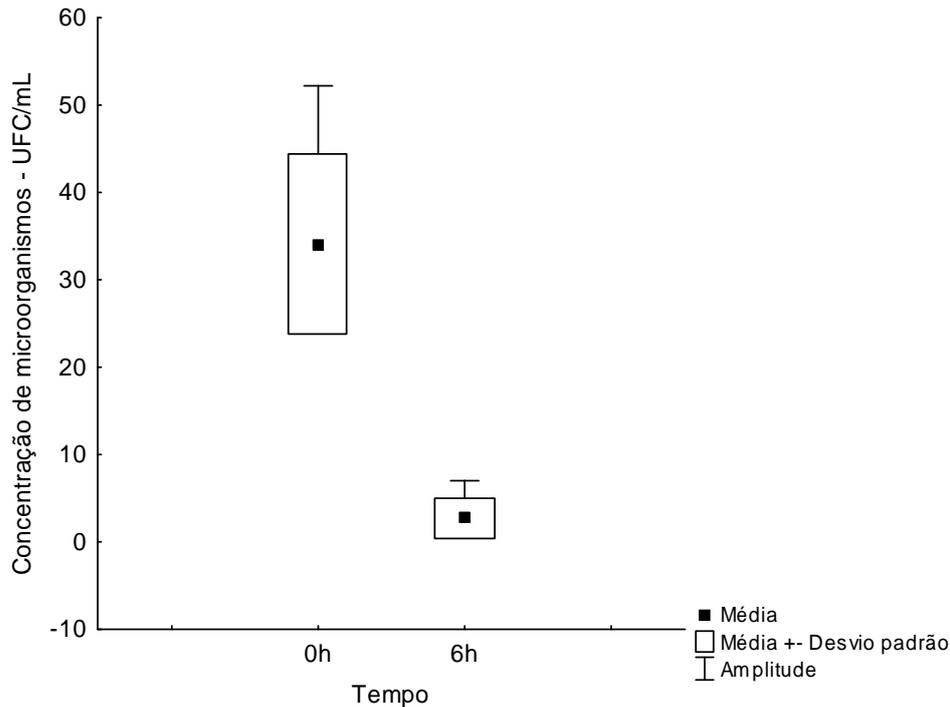
<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 04/10/07</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra A</b>	P01= 24 P02= 25	P01=01 P02= 00
	Média=24,5 UFC/mL	Média=0,5 UFC/mL
<b>Amostra B</b>	P01= 26 P02= 21	P01=00 P02= 03
	Média=23,5 UFC/mL	Média= 1,5 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 19/10/07</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra A</b>	P01= 26 P02= 24	P01=01 P02= 01
	Média= 25 UFC/mL	Média= 01 UFC/mL
<b>Amostra B</b>	P01= 23 P02= 23	P01=02 P02= 01
	Média=23 UFC/mL	Média= 1,5 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 26/10/07</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra A</b>	P01= 25 P02= 25	P01=00 P02= 02
	Média= 25 UFC/mL	Média= 01 UFC/mL
<b>Amostra B</b>	P01= 24 P02= 22	P01=02 P02= 00
	Média=23 UFC/mL	Média= 01 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 31/10/07</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra A</b>	P01= 50 P02= 47	P01=00 P02= 02
	Média= 48,5 UFC/mL	Média= 01 UFC/mL
<b>Amostra B</b>	P01= 30 P02= 46	P01=02 P02= 00
	Média=38 UFC/mL	Média= 01 UFC/mL

A Figura 4.17 mostra a grande diferença na concentração de bactérias heterotróficas totais em UFC/mL no tempo 0 h e após 6 h submetidas à SODIS, sendo que em ambos os tempos essa concentração estava muito abaixo do limite estabelecido que é de 500 UFC/mL, conforme Brasil, 2004. A concentração média antes da SODIS foi de 34,06 UFC/mL e depois foi de 2,71 UFC/mL ( $t = 8,44$ ;  $gl = 14$ ;  $p = 0,000001$ ).



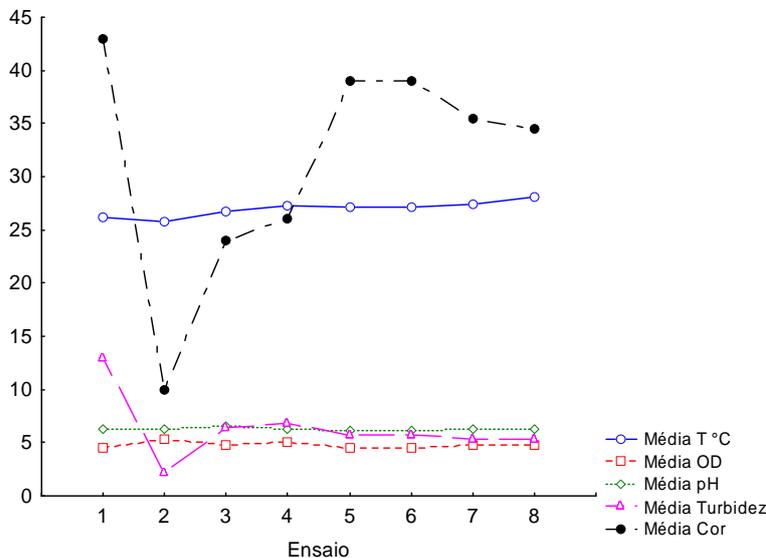
**Figura 4.16** – Inativação de bactérias heterotróficas totais na água bruta em função do tempo de exposição na etapa 1 (set/out 2007)

#### 4.4.3.1 Análise dos Parâmetros Físico-Químicos da Água Bruta na Etapa 1

O comportamento dos parâmetros físico-químicos da água bruta ao longo dos 8 experimentos antes da exposição ao sol, tempo 0 h, pode ser observado na Figura 4.18 e após a SODIS está na Figura 4.19, ambas para garrafas de PET com 1,5 L. Nesta etapa a água bruta foi avaliada para os dois diferentes volumes.

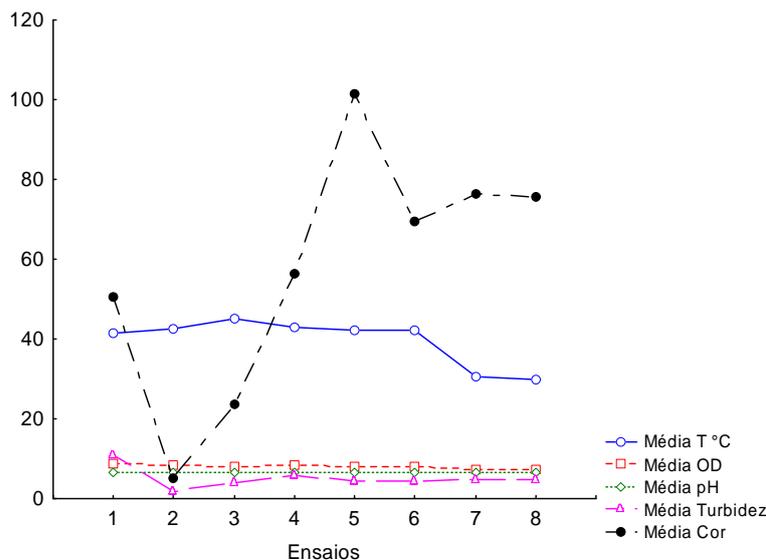
A Figura 4.18 mostra uma média para OD em torno de 5 mg/L O<sub>2</sub> que foi praticamente constante ao longo dos oito experimentos, bem como as médias de pH que ficaram pouco acima. A partir do terceiro experimento as médias de turbidez também ficaram constantes e próxima dos valores de OD e pH. A temperatura média antes da SODIS ficou

estável ao longo dos 8 experimentos e acima de 25 °C, já a cor foi o parâmetro que mais variou nesta etapa.



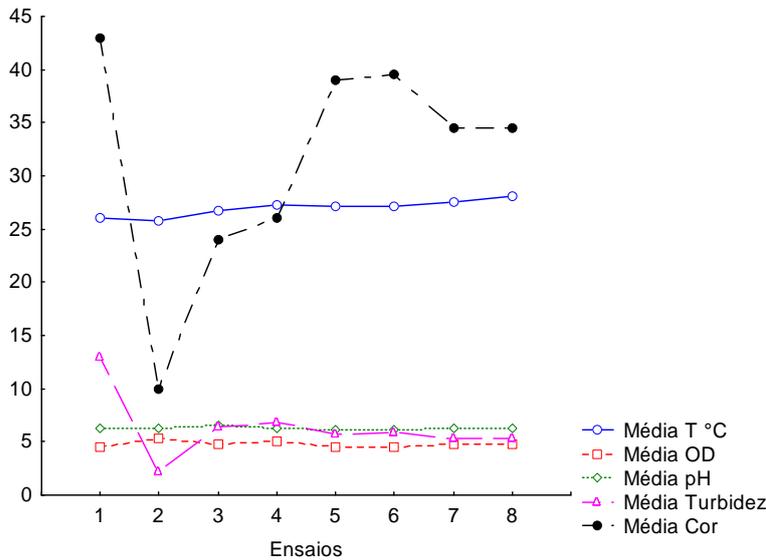
**Figura 4.17** - Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta para garrafas com 1,5 L antes da SODIS nos 8 experimentos

Após a SODIS, a temperatura média ficou acima dos 40 °C nos seis primeiros experimentos e nos dois últimos abaixo deste valor. A cor continuou sendo bastante variável ao longo dos experimentos e OD, pH e turbidez permaneceram constantes ao longo desta etapa.

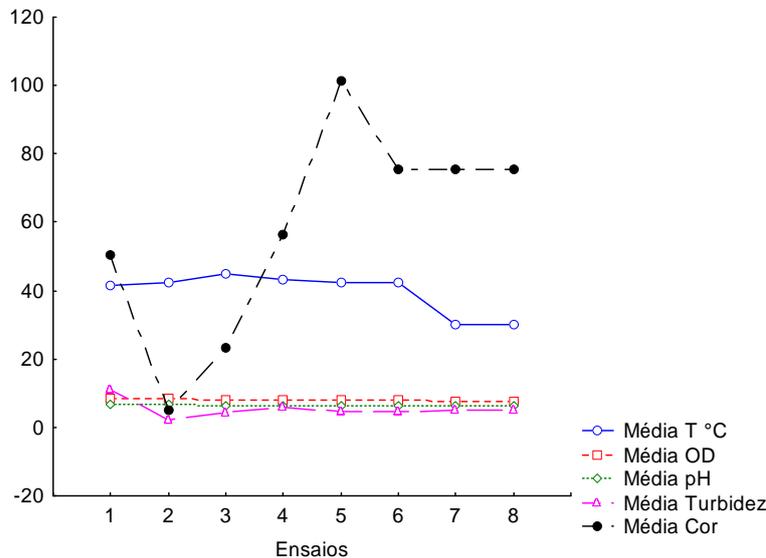


**Figura 4.18** - Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta para garrafas com 1,5 L após a SODIS nos 8 experimentos

As garrafas de PET contendo 2 L de água bruta apresentaram as médias dos parâmetros físico-químicos ao longo dos 8 experimentos antes da SODIS conforme a Figura 4.20 e na Figura 4.21 após a SODIS. Comparando-se a Figura 4.18 e 4.20 e a Figura 4.19 com a 4.21, observa-se que não houve mudanças expressivas destes parâmetros entre as garrafas contendo 1,5 L e 2 L.



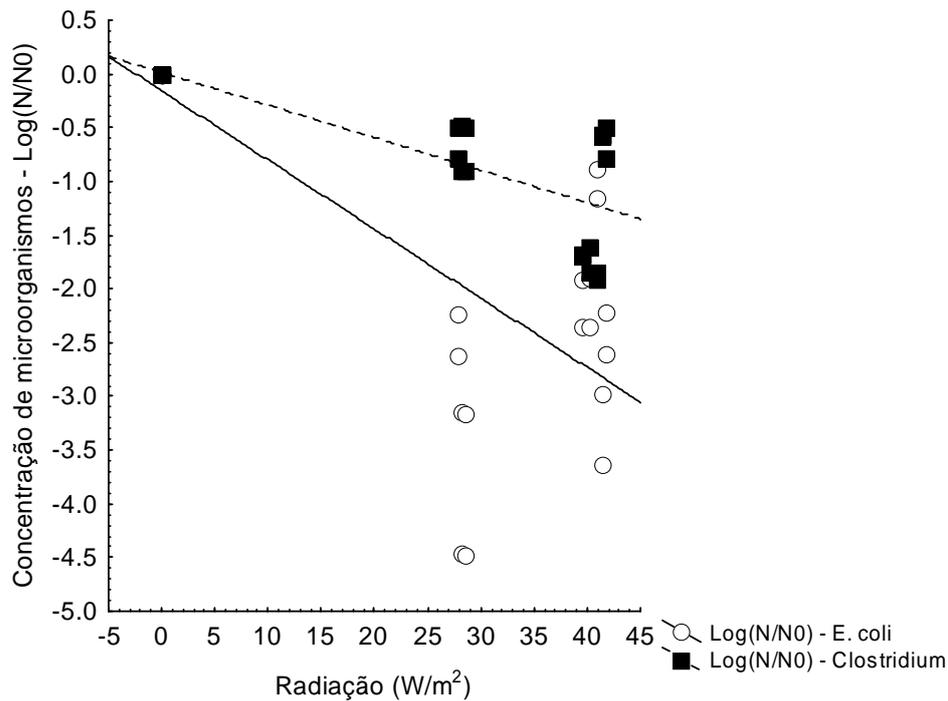
**Figura 4.19** - Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta para garrafas com 2 L antes da SODIS nos 8 experimentos



**Figura 4.20** - Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta para garrafas com 2 L após a SODIS nos 8 experimentos

#### 4.4.4 Comparação entre *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* na Etapa 1

A Figura 4.22 mostra a inativação da *Escherichia coli* muito mais significativa que a de *Clostridium perfringens*, sendo que os valores de inativação máxima para *Escherichia coli* ( $r^2 = 0.6438$ ;  $p = 0.00000003$ ;  $y = -0.1575 - 0.0643*x$ ) foi de aproximadamente 3-Log e *Clostridium Perfringens* ( $r^2 = 0.7152$ ;  $p = 0.000000001$ ;  $y = 0.0135 - 0.0303*x$ ) 1,5-Log.



**Figura 4.21** – Comparação da inativação microbiana entre os bioindicadores *Escherichia Coli* e *Clostridium Perfringens* em função da radiação usados na etapa 1 (set/out 2007)

## 4.5 Resultados dos Estudos da Etapa 2

### 4.5.1 Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do *Clostridium perfringens* na Etapa 2

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do *Clostridium perfringens* na Etapa 2 estão dispostos na Tabela 4.14.

**Tabela 4.14** - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do *Clostridium perfringens* na Etapa 2

Log(N/N0)	NMP/100mL	ENSAIO	TEMPO	Concentrador Solar	RADIAÇÃO	TEMPERATURA	pH	TURBIDEZ	COR	NMP/100mL	% Sobreviventes
0	1100	1	a	c	0	24,5	6,38	5,59	125	1100	NA
0	1100	2	a	c	0	24,6	6,12	4,66	120,5	1100	NA
0	1100	3	a	c	0	23,7	6,19	4,52	118,5	1100	NA
0	1100	4	a	c	0	24,5	6,36	4,27	132	1100	NA
0	1100	5	a	c	0	25,2	6,16	7,85	184,5	1100	NA
0	1100	6	a	c	0	22,8	6,28	5,65	192	1100	NA
0	1100	7	a	c	0	24,95	6,32	10,7	229,5	1100	NA
0	1100	8	a	c	0	23,7	6,3	11,5	222,5	1100	NA
-0,37863485	460	1	b	c	51,7063	37,5	6,37	4,33	106,5	460	41,82%
-0,37863485	460	2	b	c	51,5144	38,3	6,12	2,87	98,5	460	41,82%
-0,37863485	460	3	b	c	50,5125	39,1	6,36	3,47	121,5	460	41,82%
-0,37863485	460	4	b	c	50,3127	38,8	6,39	3,65	129	460	41,82%
0	1100	5	b	c	47,7035	37,8	6,37	6,31	192	1100	100,00%
0	1100	6	b	c	47,5080	32,9	6,49	5,46	80	1100	100,00%
-0,37863485	460	7	b	c	46,1901	40,4	6,38	9,25	236	460	41,82%
0	1100	8	b	c	46,0189	35,1	6,31	10,65	225,5	1100	100,00%
-1,40792423	43	1	c	c	54,5161	45,9	6,35	2,57	83	43	3,91%
-1,40792423	43	2	c	c	54,2792	43,2	6,24	2,48	104	43	3,91%
-0,37863485	460	3	c	c	53,0700	48,7	6,37	3,31	128,5	460	41,82%
-0,37863485	460	4	c	c	52,8326	44,2	6,57	3,34	164	460	41,82%
-0,37863485	460	5	c	c	49,8878	45,7	6,4	6,36	180,5	460	41,82%
-0,37863485	460	6	c	c	49,6781	41,8	6,46	5,45	215	460	41,82%
-1,67966485	23	7	c	c	48,3069	47,7	6,42	8,77	222	23	2,09%
-1,45032808	39	8	c	c	48,1348	45,1	6,56	10,7	215	39	3,55%
-1,40792423	43	1	d	c	37,7629	42,3	6,48	1,93	77,5	43	3,91%
-1,40792423	43	2	d	c	37,5209	42	6,24	2,4	131,5	43	3,91%
-0,71917339	210	3	d	c	36,3156	42,3	6,43	3,57	139	210	19,09%
-0,71917339	210	4	d	c	36,0837	40,6	6,57	3,34	161,5	210	19,09%
-0,66118144	240	5	d	c	33,3555	40,6	6,6	6,18	189,5	240	21,82%
-0,66118144	240	6	d	c	33,1723	40,1	6,48	5,03	207,5	240	21,82%
-2,19629465	7	7	d	c	32,0192	42,4	6,54	8,49	224,5	7	0,64%
-1,40792423	43	8	d	c	31,8807	40,6	6,54	8,93	207	43	3,91%
0	1100	1	a	s	0	24,05	6,38	5,59	125	1100	NA
0	1100	2	a	s	0	24,6	6,12	4,66	120,5	1100	NA
0	1100	3	a	s	0	23,7	6,19	4,52	118,5	1100	NA
0	1100	4	a	s	0	24,5	6,36	4,27	132	1100	NA
0	1100	5	a	s	0	25,2	6,16	7,85	184,5	1100	NA
0	1100	6	a	s	0	22,8	6,28	5,65	192	1100	NA
0	1100	7	a	s	0	24,95	6,32	10,7	229,5	1100	NA
0	1100	8	a	s	0	23,7	6,3	11,5	222,5	1100	NA
0	1100	1	b	s	51,7063	37,2	6,42	3,5	94,5	1100	100,00%
0	1100	2	b	s	51,5144	38,7	6,27	2,73	104,5	1100	100,00%
0	1100	3	b	s	50,5125	37,5	6,21	3,47	127	1100	100,00%
-0,37863485	460	4	b	s	50,3127	37,9	6,47	3,81	157	460	41,82%
0	1100	5	b	s	47,7035	34,6	6,3	7,02	201,5	1100	100,00%
0	1100	6	b	s	47,5080	32,3	6,44	5,55	81,5	1100	100,00%
0	1100	7	b	s	46,1901	35,9	6,41	8,61	228,5	1100	100,00%
0	1100	8	b	s	46,0189	35,8	6,35	11,6	230,5	1100	100,00%
-0,66118144	240	1	c	s	54,5161	40,8	6,46	2,88	94,5	240	21,82%
-0,66118144	240	2	c	s	54,2792	41,4	6,24	3,18	122,5	240	21,82%
-0,37863485	460	3	c	s	53,0700	43	6,34	3,51	141	460	41,82%
-0,37863485	460	4	c	s	52,8326	40,6	6,53	3,54	169,5	460	41,82%
0	1100	5	c	s	49,8878	41,1	6,08	7,51	199	1100	100,00%
0	1100	6	c	s	49,6781	38,3	6,36	5,14	208	1100	100,00%
-0,71917339	210	7	c	s	48,3069	42,3	6,55	8,25	213	210	19,09%
-0,37863485	460	8	c	s	48,1348	41,5	6,48	10,6	221,5	460	41,82%
-0,66118144	240	1	d	s	37,7629	40,7	6,46	2,29	86,5	240	21,82%
-0,71917339	210	2	d	s	37,5209	40,2	6,34	2,65	132	210	19,09%
-0,66118144	240	3	d	s	36,3156	42,4	6,37	3,41	145,5	240	21,82%
-0,66118144	240	4	d	s	36,0837	38,5	6,52	3,78	178	240	21,82%
-0,37863485	460	5	d	s	33,3555	41,2	6,52	6,38	205	460	41,82%
-0,37863485	460	6	d	s	33,1723	40,1	6,48	5,26	218,5	460	41,82%
-1,40792423	43	7	d	s	32,0192	42,6	6,53	8,65	228,5	43	3,91%
-1,07290974	93	8	d	s	31,8807	39,8	6,47	10,89	227,5	93	8,45%

#### 4.5.1.1 Resultados da Inativação de *Clostridium perfringens* na Etapa 2

Os resultados da ANCOVA para a inativação de *Clostridium perfringens* na etapa 2 podem ser observados na Tabela 4.15.

Primeiramente é importante ressaltar que a inativação de *Clostridium perfringens* na etapa 1 foi muito mais expressiva que na etapa 2, independente do uso do concentrador solar e, isso se deve ao período do ano, onde os meses de realização dos experimentos da etapa 1 apresentaram maiores médias diárias de radiação solar total em relação aos meses da etapa 2, conforme abordado também por Fleury, 2006.

A diferença na inativação do *Clostridium perfringens* de 6 h para 4 h de exposição foi mínima para as amostras do concentrador solar. Porém, a variação observada na Figura 4.23 para as 4 h foi bem maior que nas 6 h de exposição.

Na comparação entre as amostras com e sem concentrador solar, principalmente no tempo de 4 h, pode-se verificar uma expressiva diferença de inativação do *Clostridium perfringens* favorecendo o uso do concentrador solar. No tempo de 6 h, os valores de inativação foram também melhores para as amostras com concentrador, com uma variação bem menor.

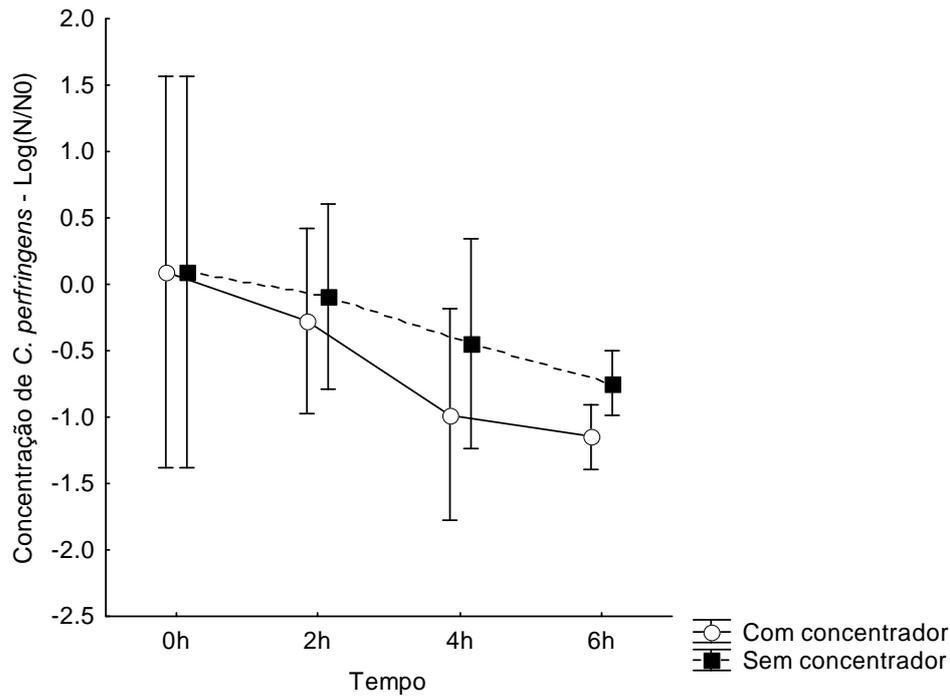
Por fim, o uso do concentrador solar na etapa 2 dos experimentos indicou uma inativação média de *Clostridium perfringens* com o uso do concentrador solar de aproximadamente 1-Log com 4 h de exposição e para as 6 h de exposição a diferença foi irrisória. A inativação média de *Clostridium perfringens* sem o uso do concentrador solar foi menor que 0,5-Log nas 4 h de exposição e nas 6 h de exposição a inativação média passou a ser maior que 0,5-Log.

**Tabela 4.15** - Resultados da ANCOVA para a inativação de *Clostridium perfringens* na etapa 2 (abril/maio 2008) na Escola de Engenharia Civil – UFG em Goiânia

	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F <sup>(1)</sup>	p <sup>(2)</sup>
Intercepto	0,062983	1	0,062983	0,53807	0,466351
RADIAÇÃO	0,001941	1	0,001941	0,01658	0,898016
TEMPO	7,359204	3	2,453068	20,95678	0,000000
CONCENTRADOR	1,276175	1	1,276175	10,90248	0,001691
TEMPO*CONCENTRADOR	0,669744	3	0,223248	1,90723	0,139122
Erro	6,437953	55	0,117054		

(1) F = distribuição

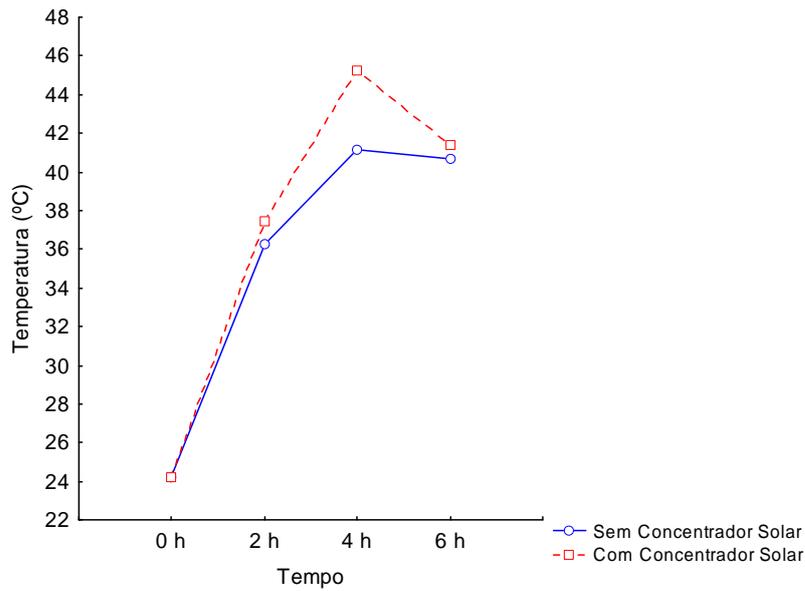
(2) p = significância



**Figura 4.22** – Inativação de *Clostridium perfringens* em função do tempo de exposição na etapa 2 (abril/maio 2008)

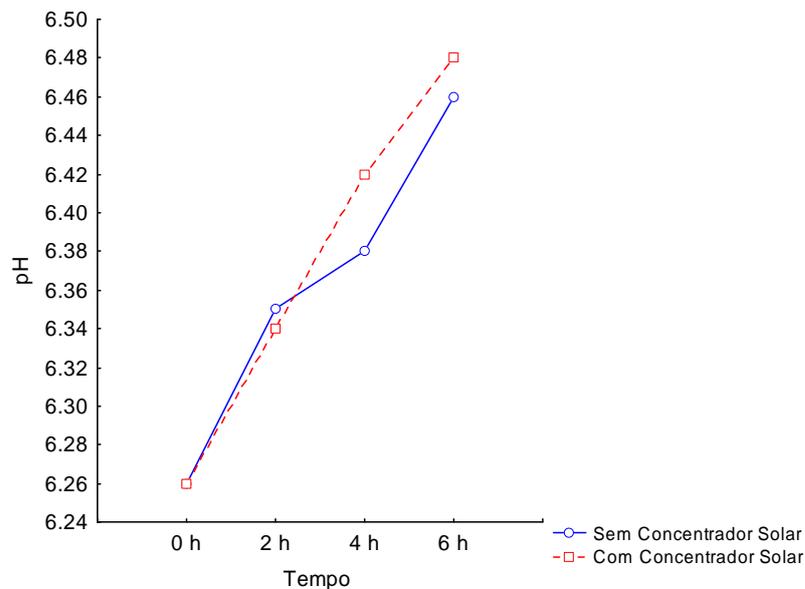
#### 4.5.1.2 Análise dos Parâmetros Físico-Químicos para *Clostridium perfringens* na Etapa 2

A temperatura média nos intervalos de retirada das amostras pode ser verificada na Figura 4.24. Os maiores valores individuais de temperatura alcançados para as garrafas expostas fora do concentrador solar, sob a telha, foram de 43 °C e no concentrador solar de 48,7 °C, ainda abaixo do valor de 50 °C para o processo SOPAS. É importante ressaltar que este valor máximo para o uso do concentrador solar foi alcançado sem o uso do mesmo na etapa 1, indicando a relevância da época do ano nestes estudos.



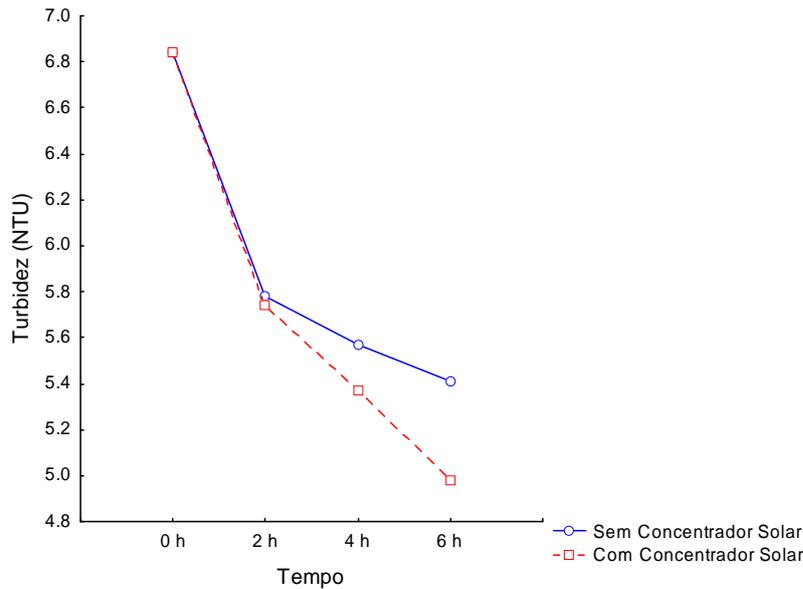
**Figura 4.23** - Comparação da temperatura média da água exposta por 6 h com e sem concentrador solar

As médias para o pH de acordo com as retiradas de amostras estão na Figura 4.25. Neste parâmetro físico-químico também foi verificada diferença mínima entre os valores médios encontrados para o uso ou não do concentrador solar. Os valores individuais máximos de pH foram 6,6 para o uso e 6,55 sem o concentrador solar.



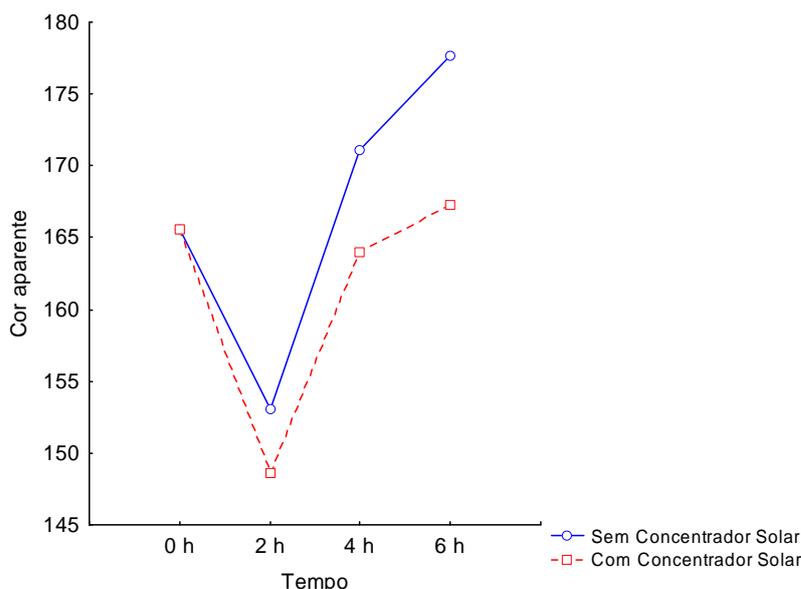
**Figura 4.24** - Comparação do pH médio da água exposta por 6 h com e sem concentrador solar

Os valores médios da turbidez estão dispostos na Figura 4.26 e, conforme observado são pequenas as diferenças encontradas para o uso ou não do concentrador, embora somente com o uso do concentrador solar às 15:00 h foi obtido o valor de 4,98 uT, estando dentro do limite para potabilidade humana de 5 uT (Brasil, 2004). Os maiores valores individuais encontrados para turbidez com e sem concentrador solar foram, respectivamente, 11,5 uT e 11,6 uT.



**Figura 4.25** - Comparação da turbidez média da água exposta por 6 h com e sem concentrador solar

As médias para a cor aparente nos intervalos de retirada das amostras podem ser verificadas na Figura 4.27. Os maiores valores individuais alcançados para o uso do concentrador foi 236 uC (PtCo) e sem concentrador, 230,5 uC (PtCo), que são significativamente superiores aos encontrados na etapa 1 para *Clostridium perfringens*.



**Figura 4.26** - Comparação da cor aparente média da água exposta por 6 h com e sem concentrador solar

A matriz de correlação apresentada na Tabela 4.16 mostra com o símbolo asterístico todos os parâmetros físico-químicos avaliados na etapa 2 (abril/maio 2008) e que estão correlacionados. Assim, verificamos que a radiação possui uma correlação muito significativa com a temperatura, ou seja, quando os valores da radiação se elevam, os valores para temperatura também aumentam. Existe uma menor correlação da radiação com o pH e com a turbidez está correlacionada negativamente. O pH e a temperatura possuem uma correlação expressiva e positiva.

A cor está altamente correlacionada com a turbidez e, assim, quando os valores da cor aparente aumentam, a turbidez também se eleva. Portanto, a Tabela 4.16 é bastante útil para entendermos a correlação existente entre todos estes parâmetros que foram analisados.

**Tabela 4.16** – Matriz de correlação dos parâmetros físico-químicos avaliados na etapa 2 (abril/maio 2008)

	RADIAÇÃO	TEMPERATURA	pH	TURBIDEZ	COR
RADIAÇÃO	1,00	0,87*	0,36*	-0,26*	-0,12
TEMPERATURA	0,87*	1,00	0,50*	-0,22	0,01
pH	0,36*	0,50*	1,00	0,08	0,23
TURBIDEZ	-0,26*	-0,22	0,08	1,00	0,81*
COR	-0,12	0,01	0,23	0,81*	1,00

Nota: \* Parâmetros que estão correlacionados

## 4.5.2 Análises da Água (Sem Bioindicadores) na Etapa 2

As Tabelas 4.17 e 4.18 apresentam os resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 2.

**Tabela 4.17** – Resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 2 (abril 2008)

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 18/04/08</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra</b>	P01= 916 P02= 804	P01= 13 P02= 14
	Média=860 UFC/mL	Média= 13,5 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 19/04/08</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra</b>	P01= 856 P02= 870	P01= 15 P02= 19
	Média= 863 UFC/mL	Média= 17 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 24/04/08</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra</b>	P01= 2200 P02= 2120	P01= 02 P02= 00
	Média= 2160 UFC/mL	Média= 01 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 25/04/08</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra</b>	P01= 2008 P02= 2040	P01= 00 P02= 02
	Média= 2024 UFC/mL	Média= 01 UFC/mL

**Tabela 4.18** – Resultados das análises microbiológicas para a água bruta na etapa 2 (maio 2008)

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 08/05/08</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra</b>	P01= 390 P02= 382	P01= 03 P02= 05
	Média= 386 UFC/mL	Média= 04 UFC/mL

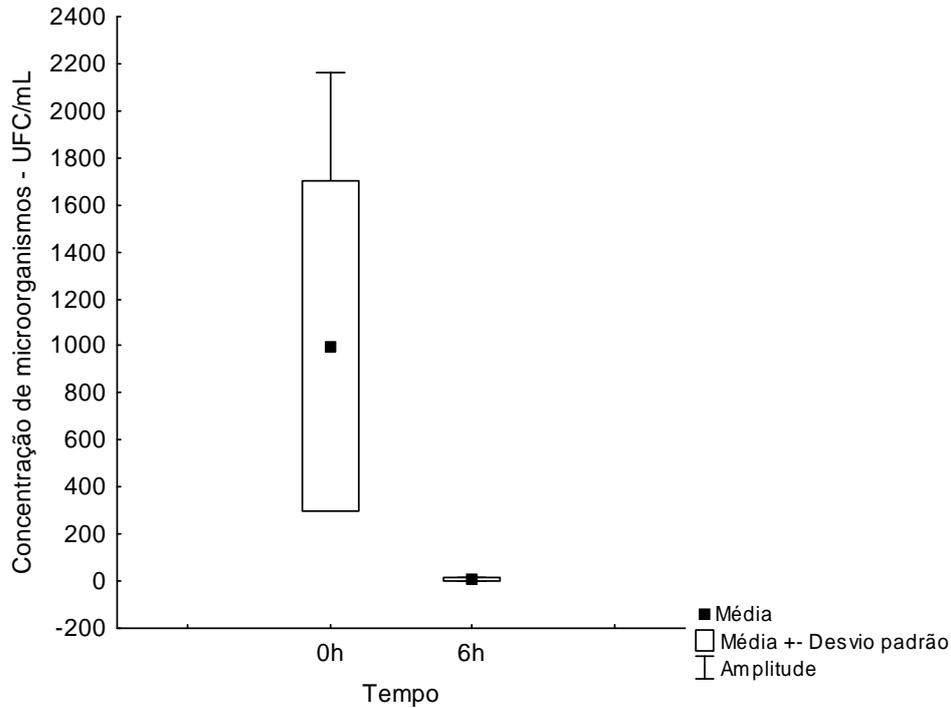
<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 09/05/08</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra</b>	P01= 498 P02= 502	P01= 02 P02= 03
	Média= 500 UFC/mL	Média= 2,5 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 15/05/08</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra</b>	P01= 471 P02= 421	P01= 02 P02= 03
	Média= 446 UFC/mL	Média= 2,5 UFC/mL

<b>Contagem de Heterotróficos Totais na Água Bruta (Garrafas de PET Sem Bioindicador): 16/05/08</b>		
	<b>Início (09:00h)</b>	<b>Fim (15:00h)</b>
<b>Amostra</b>	P01= 762 P02= 778	P01= 10 P02= 05
	Média= 770 UFC/mL	Média= 7,5 UFC/mL

A Figura 4.28 mostra a concentração de bactérias heterotróficas totais em UFC/mL no tempo 0 h e após 6 h submetidas à SODIS na etapa 2, destacando a grande variação na concentração inicial, tempo 0 h, bem como os valores maiores que os observados na etapa 1, muitas vezes excedendo aos permitidos pela legislação vigente. Acredita-se que essa maior concentração de heterotróficos totais se deve ao grande volume de precipitação observado no período que antecedeu à realização desta etapa.

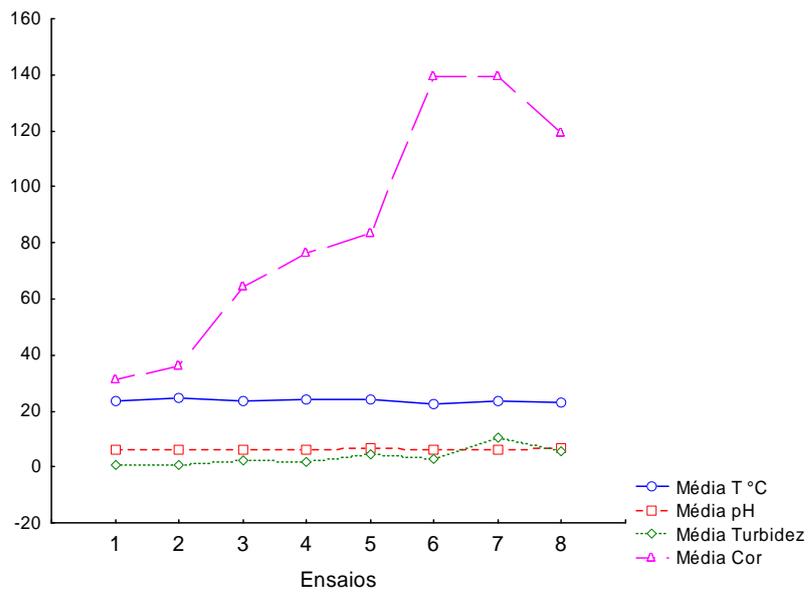
Embora essa elevada concentração no tempo 0 h, verifica-se na figura 4.28 que no tempo 6 h, a concentração tende a zero (0 UFC/mL). Pode-se supor que essa expressiva inativação foi devido ao uso do concentrador solar. A concentração média antes da SODIS foi de 999 UFC/mL e depois foi de 6,12 UFC/mL ( $t = 4$ ;  $gl = 14$ ;  $p = 0,0012$ ).



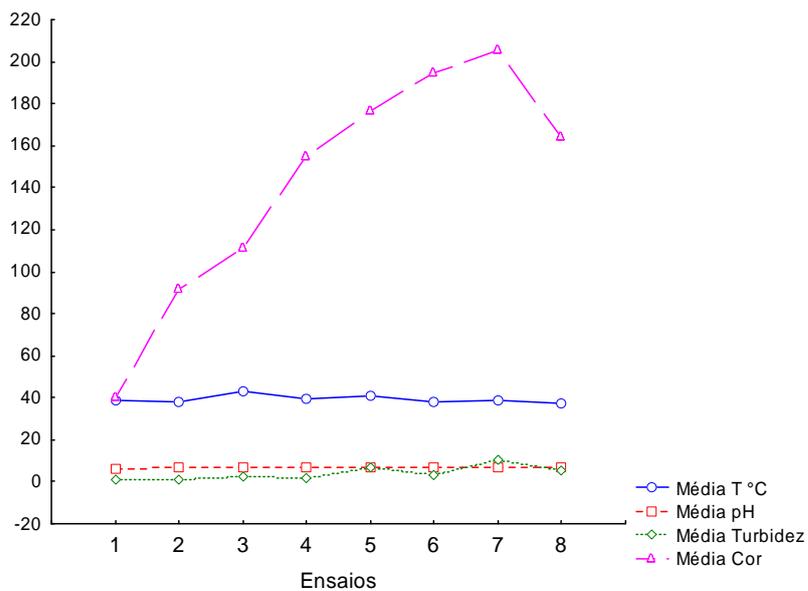
**Figura 4.27** - Inativação de bactérias heterotróficas totais na água bruta em função do tempo de exposição na etapa 2 (abril/maio 2008)

#### 4.5.2.1 Análise dos Parâmetros Físico-Químicos da Água Bruta na Etapa 2

O comportamento dos parâmetros físico-químicos da água bruta ao longo dos 8 experimentos antes da exposição ao sol, tempo 0 h, pode ser observado na Figura 4.29 e após a SODIS está na Figura 4.30. Nesta etapa a água bruta foi avaliada somente com o uso do concentrador solar.



**Figura 4.28** - Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta antes da SODIS



**Figura 4.29** - Média dos parâmetros físico-químicos na água bruta após a SODIS

#### 4.5.2.2 Identificação Microbiana após a SODIS na Etapa 2

Foram identificados os microrganismos encontrados após a SODIS na etapa 2 provenientes das garrafas de PET retiradas do concentrador solar após 6 h de exposição, ou seja, aqueles que sobreviveram às condições extremamente desfavoráveis oriundos do item 4.5.2.

Assim, pelo alto custo dessas análises, também foram selecionados quatro dias de experimentos para serem avaliados. A Tabela 4.19 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 4.19** - Identificação microbiana dos sobreviventes a SODIS na etapa 2

Testes microbiológicos	Experimento 1 18.04.08	Experimento 2 19.04.08	Experimento 3 24.04.08	Experimento 4 25.04.08
Morfologia das Colônias	Pequena, definida, cor creme e com brilho	Colônia grande, de cor branca e opaca	Colônia grande, de cor branca e opaca	Colônia grande, de cor branca e opaca
Coloração Gram	Bacilos gram negativos	Bacilos gram positivos	Bacilos gram negativos	Bacilos gram positivos
Identificação Microbiana	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	<i>Bacillus cereus</i>	—	<i>Bacillus cereus</i>

Os dois resultados de *Bacillus cereus* alcançaram 99,99% de confiança no programa do sistema de identificação BBL CRYSTAL para Gram-positivos (IMAI, 1996).

A identificação da *Yersinia pseudotuberculosis* pelo sistema de identificação BBL CRYSTAL para Gram-negativos alcançou 98,21% de confiança que demonstra a segurança deste sistema. No experimento 3, os dados fornecidos obtiveram uma identificação inaceitável, o que sugere testes adicionais para apresentar um resultado confiável.

Os *Bacillus cereus* já foram abordados em 4.1, mas a *Yersinia pseudotuberculosis* não foi identificada anteriormente na água do poço deste estudo nem em Fleury, 2006. A *Yersinia* é um patógeno humano e animal. Transmitidos de roedores e pássaros para o homem, não há nenhum registro de transmissão entre humanos. Causa diarreia, linfadenite mesentérica e septicemia. Raramente isolado nos Estados Unidos, conforme informação do próprio sistema de identificação BBL CRYSTAL para Gram-negativos (IMAI, 1996).

Segundo Trabulsi (1991), a *Yersinia pseudotuberculosis* pode causar enterocolite e mesenterite no homem, mas as infecções por este germe são bastante raras. O homem adquire a infecção pela ingestão de água e alimentos contaminados. O reservatório da bactéria é representado por aves, roedores e outros animais.

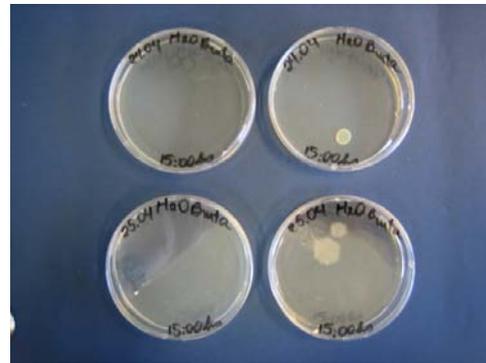
A Figura 4.31 mostra as placas de Petri inoculadas com a água bruta (sem bioindicador) após 6 h de exposição nas garrafas de PET do concentrador solar dos dias 18.04.08 (as 2 acima) e dia 19.04.08 (as 2 abaixo). Já a Figura 4.32, mostra as placas de Petri sob as mesmas condições dos dias 24.04.08 (as 2 acima) e dia 25.04.08 (as 2 abaixo).

Os repiques de 24 h para a realização das inoculações nos sistemas BBL CRYSTAL estão nas placas de Petri da Figura 4.33 e as lâminas realizadas pela técnica de coloração de gram estão dispostas na Figura 4.34.

Os sistemas BBL CRYSTAL para gram-positivos e gram-negativos utilizados nestas identificações, estão nas Figuras 4.35 e 4.36 respectivamente.



**Figura 4.30** – Dias 18 e 19.04.08



**Figura 4.31** – Dias 24 e 25.04.08



**Figura 4.32** – Repiques de 24 h



**Figura 4.33** – Lâminas de Gram



**Figura 4.34** – BBL Gram-positivos



**Figura 4.35** – BBL Gram-negativos

A Tabela 4.20 mostra os microrganismos identificados antes da SODIS, em amostra da água bruta anteriormente à etapa 1 nos estudos preliminares e, após a SODIS, ao final da etapa 2. Importante destacar a repetição do *Bacillus cereus* nas duas situações analisadas.

**Tabela 4.20** - Microrganismos identificados antes e após a SODIS

ANTES	APÓS
<i>Bacillus cereus</i>	<i>Bacillus cereus</i>
<i>Bacillus brevis</i>	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>
<i>Corynebacterium renal group</i>	
<i>Corynebacterium aquaticum</i>	

## 5 CONCLUSÕES

Na região centro-oeste do Brasil ocorre maior incidência de radiação solar no verão, porém nesta mesma estação ocorre a maior densidade de chuvas e ocorre muita formação de nuvens pesadas, prejudicando o rendimento do sistema de SODIS ao diminuir a R-UV.

A etapa 1 de realização dos experimentos neste estudo foram os meses de setembro e outubro de 2007, os quais apresentaram intenso calor e seca e, após o início do mês de novembro, já se iniciaram as chuvas e dias de céu encoberto, inviabilizando a continuação dos experimentos. Os níveis da radiação medidos nos diversos horários dos experimentos nesta etapa ficaram na faixa de 32,30 a 64,72 W/m<sup>2</sup>.

No verão de 2008, devido à chuva prolongada nesse período, a execução da etapa 2 começou somente a partir da segunda quinzena de abril, já no outono. Os níveis da radiação medidos nos diversos horários dos experimentos ficaram na faixa de 26,52 a 55,68 W/m<sup>2</sup> na etapa 2, inferiores aos valores observados na etapa 1.

Assim, para obter resultados satisfatórios da SODIS, as garrafas de PET devem ser colocadas nos meses de abril a outubro na região centro-oeste, em apenas um dia de exposição ao sol por 6 horas, entre 9 h e 15 h, se o céu estiver limpo, ou seja, condição de céu claro. Nos dias de céu parcialmente encoberto recomenda-se o uso do concentrador solar, principalmente nos meses de outono e inverno.

Em relação aos diferentes volumes de água colocados nas garrafas de PET na etapa 1 deste trabalho, 1,5 L e 2 L, verificou-se que foram muito pouco relevantes na inativação dos bioindicadores avaliados, tanto para o *Clostridium perfringens* que é anaeróbico, quanto para a *Escherichia coli* aeróbica, porém o volume de 1,5 L apresentou maior inativação para ambos os microrganismos analisados.

Os dados obtidos sobre o recrescimento bacteriano neste estudo confirmam que não há efeito residual da SODIS e, assim, a tentativa de se determinar um tempo máximo de conservação conforme sugerido por Fleury (2006), somente demonstrou que a concentração final dos bioindicadores está relacionada à concentração encontrada após os 3 dias de armazenamento. Portanto, é interessante o alcance de temperaturas superiores a 50°C na água para que a mesma sofra o processo de pasteurização solar (SOPAS) inibindo qualquer possibilidade de recrescimento bacteriano.

O uso do concentrador solar na etapa 2 dos experimentos indicou uma inativação média de *Clostridium perfringens* maior que na ausência do mesmo e a diferença dos valores encontrados entre 6 h e 4 h de exposição foram mínimas.

A análise da água bruta, sem bioindicadores, teve resultados expressivos no decaimento da concentração de bactérias heterotróficas totais após a SODIS e, a identificação destes microrganismos ao final das 6 h de exposição apresentou os microrganismos *Bacillus cereus* e *Yersinia pseudotuberculosis*, sendo que o primeiro foi também identificado na água do poço antes da SODIS, sugerindo uma possível resistência ao processo.

## 6 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

1. Na análise da concentração de oxigênio dissolvido na água, da influência dos processos oxidativos avançados e formação de substâncias oxidantes com potencial desinfetante, a sugestão seria a colocação de água na garrafa de PET até seu fechamento para obter condições mínimas de O<sub>2</sub> e na garrafa de menor volume a colocação de apenas 1 L, pois, assim ter-se-ia uma diferença de mais de 1 L entre elas para ser considerado.
2. Em relação ao armazenamento das garrafas submetidas à SODIS, seria válido fazer um armazenamento imediatamente após a retirada das garrafas do sol, em refrigerador e analisar após 24 e 48 h se os valores encontrados são semelhantes ao valor da concentração final do bioindicador usado.
3. Os concentradores devem ser adaptados para evitar a formação de sombras em diferentes épocas do ano, pois Fleury (2006) observou a ocorrência das mesmas na primeira hora do experimento e no presente estudo, na etapa 1, a sombra ocorria nas últimas horas do experimento, pois, foi feito em meses diferentes.
4. A avaliação individual das garrafas dentro do concentrador solar também deve ser considerada, pois, estudos de Herrera e Domingues (2003) relataram diferenças na intensidade de radiação solar recebida por elas, já que as duas garrafas que ficam ao lado das aletas do concentrador solar, sendo uma do lado direito e outra do esquerdo, podem sofrer a influência de sombras enquanto as duas garrafas que estão na posição central recebem a radiação solar sem qualquer interferência.
5. Uma avaliação da desinfecção solar nas garrafas de PET utilizando como bioindicadores os microrganismos encontrados após a SODIS neste trabalho e em Fleury (2006), principalmente o *Bacillus cereus*, seria válido para determinar se realmente são resistentes ao processo.
6. A obtenção de um equipamento para a medição da R-UVA no local do experimento é um fator primordial para a precisão e confiabilidade dos resultados na avaliação da SODIS e posteriores projetos desenvolvidos nesta linha de pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIR - Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não-Alcoólicas. *Panorama das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não-Alcoólicas no Brasil 2007*. Disponível em: <[http://www.abir.org.br/rubrique.php3?id\\_rubrique=180](http://www.abir.org.br/rubrique.php3?id_rubrique=180)>. Acesso em: julho de 2008.

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. *Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions*. Paris: Unicef. 1984.

ALEXANDER, M.; CLARK, F. E.. “Nitrifying bacteria”. In C. A. Black (ed.), *Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties*, pp. 1477 – 1483. American Society of Agronomy. Madison, Wis. 1982.

ANON, S. *Evaluation of solar disinfection of Nile and underground water for drinking purposes in Egypt*. Project Report to IDRC, 49p., 1988.

APHA; AWWA; WEF; *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21ed. Washington D. C., 2004.

ASSALIN, M. R. et al. *Processos oxidativos avançados (POAs): aplicação da fotocatalise heterogênea na desinfecção da águas de abastecimento*. XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre - RS. Anais Eletrônicos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

BRANDÃO, C. C. S. et al. *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. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. *Norma de qualidade da água de consumo*. Diário Oficial da União, Brasília 26 de março de 2004.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Clostridium perfringens – Determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos. Método de Ensaio - L5/213*. CETESB, São Paulo, 1993.

CORRÊA, M. P.. Algoritmos para cálculos de transferência radiativa na região ultravioleta do espectro eletromagnético. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004.

DANIEL, L. A. (Coord.). *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001.

DANIEL, L. A. *Desinfecção de esgoto com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos*. 1993. 146 p. Tese Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

EVANGELISTA, J. Tecnologia de Alimentos. 2. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 652p, 2001.

FAIR, G.M.; GEYER, J.C. e OKUN, D.A. *Water and Wastewater Engineering*. Vol 2 – Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal. 2th, John Wiley and Sons, 1968.

FLEURY, G.C.E.; *Inativação Bacteriana da Água por Meio da Desinfecção Solar*. 2006. 116p. Dissertação do Programa de Pós-Graduação Strictu-Sensu em Engenharia de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

HELLER, L. Saneamento e Saúde, BsB – OPAS/OMS, 1997.

HERRERA, A. G. ; DOMINGUEZ, A. M. Desinfección Solar, Una Alternativa para Pequeñas Comunidades Rurales . Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. México, 2003. Disponível em: <<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda>>. Acesso em: Março 2007.

IDEXX, Laboratories. Water Microbiology. Disponível em: <http://www.idexx.com/water/> Acesso em: Fevereiro 2007.

IMAI, M. Instruções de Uso: BBL Crystal Gram Positive Kit e BBL Crystal Entérico/ Não Fermentador (E/NF) ID Kit. Becton Dickinson and Company. São Paulo-SP. Versão: 1996.

KONEMAN, E. W. *et al. Diagnóstico Microbiológico: Texto e Atlas Colorido*. 5. ed. Rio de Janeiro: MEDSI Editora Médica e Científica, 1465p, 2001.

LECLERC, H. *et al. Microbiological monitoring: a new test for fecal contamination*. In: HOHDLEY, A. W. e DUTKA, B. J. 9<sup>th</sup> ed.). *Bacterial indicators/Health hazards associated with water*. ASSTM/STP, 635, p. 21-31, 1977.

MARTINS, M. A. (Coord.). *Manual de Infecção Hospitalar. Epidemiologia, Prevenção e Controle* – 2 edição, 1116p., 2001.

MENDEZ-HERMIDA, F.; CASTRO-HERMIDA, J. A.; ARES-MAZÁS, E.; KEHOE, S. C.; MCGUIGAN, K. G. *Effect of Batch-Process Solar Disinfection on Survival of Cryptosporidium parvum Oocysts in Drinking Water*. Applied and Environmental Microbiology, v.71, n.3, p.1653-1654, 2005.

MONTEIRO, P. C. G. *Viabilidade do uso da radiação solar no processo de desinfecção da água*. 1999. 159 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília - UNB, DF, 1999.

NETTO, J. M. A. *et al. Técnica de abastecimento e tratamento de água* 2 ed. Vol.1 São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.

PACHECO, A.R.; *Avaliação da Influência da Carbonatação nas Análises de Diferença e Preferência de Refrigerante Tipo Cola*. 2006. 90p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. *Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): Avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares*. Engenharia Sanitária Ambiental. v. 10. p. 9-13. 2005.

PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): diagnóstico dos serviços de água e esgotos* – 2006.

Brasília: MCIDADES.SNSA, 2007. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: Setembro 2008.

RANGEL, M. C.; BRITTO, J. M. *Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais*. Quím. Nova, v. 31, n. 1. p. 114-122, 2008.

REED, R. H. *Solar inactivation of faecal bacteria in water: the critical role of oxygen*. Letters in Applied Microbiology, n. 24, p. 276-280, 1997.

REED, R. H.; MANI S. K.; MEYER, V. *Solar photo-oxidative disinfection of drinking water: preliminary field observations*. Applied Microbiology, v. 30, p. 432-436, 2000.

RODRIGUES, C. P. et al. *Descontaminação bacteriológica de água de abastecimento por meio de fotocatalise heterogênea utilizando luz solar*. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

RODRIGUES, G. S.; EVAGENLISTA, P. A.; GESTEIRA e MATOS, S. *Doença diarréica aguda no município de Belo Horizonte*. Boletim Epidemiológico, v. 3, p. 1-5, 1993.

SODIS, Solar Water Disinfection. Página inicial do site. Disponível em: <<http://www.sodis.ch/www.portugese/sodisch.htm>> Acesso em: 01 de julho 2008.

SOMMER, B., MARIÑO. A., SOLARTE, Y., SALAS, M. L., DIEROLF, C., VALIENTE, C., MORA, D., RECHSTEINER, R., SETTERS, P.; WIROJANAGUD, W., AJARMEH, H., AL-HASSAN, A., e WEGELIN, M. *SODIS – An emerging water treatment process*. Journal WSRT-Aqua, 46(3), p.127-137, 1997.

SOUZA, C. R. L., ZAMORA, P. P., *Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/peróxido de hidrogênio*. Quím. Nova, v. 28, n. 2. p. 226-228, 2005.

SOUZA, J. B. *Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas: comparação técnica de processos alternativos ao cloro empregando radiação ultravioleta e ácido peracético*. 2000. 147 p. Dissertação (Mestrado: Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

TEIXEIRA, M. B. D. *Avaliação da Capacidade de Remoção de Microorganismos na Filtração Lenta Utilizando como Indicadores a Escherichia coli, os Colifagos e o Clostridium perfringens*. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM – 64/2003, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 111p., 2003.

TRABULSI, L. R. *Microbiologia* 1ª Reimpressão da 2ª Edição. Livraria Atheneu Editora, Rio de Janeiro, São Paulo, 1991.

WEBER, W.J. *Control de la Calidad del Agua Procesos Fisicoquímicos*. Ed Reverté, S.A. Spain, 1979.

WEGELIN, M., CANONICA, S., ALDER, A. C., MARAZUELA, D., SUTER, M.J.F., BUCHELI, Th. D., HAEFLIGER, O. P., ZENOBI, R., McGUIGAN, K. G., KELLY, M.T., IBRAHIM, P., LARROQUE, M.; *Does the sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (pet) bottles?* Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua, 2000.

WEGELIN, M., CANONICA, S., MESHNER K., FLEISCHMANN T., PESARO F., METZLER A. *Solar water disinfection: scope on the process and analysis of radiation experiments*. Journal of American Water Works Association, v. 43, n.3, p. 154-169, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. V.2, 2 ed., World Health Organization, Geneva, 1996.

## **ANEXO – A**

**Certificados de análises do peróxido de hidrogênio PA usados na esterilização das garrafas de PET e galões de armazenamento da água de estudo com *Clostridium perfringens***



F.MAIA Indústria e Comércio Ltda

**Sistema da Qualidade  
ISO 9001:2000**

## ***CERTIFICADO DE ANÁLISE***

Produto: HIDROGENIO PEROXIDO PA

Formula:	H2O2	Peso Molecular:	34,01
Lote:	34500	Referencia:	113640
No.Analise:	47806	Marca:	F.MAIA
Data de Fabricacao:	10/07/2007	Data de Validade:	10/07/2010

TESTES	ESPECIFICACOES	RESULTADOS
Ensaio (H2O2) (p/vol.)	29,0 - 32,0%	31,52%
Acido livre (H2SO4)	Max. 0,01%	0,01%
Amonio (NH4)	Max. 0,002%	<0,002%
Cloreto (Cl)	Max. 0,002%	<0,002%
Cor (Apha)	Max. 10	<10
Ferro (Fe)	Max. 0,00005%	<0,00005%
Fosfato (PO4)	Max. 0,04%	<0,04%
Metais pesados (Pb)	Max. 0,001%	<0,001%
Nitrato (NO3)	Max. 0,025%	<0,025%
Residuo apos evaporacao	Max. 0,05%	0,011%
Sulfato (SO4)	Max. 0,0005%	<0,0005%

Observações:

Chefe de Laboratório CRQ 4a - Anna Karina Araujo 04238674 Facio	( X ) Aprovado como: <b>PA</b>	Data: 10/07/2007
---	-----------------------------------	------------------

\* Documento emitido eletronicamente. Dispensa assinatura. \*



**Sistema da Qualidade  
ISO 9001:2000**

**F.MAIA Indústria e Comércio Ltda**

***CERTIFICADO DE ANÁLISE***

Produto: HIDROGENIO PEROXIDO PA

Formula:	H2O2	Peso Molecular:	34,01
Lote:	35306	Referencia:	113640
No.Analise:	48701	Marca:	F.MAIA
Data de Fabricacao:	13/11/2007	Data de Validade:	13/11/2010

TESTES	ESPECIFICACOES	RESULTADOS
Ensaio (H2O2) (p/vol.)	30,0 - 32,0%	31,48%
Acido livre (H2SO4)	Max. 0,01%	<0,01%
Amonio (NH4)	Max. 0,002%	<0,002%
Cloreto (Cl)	Max. 0,002%	<0,002%
Cor (Apha)	Max. 10	<10
Ferro (Fe)	Max. 0,00005%	<0,00005%
Fosfato (PO4)	Max. 0,04%	<0,04%
Metais pesados (Pb)	Max. 0,001%	<0,001%
Nitrato (NO3)	Max. 0,025%	<0,025%
Residuo apos evaporacao	Max. 0,05%	0,019%
Sulfato (SO4)	Max. 0,0005%	<0,0005%

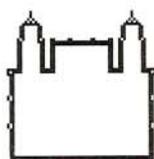
Observações:

Coordenador da Qualidade CRQ 4a - Anna Karina Araujo 04238674 Facio	( X ) Aprovado como: <b>PA</b>	Data: 13/11/2007
--	-----------------------------------	------------------

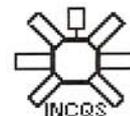
\* Documento emitido eletronicamente. Dispensa assinatura. \*

## **ANEXO – B**

**Informativo da bactéria de referência *Clostridium perfringens* ATCC 12924  
fornecido pelo INCQS e utilizada neste estudo**



Ministério da Saúde  
FIOCRUZ  
Fundação Oswaldo Cruz



Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde

## Laboratório de Materiais de Referência

Informe de bactéria de referência

26-jun-07

<b>MICROORGANISMO:</b>	<i>Clostridium perfringens</i>
<b>INCQS:</b>	00215
<b>ORIGEM:</b>	ATCC 12924
<b>LOTE:</b>	0497215
<b>DATA DA LIOFILIZAÇÃO:</b>	
<b>HISTÓRIA:</b>	NCTC 8799 (C. welchii) <-- B. Hobbs 1546/52.
<b>ISOLAMENTO:</b>	Carne assada.
<b>MEIO DE CULTURA INDICADO:</b>	Beef Liver Medium for Anaerobes
<b>TEMPERATURA (em Graus Celsius):</b>	37
<b>TEMPO DE INCUBAÇÃO(em horas):</b>	24-48
<b>RESPIRAÇÃO:</b>	Anaerobiose
<b>APLICAÇÃO:</b>	
<b>SOROLOGIA:</b>	Aglut.tipo
<b>PRODUÇÃO DE ENZIMAS:</b>	
<b>PRODUÇÃO DE TOXINAS:</b>	
<b>VALIDADE:</b>	Indeterminada se mantida a -20 °C.
<b>OBSERVAÇÕES:</b>	O lote é constituído de sete dígitos distribuídos da seguinte forma: os dois primeiros dígitos indicam o mês, os dois seguintes o ano de produção e os cinco últimos dígitos o número da cepa INCQS.
<b>REFERÊNCIAS:</b>	

## **ANEXO – C**

**Tabela de número mais provável de microrganismos por 100 mL de amostra (NMP/100 mL) com séries de 3 e 5 tubos por diluição 10 mL, 1 mL e 0,1mL (a série de 3 tubos foi a adotada neste trabalho)**

Tabela de NMP e limites a 95% de confiança para várias combinações de resultados positivos quando vários números de tubos são usados para diluição (10mL; 1,0mL e 0,1mL)

Combinações de positivos	Tubos por diluição					
	3			5		
	NMP/100mL	Limites 95% Confiança		NMP/100mL	Limites 95% Confiança	
		Inferior	Superior		Inferior	Superior
0-0-0	< 3			< 2		
0-0-1	3	< 0,5	9	2	< 0,5	7
0-1-0	3	< 0,5	13	2	< 0,5	7
0-2-0	-			4	< 0,5	11
1-0-0	4	< 0,5	20	2	< 0,5	7
1-0-1	7	1	21	4	< 0,5	11
1-1-0	7	1	23	4	< 0,5	11
1-1-1	11	3	36	6	< 0,5	15
1-2-0	11	3	36	6	< 0,5	15
2-0-0	9	1	36	5	< 0,5	13
2-0-1	14	3	37	7	1	17
2-1-0	15	3	44	7	1	17
2-1-1	20	7	89	9	2	21
2-2-0	21	4	47	9	2	21
2-2-1	28	10	150	-		
2-3-0	-			12	3	28
3-0-0	23	4	120	8	1	19
3-0-1	39	7	130	11	2	25
3-0-2	64	15	380	-		
3-1-0	43	7	210	11	2	25
3-1-1	75	14	230	14	4	34
3-1-2	120	30	380	-		
3-2-0	93	15	380	14	4	34
3-2-1	150	30	440	17	5	46
3-2-2	210	35	470	-		
3-3-0	240	36	1300	-		
3-3-1	460	71	2400	-		
3-3-2	1100	150	4800	-		
3-3-3	≥ 2400			-		
4-0-0	-			13	3	31
4-0-1	-			17	5	46

Tabela de NMP (continuação)

Combinções de positivos	Tubos por diluição					
	NMP/100mL	3		NMP/100mL	5	
		Limites 95% Confiança			Limites 95% Confiança	
		Inferior	Superior		Inferior	Superior
4-1-0	-			17	5	46
4-1-1	-			21	7	63
4-1-2	-			26	9	78
4-2-0	-			22	7	67
4-2-1	-			26	9	78
4-3-0	-			27	9	80
4-3-1	-			33	11	93
5-0-0	-			23	7	70
5-0-1	-			31	11	89
5-0-2	-			43	15	110
5-1-0	-			33	11	93
5-1-1	-			46	16	120
5-1-2	-			63	21	150
5-2-0	-			49	17	130
5-2-1	-			70	23	170
5-2-2	-			94	28	220
5-3-0	-			79	25	190
5-3-1	-			110	31	250
5-3-2	-			140	37	340
5-3-3	-			180	44	500
5-4-0	-			130	35	300
5-4-1	-			170	43	490
5-4-2	-			220	57	700
5-4-3	-			280	90	850
5-4-4	-			350	120	1000
5-5-0	-			240	68	750
5-5-1	-			350	120	1000
5-5-2	-			540	180	1400
5-5-3	-			920	300	3200
5-5-4	-			1600	640	5800
5-5-5	-			≥ 2400		

Fonte: ALEXANDER &amp; CLARK (1982)

## **ANEXO – D**

**Laudo de análise da água do poço EEC/UFG realizado pela SANEAGO**



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

**ANÁLISE FÍSICO - QUÍMICA E EXAME BACTERIOLÓGICO DE ÁGUA BRUTA**

01

DADOS GERAIS DA AMOSTRA

N.º 4.339/07

Interessado: PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO - MESTRADO

Município: GOIÂNIA-GO

Local: UFG - ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

Ponto de Referência: ENTRADA PRINCIPAL UFG

Data da Coleta: 28/02/2007

Chuvvas: NO DIA ANTERIOR

Hora da Coleta: 08:20

Data de Entrada no Laboratório: 28/02/2007

Temperatura Ambiente Local: 26 °C

Hora de Entrada no Laboratório: 08:45

Temperatura da Água no Local: 28 °C

Responsável pela Coleta: MARGARETH

02		ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA					
ITEM	ANÁLISE	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO				UNIDADE
			CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	
2.1	Fluor	0,06	1,4	1,4	1,4	-	mg/L
2.2	Turbidez	0,68	40,0	100,0	100,0	NR	uT
2.3	Cor Verdadeira	1,0	-	75,0	75,0	NR	uH
2.4	pH	6,56	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	-
2.5	Alcalinidade Total	16,0	NR	NR	NR	NR	mg/L CaCO <sub>3</sub>
2.6	Alcalinidade HCO <sub>3</sub>	16,0	NR	NR	NR	NR	mg/L CaCO <sub>3</sub>
2.7	Alcalinidade CO <sub>3</sub>	0,0	NR	NR	NR	NR	mg/L CaCO <sub>3</sub>
2.8	Alumínio	0,015	0,1	0,1	0,2	NR	mg/L Al
2.9	Dureza Total	13,58	NR	NR	NR	NR	mg/L CaCO <sub>3</sub>
2.10	Matéria Orgânica	0,5	NR	NR	NR	NR	mg/L O <sub>2</sub>
2.11	Cloretos	9,5	250,0	250,0	250,0	NR	mg/L Cl
2.12	Gás Carbônico	-	NR	NR	NR	NR	mg/L CO <sub>2</sub>
2.13	Ferro Solúvel	-	0,3	0,3	5,0	NR	mg/L Fe
2.14	Sólidos Totais Dissolvidos	16,72	500,0	500,0	500,0	NR	mg/L
2.15	Fósforo Total	-	0,025	0,03	0,15	NR	mg/L P
2.16	Nitrato	-	10,0	10,0	10,0	NR	mg/L N-NO <sub>3</sub>
2.17	Nitrito	0,003	1,0	1,0	1,0	NR	mg/L N-NO <sub>2</sub>
2.18	Nitrogênio Amoniacal Total pH>8,5	-	0,5	0,5	1,0	NR	mg/L N-NH <sub>3</sub>
2.19	Cálcio	-	NR	NR	NR	NR	mg/L Ca
2.20	Magnésio	-	NR	NR	NR	NR	mg/L Mg
2.21	Condutividade	30,4	NR	NR	NR	NR	□S/cm
2.22	DQO	-	NR	NR	NR	NR	mg/L O <sub>2</sub>
2.23	Sulfato	-	250	250	250	NR	mg/L SO <sub>4</sub>
2.24	Oxigênio Dissolvido	-	6,0'	5,0'	4,0'	2,0'	mg/L O <sub>2</sub>
2.25	DBO 5 Dias a 20°C	-	3,0	5,0	10,0	NR	mg/L O <sub>2</sub>
2.26	Sólidos Sedimentáveis	-	NR	NR	NR	NR	mg/L
2.27	Óleos e Graxas	-	Virtualmente Ausente			-	mg/L
2.28	Fenóis Totais	-	0,003	0,003	0,010	1,000	mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
2.29	Ferro Total	0,02	-	0,3	-	0,3	mg/L Fe

03		EXAME BACTERIOLÓGICO					
PARÂMETRO	RESULTADO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO				UNIDADE	
		CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV		
3.1	Índice de Coliforme Total	<1,1	1.000	5.000	20.000	NR	N.M. P 100 mL
3.2	Índice de Coliforme Termotolerante	-	200	1.000	4.000	NR	N.M. P 100 mL
3.3	Índice de <i>Escherichia coli</i>	<1,1	200	1.000	4.000	NR	N.M. P 100 mL

**CONCLUSÃO:** Os Valores dos Parâmetros são analisados segundo - CONAMA - Resolução N° 357 de 17 de Março de 2005 que enquadra os Corpos de água em Classes.

**CLASSE I:**

Destina-se ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que são ingeridas cruas sem remoção de película.

**CLASSE II:**

Destina-se ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário.

**CLASSE III:**

Destina-se ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à desdentação de animais.

**CLASSE IV:**

Destina-se à navegação, harmonia paisagística e aos usos menos exigentes.

**Notas:**

Os métodos utilizados para a determinação dos parâmetros de referência seguem as recomendações do "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" da APHA/AWWA e os resultados devem ser interpretados como representando parte da composição da amostra no momento da análise.

Legenda: N.M.P. = Número Mais Provável \* = Valor Mínimo Permitido \*\* = Cor Natural do Corpo d' água

Responsável Pela Análise:

ALINE VIEIRA / MARA ROCHAEL

Responsável Técnico:

Biol. Dora de E. Santo  
28/07/2008  
Supervisora Laboratório de Água

Local e Data:

GOIÂNIA 12/03/2007.  
Biol. Maria Regina R. de Souza  
PR08.0015  
Ger. de Cont. de Qualidade do Produto

0137G (02)

## **ANEXO E**

**Resultados das simulações das medidas de radiação solar (R-UVA)  
fornecidos pelo Instituto de Recursos Naturais da Universidade de Itajubá**

## ETAPA 1

<b>DIA</b>	<b>HORA</b>	<b>Radiação UV(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Dose(J/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiância eritêmica(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice UV</b>	<b>Conteúdo de Ozônio(DU)</b>
5/9/2007	07:00	4,7129	1,81881	0,0303135	1,2	269
5/9/2007	08:00	17,7035	5,27679	0,0879465	3,5	269
5/9/2007	09:00	32,3099	9,94241	0,1657068	6,6	269
5/9/2007	10:00	44,9326	14,20422	0,236737	9,5	269
5/9/2007	11:00	53,7333	16,423	0,2737167	10,9	269
5/9/2007	12:00	57,7237	15,72332	0,2620552	10,5	269
5/9/2007	13:00	56,5001	12,38226	0,206371	8,3	269
5/9/2007	14:00	50,1851	7,70815	0,1284691	5,1	269
5/9/2007	15:00	39,4373	3,44212	0,0573687	2,3	269
5/9/2007	16:00	25,5875	0,86461	0,0144102	0,6	269
5/9/2007	17:00	11,1184	0,34541	0,0057569	0,2	272
13/9/2007	07:00	5,9314	2,12605	0,0354342	1,4	272
13/9/2007	08:00	19,5554	5,84646	0,097441	3,9	272
13/9/2007	09:00	34,3530	10,70568	0,1784279	7,1	272
13/9/2007	10:00	46,9559	15,02916	0,2504861	10	272
13/9/2007	11:00	55,6167	17,17479	0,2862465	11,4	272
13/9/2007	12:00	59,3896	16,30839	0,2718065	10,9	272
13/9/2007	13:00	57,9001	12,76778	0,2127964	8,5	272
13/9/2007	14:00	51,2932	7,91714	0,1319524	5,3	272
13/9/2007	15:00	40,2543	3,52998	0,058833	2,4	272
13/9/2007	16:00	26,1268	0,88973	0,0148288	0,6	272
13/9/2007	17:00	11,4052	0,45818	0,0076363	0,3	272
21/9/2007	07:00	7,2682	2,4878	0,0414633	1,7	272
21/9/2007	08:00	21,4285	6,50563	0,1084271	4,3	272
21/9/2007	09:00	36,3434	11,59001	0,1931668	7,7	272
21/9/2007	10:00	48,8699	15,99468	0,266578	10,7	272
21/9/2007	11:00	57,3498	18,06786	0,301131	12	272
21/9/2007	12:00	60,8813	17,01558	0,2835931	11,3	272
21/9/2007	13:00	59,1192	13,24168	0,2206946	8,8	272
21/9/2007	14:00	52,2335	8,17676	0,1362793	5,5	272
21/9/2007	15:00	40,9293	3,63788	0,0606314	2,4	272
21/9/2007	16:00	26,5673	0,91885	0,0153141	0,6	272
21/9/2007	17:00	11,6467	0,55651	0,0092752	0,4	271
27/9/2007	07:00	8,3071	2,78149	0,0463581	1,9	271
27/9/2007	08:00	22,7937	7,02381	0,1170636	4,7	271
27/9/2007	09:00	37,7460	12,27345	0,2045576	8,2	271
27/9/2007	10:00	50,1841	16,73378	0,2788964	11,2	271
27/9/2007	11:00	58,5107	18,74815	0,3124692	12,5	271
27/9/2007	12:00	61,8570	17,55359	0,2925599	11,7	271
27/9/2007	13:00	59,8990	13,60379	0,2267299	9,1	271

<b>DIA</b>	<b>HORA</b>	<b>Radiação UV(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Dose(J/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiância eritêmica(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice UV</b>	<b>Conteúdo de Ozônio(DU)</b>
27/9/2007	14:00	52,8240	8,37711	0,1396184	5,6	271
27/9/2007	15:00	41,3510	3,7232	0,0620533	2,5	271
27/9/2007	16:00	26,8498	0,94297	0,0157161	0,6	271
27/9/2007	17:00	11,8173	0,66896	0,0111494	0,4	275
4/10/2007	07:00	9,5020	3,05916	0,0509859	2	275
4/10/2007	08:00	24,2764	7,43374	0,1238957	5	275
4/10/2007	09:00	39,2209	12,71855	0,2119758	8,5	275
4/10/2007	10:00	51,5277	17,1152	0,2852534	11,4	275
4/10/2007	11:00	59,6698	19,00901	0,3168168	12,7	275
4/10/2007	12:00	62,8085	17,69127	0,2948545	11,8	275
4/10/2007	13:00	60,6444	13,65567	0,2275946	9,1	275
4/10/2007	14:00	53,3831	8,39302	0,1398837	5,6	275
4/10/2007	15:00	41,7562	3,73537	0,0622562	2,5	275
4/10/2007	16:00	27,1412	0,95501	0,0159168	0,6	275
4/10/2007	17:00	12,0219	0,85958	0,0143263	0,6	275
19/10/2007	07:00	11,7738	3,71137	0,0618561	2,5	272
19/10/2007	08:00	26,8632	8,46222	0,141037	5,6	272
19/10/2007	09:00	41,6583	13,97454	0,2329091	9,3	272
19/10/2007	10:00	53,6501	18,40097	0,3066828	12,3	272
19/10/2007	11:00	61,4270	20,15417	0,3359029	13,4	272
19/10/2007	12:00	64,2113	18,59491	0,3099151	12,4	272
19/10/2007	13:00	61,7420	14,29179	0,2381964	9,5	272
19/10/2007	14:00	54,2503	8,79095	0,1465158	5,9	272
19/10/2007	15:00	42,4805	3,94904	0,0658174	2,6	272
19/10/2007	16:00	27,7989	1,04082	0,017347	0,7	272
19/10/2007	17:00	12,6208	1,00701	0,0167836	0,7	280
26/10/2007	07:00	12,5772	3,79582	0,0632636	2,5	280
26/10/2007	08:00	27,6865	8,45496	0,1409161	5,6	280
26/10/2007	09:00	42,3693	13,79241	0,2298735	9,2	280
26/10/2007	10:00	54,2197	18,03625	0,3006041	12	280
26/10/2007	11:00	61,8657	19,67984	0,3279974	13,1	280
26/10/2007	12:00	64,5496	18,12919	0,3021532	12,1	280
26/10/2007	13:00	62,0211	13,94486	0,2324143	9,3	280
26/10/2007	14:00	54,5159	8,61375	0,1435625	5,7	280
26/10/2007	15:00	42,7754	3,9119	0,0651983	2,6	280
26/10/2007	16:00	28,1497	1,06047	0,0176745	0,7	280
26/10/2007	17:00	13,0010	1,10809	0,0184681	0,7	269
31/10/2007	07:00	13,0453	4,08831	0,0681386	2,7	269
31/10/2007	08:00	28,1408	9,01378	0,1502297	6	269
31/10/2007	09:00	42,7434	14,62038	0,243673	9,7	269
31/10/2007	10:00	54,5073	19,05748	0,3176246	12,7	269
31/10/2007	11:00	62,0845	20,76219	0,3460364	13,8	269
31/10/2007	12:00	64,7282	19,12601	0,3187669	12,8	269

<b>DIA</b>	<b>HORA</b>	<b>Radiação UV(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Dose(J/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiância eritêmica(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice UV</b>	<b>Conteúdo de Ozônio(DU)</b>
31/10/2007	13:00	62,1931	14,73286	0,2455476	9,8	269
31/10/2007	14:00	54,7143	9,13133	0,1521888	6,1	269
31/10/2007	15:00	43,0272	4,17484	0,0695807	2,8	269
31/10/2007	16:00	28,4654	1,14847	0,0191411	0,8	269

## ETAPA 2

<b>DIA</b>	<b>HORA</b>	<b>Radiação UV(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Dose (Jm<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiância eritêmica (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice UV</b>	<b>Conteúdo de Ozônio (DU)</b>
18/4/2008	07:00	3,8905	NF	0,0036	0,1	245
18/4/2008	08:00	16,2752	NF	0,0290	1,2	245
18/4/2008	09:00	30,5537	NF	0,0882	3,5	245
18/4/2008	10:00	42,9945	NF	0,1696	6,8	245
18/4/2008	11:00	51,7063	NF	0,2448	9,8	245
18/4/2008	12:00	55,6837	NF	0,2844	11,4	245
18/4/2008	13:00	54,5161	NF	0,2724	10,9	245
18/4/2008	14:00	48,3219	NF	0,2138	8,6	245
18/4/2008	15:00	37,7629	NF	0,1318	5,3	245
18/4/2008	16:00	24,1833	NF	0,0575	2,3	245
18/4/2008	17:00	10,1300	NF	0,0137	0,5	245
19/4/2008	07:00	3,8535	NF	0,0035	0,1	244
19/4/2008	08:00	16,1930	NF	0,0289	1,2	244
19/4/2008	09:00	30,4308	NF	0,0879	3,5	244
19/4/2008	10:00	42,8353	NF	0,1692	6,8	244
19/4/2008	11:00	51,5144	NF	0,2442	9,8	244
19/4/2008	12:00	55,4656	NF	0,2835	11,3	244
19/4/2008	13:00	54,2792	NF	0,2714	10,9	244
19/4/2008	14:00	48,0760	NF	0,2126	8,5	244
19/4/2008	15:00	37,5209	NF	0,1308	5,2	244
19/4/2008	16:00	23,9635	NF	0,0569	2,3	244
19/4/2008	17:00	9,9654	NF	0,0134	0,5	244
24/4/2008	07:00	3,6512	NF	0,0032	0,1	251
24/4/2008	08:00	15,7459	NF	0,0268	1,1	251
24/4/2008	09:00	29,7711	NF	0,0817	3,3	251
24/4/2008	10:00	41,9907	NF	0,1574	6,3	251
24/4/2008	11:00	50,5125	NF	0,2270	9,1	251
24/4/2008	12:00	54,3389	NF	0,2630	10,5	251
24/4/2008	13:00	53,0700	NF	0,2507	10,0	251
24/4/2008	14:00	46,8362	NF	0,1952	7,8	251
24/4/2008	15:00	36,3156	NF	0,1188	4,8	251
24/4/2008	16:00	22,8849	NF	0,0508	2,0	251
24/4/2008	17:00	9,1770	NF	0,0115	0,5	251
25/4/2008	07:00	3,6097	NF	0,0032	0,1	251
25/4/2008	08:00	15,6543	NF	0,0266	1,1	251
25/4/2008	09:00	29,6369	NF	0,0810	3,2	251
25/4/2008	10:00	41,8204	NF	0,1561	6,2	251
25/4/2008	11:00	50,3127	NF	0,2252	9,0	251
25/4/2008	12:00	54,1156	NF	0,2608	10,4	251
25/4/2008	13:00	52,8326	NF	0,2484	9,9	251

<b>DIA</b>	<b>HORA</b>	<b>Radiação UV(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Dose (Jm<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiância eritêmica (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice UV</b>	<b>Conteúdo de Ozônio (DU)</b>
25/4/2008	14:00	46,5950	NF	0,1932	7,7	251
25/4/2008	15:00	36,0837	NF	0,1174	4,7	251
25/4/2008	16:00	22,6802	NF	0,0500	2,0	251
25/4/2008	17:00	9,0305	NF	0,0112	0,4	251
8/5/2008	07:00	3,0206	NF	0,0026	0,1	246
8/5/2008	08:00	14,3751	NF	0,0236	0,9	246
8/5/2008	09:00	27,8036	NF	0,0737	2,9	246
8/5/2008	10:00	39,5487	NF	0,1435	5,7	246
8/5/2008	11:00	47,7035	NF	0,2074	8,3	246
8/5/2008	12:00	51,2772	NF	0,2396	9,6	246
8/5/2008	13:00	49,8878	NF	0,2268	9,1	246
8/5/2008	14:00	43,6787	NF	0,1741	7,0	246
8/5/2008	15:00	33,3555	NF	0,1035	4,1	246
8/5/2008	16:00	20,3503	NF	0,0423	1,7	246
8/5/2008	17:00	7,4486	NF	0,0086	0,3	246
9/5/2008	07:00	2,9725	NF	0,0025	0,1	245
9/5/2008	08:00	14,2722	NF	0,0234	0,9	245
9/5/2008	09:00	27,6592	NF	0,0734	2,9	245
9/5/2008	10:00	39,3741	NF	0,1429	5,7	245
9/5/2008	11:00	47,5080	NF	0,2067	8,3	245
9/5/2008	12:00	51,0686	NF	0,2388	9,6	245
9/5/2008	13:00	49,6781	NF	0,2259	9,0	245
9/5/2008	14:00	43,4767	NF	0,1734	6,9	245
9/5/2008	15:00	33,1723	NF	0,1029	4,1	245
9/5/2008	16:00	20,1999	NF	0,0419	1,7	245
9/5/2008	17:00	7,3525	NF	0,0085	0,3	245
15/5/2008	07:00	2,6326	NF	0,0023	0,1	234
15/5/2008	08:00	13,5493	NF	0,0226	0,9	234
15/5/2008	09:00	26,6581	NF	0,0723	2,9	234
15/5/2008	10:00	38,1806	NF	0,1420	5,7	234
15/5/2008	11:00	46,1901	NF	0,2064	8,3	234
15/5/2008	12:00	49,6937	NF	0,2388	9,6	234
15/5/2008	13:00	48,3069	NF	0,2256	9,0	234
15/5/2008	14:00	42,1792	NF	0,1725	6,9	234
15/5/2008	15:00	32,0192	NF	0,1015	4,1	234
15/5/2008	16:00	19,2756	NF	0,0406	1,6	234
15/5/2008	17:00	6,7828	NF	0,0079	0,3	234
16/5/2008	07:00	2,5831	NF	0,0023	0,1	228
16/5/2008	08:00	13,4512	NF	0,0229	0,9	228
16/5/2008	09:00	26,5241	NF	0,0737	2,9	228
16/5/2008	10:00	38,0232	NF	0,1453	5,8	228
16/5/2008	11:00	46,0189	NF	0,2113	8,5	228
16/5/2008	12:00	49,5177	NF	0,2445	9,8	228

<b>DIA</b>	<b>HORA</b>	<b>Radiação UV(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Dose (Jm<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiância eritêmica (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice UV</b>	<b>Conteúdo de Ozônio (DU)</b>
16/5/2008	13:00	48,1348	NF	0,2311	9,2	228
16/5/2008	14:00	42,0196	NF	0,1765	7,1	228
16/5/2008	15:00	31,8807	NF	0,1038	4,2	228
16/5/2008	16:00	19,1679	NF	0,0414	1,7	228
16/5/2008	17:00	6,7191	NF	0,0079	0,3	228

NF= não fornecido

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)