

Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Civil

**Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS):
Inativação e Recrescimento Bacteriano**

Marcelo Jacomini Moreira da Silva

Campinas – SP

Março de 2004

Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Civil

**Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS):
Inativação e Recrescimento Bacteriano**

Marcelo Jacomini Moreira da Silva

Orientador: Prof Dr. José Euclides Stipp Paterniani

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente

Campinas – SP

Março de 2004

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si38d

Silva, Marcelo Jacomini Moreira da
Desinfecção de água utilizando energia solar (SODIS):
inativação e recrescimento bacteriano / Marcelo Jacomini
Moreira da Silva. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: José Euclides Stipp Paterniani.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Energia solar. 2. Microorganismos. 3. Água - Qualidade.
4. Saneamento doméstico. 5. Saneamento rural. 6. Radiação
ultravioleta. I. Paterniani, José Euclides Stipp. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III.
Título.

Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Civil

**DESINFECÇÃO DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR
(SODIS): INATIVAÇÃO E RECRESCEMENTO BACTERIANO**

Marcelo Jacomini Moreira da Silva

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

***Prof Dr. José Euclides Stipp Paterniani
Presidente e Orientador
Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP***

***Prof Dr. Edson Aparecido Abdul Nour
Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP***

***Prof Dr. Rogério Stacciarini
Centro Estadual de Educação Profissional Paula Souza - UNESP***

Campinas, 25 de Março de 2004

À minha esposa e minha filha.

Agradecimentos

Ao Professor e Orientador Paterniani, pelo apoio e confiança em mim depositada para execução deste trabalho.

Aos meus avós Antônio (*in memoriam*), Beatriz, Margot e Renato, pelo incentivo à continuidade nos estudos.

Ao meu mestre Sebastião dos Santos, por todas as vezes em que me ouviu e aconselhou, assim como pelos princípios morais e éticos nos quais baseio meus atos e decisões.

Às minhas tias Lúcia e Rozely, Alcindo e Cristina, pelo apoio no decorrer de toda a graduação.

Ao meu irmão Daniel, que sempre esteve pronto a me incentivar.

Aos amigos Túlio, Rogério, Renata, Rafael, Ricardo, Roberto, Daniel JJ, José Henrique, Angel, Christiane, Gelson, André e Edgard, pela grande amizade durante o desenvolver deste trabalho.

À FEAGRI – UNICAMP pela disponibilização de matéria prima para a pesquisa.

À FEC pela participação no programa de pós-graduação.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro no decorrer da pesquisa.

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. ENERGIA SOLAR.....	4
3.2. LEITOS CULTIVADOS (“CONSTRUCTED WETLANDS”)	4
3.3. DESINFECÇÃO	5
3.4. SISTEMA DE DESINFECÇÃO SOLAR (SODIS – SOLAR WATER DISINFECTION)	7
3.4.1. <i>Espectro Solar</i>	8
3.4.2. <i>Materiais Empregados no SODIS</i>	10
3.4.3. <i>Eficiência do Sistema SODIS</i>	14
3.4.4. <i>Recomendações para utilização do SODIS</i>	18
3.4. PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA	19
3.4.1. <i>Padrão de Potabilidade da Água</i>	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	21
4.2. MATERIAIS UTILIZADOS.....	22
4.2.1 <i>Dimensionamento do Concentrador Solar para Quatro Garrafas</i>	23
4.3. CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	26
4.3.1. <i>Coleta de Água</i>	26
4.3.2. <i>Exposição ao sol</i>	26
4.3.3. <i>Potencial de Recrescimento Bacteriano</i>	27
4.3.4 <i>Programação dos ensaios</i>	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1. DADOS DO AFLUENTE E DAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	30
5.2. INFLUÊNCIA DO CONCENTRADOR SOLAR NA EFICIÊNCIA DO SODIS	35
5.3. INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA EFICIÊNCIA DO SODIS	40
5.4. RECREScimento BACTERIANO	43
5.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	46
5.5.1. <i>Influência do Concentrador Solar e Presença de Nuvens no SODIS</i>	46
5.5.2. <i>Influência do Tempo de Exposição no SODIS</i>	53
6. CONCLUSÕES	55
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	56
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
9. APÊNDICES.....	63
9.1. PLANILHAS DE CAMPO	63

Lista de Figuras

FIGURA 1 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO (FERENCE JR ET AL, 1968).....	8
FIGURA 2 VALORES MÉDIOS SEMANAIS (LINHA CHEIA) E MÉDIA MÓVEL (LINHA TRACEJADA) PARA RADIAÇÃO SOLAR UV-A NA REGIÃO DE BEIRUTE - LIBANO (SODIS, 2003A).....	9
FIGURA 3 VARIAÇÃO DIÁRIA DA INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR UV-A EM DUAS ÉPOCAS DIFERENTES DO ANOS NA REGIÃO DE BEIRUTE - LIBANO (SODIS, 2003A).....	10
FIGURA 4 SACOLAS PLÁSTICAS UTILIZADAS NO SODIS (EAWAG/SANDEC 1999)	12
FIGURA 5 MODELO DE CONCENTRADOR SOLAR PROPOSTO PELO IMTA - INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DE ÁGUA	12
FIGURA 6 INATIVAÇÃO DE <i>E. COLI</i> EM CONDIÇÕES AERÓBIAS E ANAERÓBIAS (SODIS, 2003p)	15
FIGURA 7 COMPARAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR EXPERIMENTAL E OBTIDA POR MODELO TEÓRICO DURANTE UM TESTE EM 10 DE JUNHO DE 1999 REALIZADO POR SAITOH & EL-GHETANY (2002)	17
FIGURA 8 GARRAFA PET COM A METADE PINTADA DE PRETO PARA UTILIZAÇÃO NO SODIS	22
FIGURA 9 DIMENSÕES DO CONCENTRADOR SOLAR PROPOSTO PELO IMTA PARA TRÊS GARRAFAS (EM CORTE).	23
FIGURA 10 ALETA DO CONCENTRADOR SOLAR COM OS TRIÂNGULOS DE APOIO	25
FIGURA 11 FIXAÇÃO DAS ALETAS NA BASE DO CONCENTRADOR SOLAR.....	25
FIGURA 12 CONCENTRADOR SOLAR MONTADO SEM O REVESTIMENTO DE PAPEL ALUMÍNIO	25
FIGURA 13 CONCENTRADOR SOLAR MONTADO COM O REVESTIMENTO DE PAPEL ALUMÍNIO.....	25
FIGURA 14 EXPERIMENTO EM ANDAMENTO: GARRAFAS EXPOSTAS AO SOL COM E SEM A UTILIZAÇÃO DO CONCENTRADOR SOLAR.....	27
FIGURA 15 MORINGAS PARA ARMAZENAGEM DE ÁGUA, SIMULANDO UMA SITUAÇÃO COMUM NO MEIO RURAL	27
FIGURA 16 INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR TOTAL INCIDENTE NOS DIAS COM CÉU ABERTO (DADOS FORNECIDOS PELO CEPAGRI COM BASE EM COLETA A CADA 10 MINUTOS)	31
FIGURA 17 TEMPERATURA DO AR NOS DIAS COM CÉU ABERTO (DADOS FORNECIDOS PELO CEPAGRI COM BASE EM COLETA A CADA 10 MINUTOS)	32
FIGURA 18 INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR TOTAL INCIDENTE NOS DIAS EM QUE HAVIAM NUVENS NO CÉU (DADOS FORNECIDOS PELO CEPAGRI COM BASE EM COLETA A CADA 10 MINUTOS)	32
FIGURA 19 TEMPERATURA DO AR NOS DIAS EM QUE HAVIAM NUVENS NO CÉU (DADOS FORNECIDOS PELO CEPAGRI COM BASE EM COLETA A CADA 10 MINUTOS)	33
FIGURA 20 VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DA RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA (VALORES DIÁRIOS OBTIDOS PELA SOMATÓRIA DOS DADOS COLETADOS A CADA 10 MINUTOS (FONTE: CEPAGRI).....	34
FIGURA 21 VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DIÁRIAS AO LONGO DO ANO DE 2003 (FONTE: CEPAGRI)	35
FIGURA 22 TEMPERATURA MÉDIA DA ÁGUA NO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR (SODIS)	36
FIGURA 23 EFICIÊNCIA DE INATIVAÇÃO DO SODIS EM FUNÇÃO DO USO DO CONCENTRADOR SOLAR	39
FIGURA 24 GARRAFAS UTILIZADAS NO SODIS, À DIREITA UMA GARRAFA UTILIZADA NO CONCENTRADOR SOLAR COM TEMPO DE EXPOSIÇÃO DE 6 HORAS QUE APRESENTOU DEFORMAÇÕES	39
FIGURA 25 TEMPERATURA MÉDIA DA ÁGUA DURANTE O PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR	40
FIGURA 26 VALORES MÉDIOS DA TEMPERATURA DO AR.....	41
FIGURA 27 VALORES MÉDIOS DE INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR TOTAL INCIDENTE	41
FIGURA 28 EFICIÊNCIA DE INATIVAÇÃO DO SODIS EM FUNÇÃO DA CONDIÇÃO CLIMÁTICA	43
FIGURA 29 RECRESCIMENTO DE BACTÉRIAS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA (VALORES MÉDIOS)	45
FIGURA 30 INATIVAÇÃO MÉDIA DE BACTÉRIAS OBTIDA ATRAVÉS DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO	54

Lista de Tabelas

TABELA 1 TEMPO NECESSÁRIA PARA INATIVAÇÃO DE 99,9% DE ENTEROVIRUS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA NO SODIS (WEGELIN ET AL, 1994),.....	14
TABELA 2 PADRÃO DE POTABILIDADE DE ÁGUA, ADAPTADO DA PORTARIA MS 1469/00	20
TABELA 3 DADOS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA AFLUENTE	30
TABELA 4 TEMPERATURA DA ÁGUA [°C] NO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR (SODIS)	36
TABELA 5 EFICIÊNCIA DE INATIVAÇÃO DE BACTÉRIAS DO GRUPO COLIFORMES TOTAIS NO SODIS, EXPRESSO EM PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO BACTERIANA AFLUENTE QUE FORAM INATIVADAS NO PROCESSO.....	37
TABELA 6 EFICIÊNCIA DE INATIVAÇÃO DE BACTÉRIAS <i>E. COLI</i> NO SODIS, EXPRESSO EM PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO BACTERIANA AFLUENTE QUE FORAM INATIVADAS NO PROCESSO.	38
TABELA 7 EFICIÊNCIA DE INATIVAÇÃO DE BACTÉRIAS DO GRUPO COLIFORMES TOTAIS NO SODIS, EXPRESSO EM PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO BACTERIANA AFLUENTE QUE FORAM INATIVADAS NO PROCESSO.....	42
TABELA 8 EFICIÊNCIA DE INATIVAÇÃO DE BACTÉRIAS <i>E. COLI</i> NO SODIS , EXPRESSO EM PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO BACTERIANA AFLUENTE QUE FORAM INATIVADAS NO PROCESSO.	42
TABELA 9 RECREScimento DE BACTÉRIAS DO GRUPO COLIFORMES TOTAIS (N/N_0)	43
TABELA 10 RECREScimento DE BACTÉRIAS <i>E. COLI</i> (N/N_0).....	44
TABELA 11 NÍVEIS DOS FATORES ESTUDADOS NESTA PESQUISA	46
TABELA 12 PLANILHA DE PLANEJAMENTO DE ESTATÍSTICO (1 HORA DE EXPOSIÇÃO AO SOL).....	47
TABELA 13 EFEITOS DOS FATORES SOBRE AS RESPOSTAS AVALIADAS NO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR	47
TABELA 14 VALORES DO TESTE F PARA OS EFEITOS CALCULADOS (1 HORA DE EXPOSIÇÃO AO SOL)	48
TABELA 15 PLANILHA DE PLANEJAMENTO DE ESTATÍSTICO (2 HORAS DE EXPOSIÇÃO AO SOL).....	48
TABELA 16 EFEITOS DOS FATORES SOBRE AS RESPOSTAS AVALIADAS NO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR.....	49
TABELA 17 VALORES DO TESTE F PARA OS EFEITOS CALCULADOS (2 HORAS DE EXPOSIÇÃO AO SOL).....	49
TABELA 18 PLANILHA DE PLANEJAMENTO DE ESTATÍSTICO (4 HORAS DE EXPOSIÇÃO AO SOL).....	50
TABELA 19 EFEITOS DOS FATORES SOBRE AS RESPOSTAS AVALIADAS NO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR	51
TABELA 20 VALORES DO TESTE F PARA OS EFEITOS CALCULADOS (4 HORAS DE EXPOSIÇÃO AO SOL).....	51
TABELA 21 PLANILHA DE PLANEJAMENTO DE ESTATÍSTICO (6 HORAS DE EXPOSIÇÃO AO SOL).....	52
TABELA 22 EFEITOS DOS FATORES SOBRE AS RESPOSTAS AVALIADAS NO PROCESSO DE DESINFECÇÃO SOLAR.....	52
TABELA 23 VALORES DO TESTE F PARA OS EFEITOS CALCULADOS (6 HORAS DE EXPOSIÇÃO AO SOL).....	53

Resumo

Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS): Inativação e Recrescimento Bacteriano

Autor: Marcelo Jacomini Moreira da Silva

Palavras-chave: desinfecção de água, SODIS, energia solar, sistemas alternativos

A utilização de energia solar como forma de desinfecção de águas, além de ser uma fonte natural disponível é perfeitamente aplicável em regiões menos favorecidas em infraestrutura e recursos financeiros, uma vez que não há necessidade da dosagem de produtos químicos e não há custo já que se podem reutilizar materiais comerciais descartados.

O presente trabalho reutilizou garrafas PET, transparentes, com a metade pintada de preto, sendo consideradas como variáveis: tempos de exposição de 1, 2, 4, e 6 horas e o uso de um concentrador dos raios solares.

Os parâmetros de controle do aflente foram turbidez, cor aparente, temperatura, coliformes totais e *E.Coli* e no efluente foram monitorados os parâmetros: temperatura, coliformes totais e *E.Coli*;

Durante a avaliação da reativação bacteriana a água foi armazenada em moringas de mesa por 24 horas, simulando uma situação comum nas residências rurais brasileiras.

Os resultados permitiram concluir que o uso do concentrador solar permite reduzir o tempo de exposição das amostras de água ao sol de 6 horas para 4 horas, sem prejuízo da eficiência do SODIS -Solar Water Disinfection - e utilizando o concentrador solar com

tempo de exposição de 6 horas tem-se o processo de pasteurização solar (SOPAS), com a água atingindo a temperatura de 70°C e não havendo recrescimento de bactérias.

Também se observou que a presença de nuvens reduz a eficiência do SODIS, pela diminuição da radiação solar, mesmo com a temperatura da água mais elevada durante a desinfecção, apesar deste fator não apresentar uma influência estatisticamente significativa.

Abstract

Disinfection of Water using Solar Energy (SODIS): Inactivation and Reactivation of Bacterias

Autor: Marcelo Jacomini Moreira da Silva

Key-words: disifection of water, SODIS, solar energy, alternative system

Besides being an available natural source, the solar energy is very applicable in places where there are bad recourses and low money resouces, because there aren't either the need of chemical products neither a huge cost (commercial materials can be re-used).

To make this job we used re-used half painted black PET bottles with the variables: exposed to heat times: 1, 2, 4 e 6 hours and we used also a concentrator of rays of sunshine.

The afluent control parameters were: turbidity, aparent color, temperature, total coliforms and *E. coli*. The effluent parameters were just the last three: temperature, total coliforms and *E.coli*. To asses the bacteria reactivation the water was kept in bottles for 24 hours, pretending a situation that is very commom in brazilian rural houses.

We conclude that the use of the concentrator of rays of sunshine can reduce the exposition to heat from 6 to 4 hours, without prejudice the SODIS efficiencie and using the concentrator of rays of sunshine for 6 hours we can obtain the process of solar pasteurization (SOPAS), with a 70°C water temperature and stoping the re-growth of bacteria.

We also observed that when there are clouds in the sky the incidence of solar radiation and the SODIS efficiency decrease, even if the water temperature is higher during the disinfection, although this factor doesn't mean a significant influence statistically.

1. Introdução

Nos dias atuais são cada vez mais constantes as discussões entre organizações, instituições acadêmicas e científicas e autoridades governamentais sobre a escassez eminente dos recursos hídricos em nosso planeta. O Brasil, apesar de sua condição aparentemente confortável comparada a outros países, principalmente do oriente médio, não pode ficar alheio a essa questão uma vez que os recursos hídricos no Brasil não estão distribuídos de forma homogênea, e já são muitas as regiões brasileiras que sentem os problemas de falta de água e convivem com freqüentes conflitos por essa razão.

Na grande maioria das regiões onde a água é escassa, esta possui ainda qualidade imprópria para muitos tipos de usos, devido ao lançamento de efluentes de esgotos sanitários e industriais “in natura” nos mananciais, o que se faz necessário à adequação da água para o uso a que se destina, por meio de técnicas apropriadas de tratamento.

Existem diversas tecnologias disponíveis que melhoram a qualidade da água ou de efluentes adequando-os para as necessidades a que são exigidos. Algumas dessas tecnologias são, contudo, caras e sofisticadas, necessitando de grandes investimentos para implantação e para operação, o que torna inviável sua aplicação para pequenas comunidades, principalmente aquelas localizadas em regiões menos favorecidas em infraestrutura e recursos financeiros

Uma tecnologia adequada à essas regiões para tratamento terciário de efluentes são os leitos cultivados, que consiste em percolar o efluente, com tratamento secundário, por um meio de um material suporte e das raízes de uma cultura onde se desenvolve um biofilme bacteriano que irá retirar do efluente nutrientes, como nitrogênio e fósforo.

Nessas situações, o emprego de tecnologias simples e de baixo custo traria a possibilidade de viabilizar o reuso de efluentes e minimizar os impactos sobre os recursos hídricos do ponto de vista qualitativo e quantitativo.

O uso da energia solar para desinfecção de águas (SODIS) vem sendo proposta para utilização por exemplo nas áreas rurais de países em desenvolvimento, como Colômbia, México, entre outros; possibilitando a desinfecção de águas captadas em poços ou mananciais superficiais cujas características físicas e químicas são adequadas ao consumo humano, mas biologicamente não.

Uma das limitações dessa tecnologia é a necessidade do consumo da água tratada no mesmo dia em que foi submetida ao processo de desinfecção devido ao risco do recrescimento das bactérias uma vez que este não apresenta efeito residual

Assim, o presente projeto de pesquisa visa à realização de investigações experimentais mais detalhadas sobre a desinfecção com energia solar (SODIS) de águas residuais com tratamento terciário por leitos cultivados e o recrescimento de bactérias nessas águas.

Para a avaliação da eficiência do SODIS fazem-se necessários testes em condições extremas de operação. O uso do efluente dos leitos cultivados, deve-se a alta concentração de coliformes totais e *E.Coli*, possibilitando assim verificar se o SODIS é capaz de adequar esta “água” ao padrão estabelecido para potabilidade pela portaria MS1469/2000.

2. Objetivos

O presente projeto de pesquisa teve como objetivo geral a avaliação da eficiência do sistema de desinfecção de água como energia solar. Para atingir tal objetivo foram explorados os seguintes aspectos, considerados objetivos específicos:

- ❖ Avaliar a eficiência de sistemas de desinfecção solar (SODIS) para tratamento de águas para reuso;
- ❖ Avaliar a influência do uso de um concentrador dos raios solares e de diferentes condições climáticas na eficiência do SODIS;
- ❖ Verificar a ocorrência de recrescimento das bactérias nessas águas, após a desinfecção.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Energia Solar

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios de escassez de recursos energéticos no futuro (ELETROBRAS, 2004).

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a conseqüente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar (ELETROBRAS, 2004).

No caso de uso da energia solar como energia térmica estamos interessados na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar fototérmica são conhecidos como coletores solares (ELETROBRAS, 2004).

3.2. Leitões Cultivados (“Constructed Wetlands”)

O uso de leitões cultivados plantados com a espécie *Phragmites Australis* para o tratamento de esgotos é comum no Reino Unido (GRIFFIN & UPTON, 1999), e segundo NEWMAN *et al* (2000) os leitões cultivados estão ganhando mais atenção para o tratamento de fontes de poluição de água, sendo usados para tratamento de águas residuárias em

regiões de clima quente, e tendo seu desempenho estudado também em regiões de clima frio. Três sistemas de leitos cultivados foram estudados por KUUSEMETS & MANDER (1999) com eficiência de remoção de DBO_5^{20} na faixa de 76 - 84%, para Nitrogênio total a faixa de eficiência foi de 39 - 70% e para fósforo total entre 73 - 83%. Todos os resultados mostram que, comparado a outras estações do ano, o desempenho no inverno não foi reduzido

O uso dos sistemas de leitos cultivados, segundo GOPAL (1999), tem sido considerados cada vez mais importantes para o tratamento de águas residuárias por causa da habilidade das plantas em absorver grandes quantidades de nutrientes e uma variedade de substâncias tóxicas.

No Brasil, um sistema de tratamento de esgoto doméstico, instalado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, composto por reator anaeróbio e leito cultivado, apresenta efluente com turbidez entre 5 e 20 NTU, o que mostra que o leito cultivado tem excelente eficiência de remoção de sólidos suspensos e turbidez, sendo os principais contaminantes do efluente de origem biológica (coliformes totais e fecais) (LONDE, 2002).

Face a esses resultados, a desinfecção dos efluentes resultantes destes sistemas tornaria viável e adequado o reuso.

3.3. Desinfecção

As doenças de veiculação hídrica são conhecidas desde a antiguidade com relatos de escolha de mananciais feitos por Hipócrates, o pai da medicina, por volta de 2000 aC (DANIEL *et al*, 2001). Entretanto a correlação entre água e veiculação de doenças só foi confirmada em 1848 por John Snow, que comparou as populações abastecidas por 2

mananciais diferentes, sendo que a taxa de mortalidade devido à cólera, era 6 vezes maior naquele que recebia esgoto à montante e neste contexto, desde o início do século XX adotam-se técnicas de tratamento de água para garantir o uso seguro das fontes de abastecimento de água (LUTTENBARCK & COSTA, 1994).

A desinfecção tem por objetivo a destruição dos patógenos presentes na água, constituindo uma parte do tratamento de potabilização da água (DANIEL *et al*, 2001).

Os agentes desinfetantes atuando por meio de processos físicos e/ou químicos, podem ocorrer por três mecanismos diferentes de acordo com STANIER *et al* (1963) citado por DANIEL *et al* (2001):

1. Destruição ou danificação da organização estrutural da célula com atuação na parede celular, causando disfunções pela combinação com ácidos ribonucléicos do citoplasma ou do núcleo; como os derivados do cloro na inativação de bactérias e processos oxidativos avançados;
2. Interferência no nível energético do metabolismo pela inativação de enzimas;
3. Interferência na biossíntese e crescimento pela combinação com síntese de proteínas, ácidos nucléicos, enzimas etc., como os compostos clorados atuando nos vírus e radiações ultravioleta e solar,

No tratamento de água os mecanismos mais comuns são a oxidação com ruptura da parede celular e a difusão no citoplasma com interferência metabólica (DANIEL *et al*, 2001).

A forte ação oxidante de alguns desinfetantes a base de cloro e a presença de diversas substâncias orgânicas na água, como ácidos húmicos e fúlvicos, levam a formação de subprodutos tóxicos, onde os mais estudados são os trialometanos (THM's), por serem

potencialmente carcinogênicos, apesar de representarem apenas 30% dos possíveis subprodutos gerados. (AWWA, 1964; TOMINAGA & MIDIO, 1999).

3.4. Sistema de Desinfecção Solar (SODIS – Solar Water Disinfection)

A exposição ao calor e as radiações ultravioletas, provenientes da radiação solar, são estudadas como processo de desinfecção desde a década de 70 no Líbano, sendo que nos últimos anos vem sendo dado um enfoque de alternativa de baixo custo para desinfecção de água uma vez que já está comprovada a capacidade de eliminação de patógenos (WEGELIN *et al*, 1994).

Os processos usuais de tratamento em escala doméstica são:

1. Fervura, que tem o custo da energia de aquecimento da água;
2. Cloração, dificultada pela necessidade de controle de dosagem e do tempo de contato, e;
3. Filtração em vela cerâmica, requer um afluente com qualidade adequada para não entupir rapidamente o meio filtrante freqüentemente.

O SODIS torna-se uma alternativa técnica e economicamente viável para o tratamento de água em pequenas quantidades tendo como referência de custo US\$3,00 por ano para uma residência de 5 pessoas utilizando garrafas PET, e também não necessita dosagem de produtos químicos. Essas características fazem com que o sistema tenha aceitação de 84% dos usuários de países em desenvolvimento, como Colômbia, Bolívia, Indonésia, Tailândia e China (WEGELIN *et al*, 1994; DANIEL *et al*, 2001; SODIS, 2003j, 2003k, 2003m).

Outro ponto importante é que não ocorre nenhuma alteração nas características químicas e organolépticas da água. Os requisitos para remoção de *E.Coli* da ordem de 10^3 são: escala de tratamento, turbidez da água que deve ser inferior à 30 NTU, intensidade de radiação solar seja da ordem de 600 W/m^2 e tempo de exposição mínimo de 5 horas com 50% de insolação ou 2 dias consecutivos para 100% de nuvens. Isto faz com que a desinfecção por radiação solar seja apropriada para regiões tropicais. (ZAPP *et al*, 1987; WEGELIN *et al*, 1994; SODIS, 2003j, 2003g.)

3.4.1. Espectro Solar

O espectro de radiação solar (FIGURA 1) sofre absorção na camada de ozônio presente na atmosfera, de quase toda a faixa entre 200 e 300nm, chegando sobre a superfície terrestre, em quantidade significativa, apenas as radiações com comprimento de ondas UV-A (320 – 400nm) e mais longos.

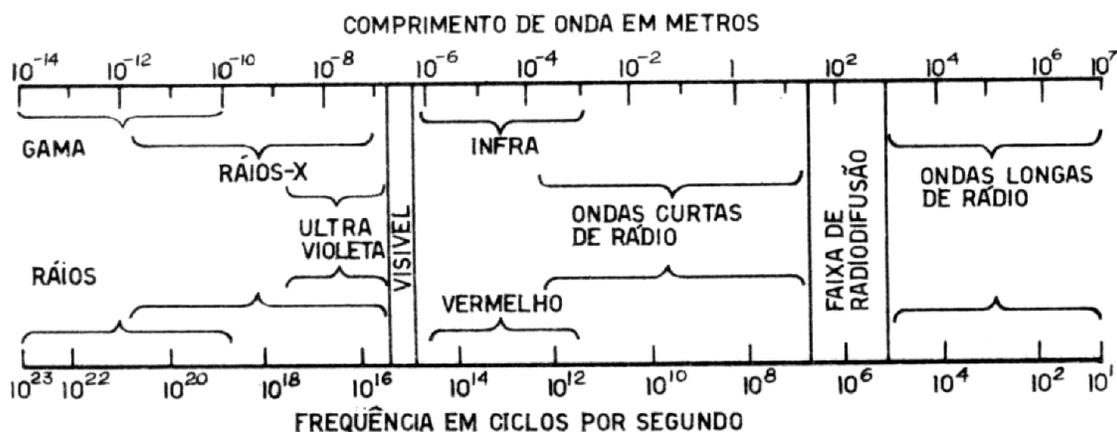


FIGURA 1 Espectro eletromagnético (FERENCE JR et al, 1968).

O efeito bactericida solar corresponde a radiação UV-A, e do espectro violeta da luz visível, uma vez que as radiações UV-C e UV-B são retidas, quase totalmente, pela camada de ozônio (WEGELIN *et al*, 1994; SODIS, 2003b).

A distribuição dessa energia sofre ainda efeitos espaciais e sazonais. A região mais apropriada para uso dessa tecnologia compreende a faixa de latitude entre 15° e 35°, principalmente em regiões semi-áridas, porque nas regiões mais chuvosas, entre 15°S e 15°N, a intensidade de chuvas diminui o tempo de insolação. O tempo médio de exposição ao sol entre 15° e 35° é de 3000 horas por ano, enquanto na região entre o meridiano do equador e as latitudes 15°S ou 15°N é de 2500 horas por ano. (SODIS, 2003b, 2003f).

A variação sazonal da intensidade de radiação UV-A solar depende da latitude do local, sendo menor a amplitude nas regiões próximas ao equador. Na região de Beirute - Líbano, localizada na latitude 56°N o valor máximo foi de 18W/m² em junho e o menor de 5 W/m² em dezembro; a variação de 13 W/m² é considerada significativa (FIGURA 2). A influência de nuvens na intensidade de radiação pode ser notada na FIGURA 3 que permanece mais constante no período de início de inverno, menos chuvoso, apesar da menor intensidade (SODIS, 2003a).

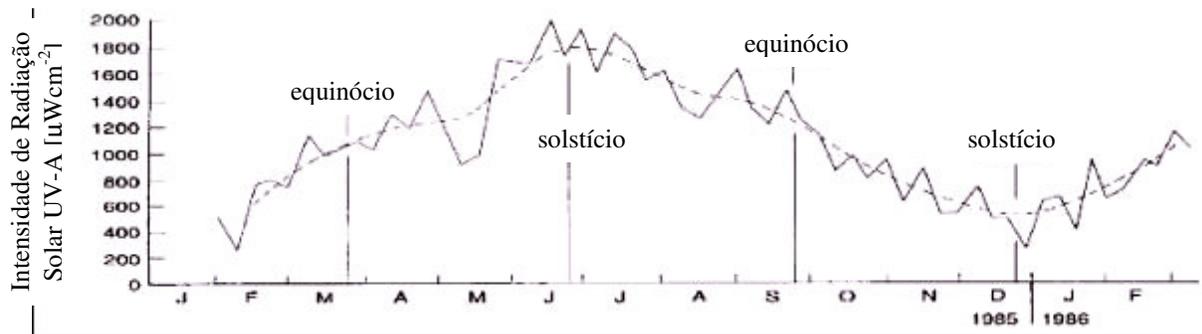


FIGURA 2 Valores médios semanais (linha cheia) e média móvel (linha tracejada) para radiação solar UV-A na região de Beirute - Líbano (SODIS, 2003a)

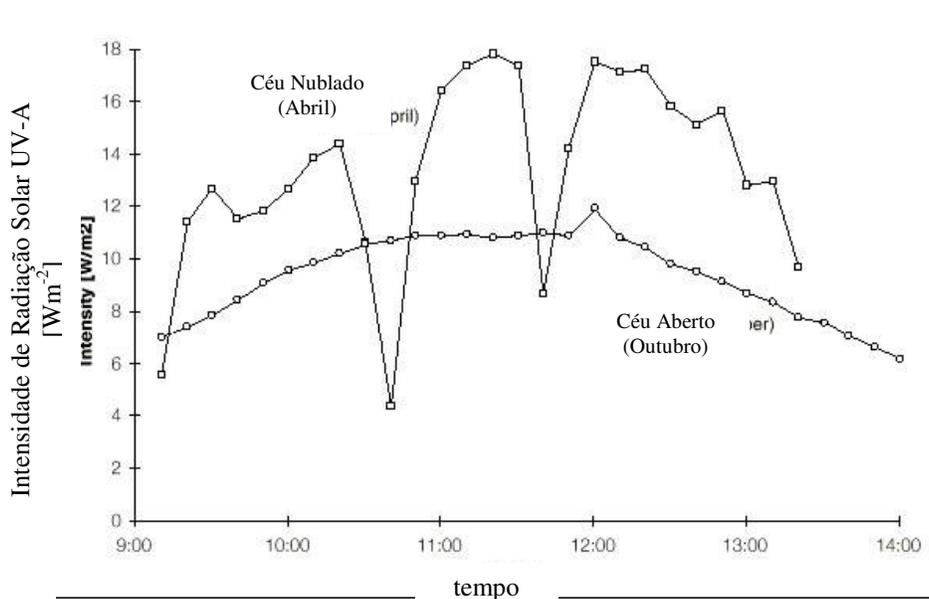


FIGURA 3 Variação diária da intensidade de radiação solar UV-A em duas épocas diferentes do anos na região de Beirute - Líbano (SODIS, 2003a)

3.4.2. Materiais Empregados no SODIS

Por ser uma tecnologia destinada às regiões em desenvolvimento, os materiais empregados para o SODIS devem ter baixo custo. Assim, as alternativas já testadas foram: garrafas de vidro, PVC (policloreto de vinila) e PET (politereftalato de etileno) e também sacolas de PET; todos transparentes com a parte inferior pintada de preto. Desses materiais as garrafas de vidro comuns contêm óxido de ferro e espessura média de 2mm sendo praticamente opacas à radiação UV. Dessa forma seriam necessários vidros especiais como Pyrex, Corex entre outros, que têm 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 radiação solar UV-A (WEGELIN *et al*, 2000; SODIS, 2003e).

A vida útil das garrafas de PVC é determinada pela transmitância de UV, que no comprimento de onda de 257nm é reduzido pela metade com 6 meses de uso contínuo,

devido às mudanças nas propriedades ópticas e mecânicas das garrafas por reações fotoquímicas. Essas reações entretanto não causam efeitos sobre a água pois alteram apenas a superfície externa do PVC e pelas as moléculas terem alto peso molecular, não havendo risco da migração dessas para a superfície interna. (WEGELIN *et al*, 1994; WEGELIN *et al*, 2000; SODIS, 2003c).

As garrafas PET possuem estabilizantes para conter a degradação devido à exposição aos raios UV, não sofrendo alterações nas características químicas quando testado em laboratório pelo período de 1100 horas de exposição. (FECHINE *et al*, 2002; GIJSMAN *et al*, 1999)

Estudos realizados por KOHLER & WOLFENBERGER (2003) em amostras de SODIS expostas ao sol por 6 horas encontraram di(2-ethylhexyl)adipate (DEHA) e di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) em concentrações de 0.010 – 0.046 µg/L para DEHA e 0.10 – 0.71 µg/L para DEHP. As amostras com branco apresentaram uma faixa média de níveis 0.018 µg/L de DEHA e 0.11 µg/L de DEHP, valores muito abaixo da referência da WHO para água potável que é 80 µg/L para DEHA e 8 µg/L para DEHP.

Quanto às comparações entre garrafas e sacolas plásticas de PET (FIGURA 4), as sacolas aquecem mais rapidamente e por apresentarem uma superfície de exposição maior resultando num tempo de exposição mais curto para inativação das bactérias. Entretanto é mais difícil o seu manuseio: a vida útil é no máximo 6 meses além de necessitar de outro recipiente para o consumo da água existe um ponto de possível contaminação. Por outro lado, as garrafas de PET são mais práticas de manusear, mais duráveis e têm baixo custo, porém dependendo do número de pessoas a serem atendidas é necessário utilizar muitas garrafas (SODIS, 2003d).



Figura 4 Sacolas Plásticas Utilizadas no SODIS (EAWAG/SANDEC 1999)

Deve-se considerar ainda, o destino útil que se dá às garrafas PET, evitando sua disposição em aterros sanitários e minimizando impactos ao meio ambiente face a sua lenta degradação natural

Para aumentar a eficiência do SODIS, o Instituto Mexicano de Tecnologia de Água – IMTA, propõe um concentrador solar, construído com material simples, como chapas de aço ou placas de madeira revestidas com papel alumínio com capacidade para desinfecção de 3 garrafas simultaneamente, conforme mostra a FIGURA 5.



FIGURA 5 Modelo de Concentrador Solar proposto pelo IMTA - Instituto Mexicano de Tecnologia de Água

O referido concentrador tem as seguintes dimensões:

- ❖ Base = 55 x 55 cm
- ❖ Aletas = 35 x 35 cm
- ❖ Suportes triangulares = 8,5 x 15 x 17,5 cm

A eficiência obtida nos estudos realizados pelo IMTA, mostra remoção de 99,99% de inativação de coliformes totais com 4 horas de exposição, enquanto que, sob as mesmas condições, as garrafas PET sem o concentrador necessitou de 6 horas de exposição para alcançar tal eficiência. (HERRERA, 2003)

Uma alternativa estudada por SOMMER *et al* (1997) na Colômbia, propõe um concentrador solar com fluxo “contínuo”, entretanto para ocorrer o fluxo existe uma válvula termostática que só é aberta quando a temperatura da água efluente do concentrador atinge 50°C e a água tratada ainda quente passa por um trocador de calor com o objetivo de pré-aquecer a água bruta.

O modelo foi eficiente nos dias com sol para a vazão máxima de 54L/h (tempo de detenção de 40min); apresentou problemas para estabelecimento do fluxo em regime permanente e inativação de coliformes fecais em dias com 50% com céu coberto por nuvens, redução de 36% da energia solar comparada com os dias ensolarados. (SOMMER *et al*, 1997).

Também foi utilizado este reator para o sistema de pasteurização com energia solar (SOPAS), cuja diferença consiste na temperatura da água efluente do concentrador solar, 70°C ao invés de 50°C. O resultados foram similares ao SODIS (SOMMER *et al*, 1997)

SAITOH & EL-GHETANY (2002) também realizaram ensaios no Japão (latitude 38°N) com temperatura de pasteurização de 65°C e fluxo “contínuo”; mas o concentrador

utilizado era construído de Pyrex, com pré-aquecimento e válvula termostática para o controle da temperatura do efluente. A desinfecção foi obtida com apenas 3 horas de exposição ao sol, confirmando a possível utilização dessa tecnologia em fluxo “contínuo” apesar do concentrador utilizado ter custo elevado.

3.4.3. Eficiência do Sistema SODIS

A eficiência do sistema depende basicamente da qualidade da água, temperatura e radiação UV. Dentre os microrganismos mais encontrados nas águas a maior resistência térmica é dos coliformes fecais que necessitam de 80°C para inativação instantânea total. A dose de radiação UV para inativação de 99,9% de coliformes fecais é 24,74 Whm⁻² e para *E.Coli* 19,08 Whm⁻², existindo ainda na combinação de temperatura e radiação um efeito sinérgico que duplica a taxa de inativação de coliformes fecais (ARAFÁ, 1985; WEGELIN *et al*, 1994; SODIS, 2003i).

O estudo realizado por WEGELIN *et al* (1994), na inativação de enterovirus, obteve resultados mostrados na TABELA 1 para inativação de 99,9%.

TABELA 1 Tempo necessária para inativação de 99,9% de enterovirus em função da temperatura da água no SODIS (WEGELIN et al, 1994)

Temperatura (°C)	63	40	20
Tempo (min)	30	42	150

A restrição quanto à qualidade da água utilizada está no valor da turbidez, profundidade da lâmina d’água e concentração de oxigênio. A recomendação de turbidez é o máximo 30 NTU com lâmina d’água máxima de 10 cm, sendo que ocorre a eliminação de 100% de coliformes fecais com lâmina de 4cm e turbidez de 250NTU. O oxigênio presente

na água durante a exposição à luz solar produz radicais livres e peróxidos de hidrogênio que auxiliam na inativação dos microrganismos, este processo é denominado desinfecção foto-oxidativa solar (*solar photo-oxidative disinfection*) e apesar de não apresentar efeitos residuais quando a água é retirada da presença de luz, reduz o tempo de exposição necessário para inativação de microrganismos, como no caso de *E.Coli*, mostrado na FIGURA 6. (SODIS, 2003g, 2003o, 2003p, 2003q)

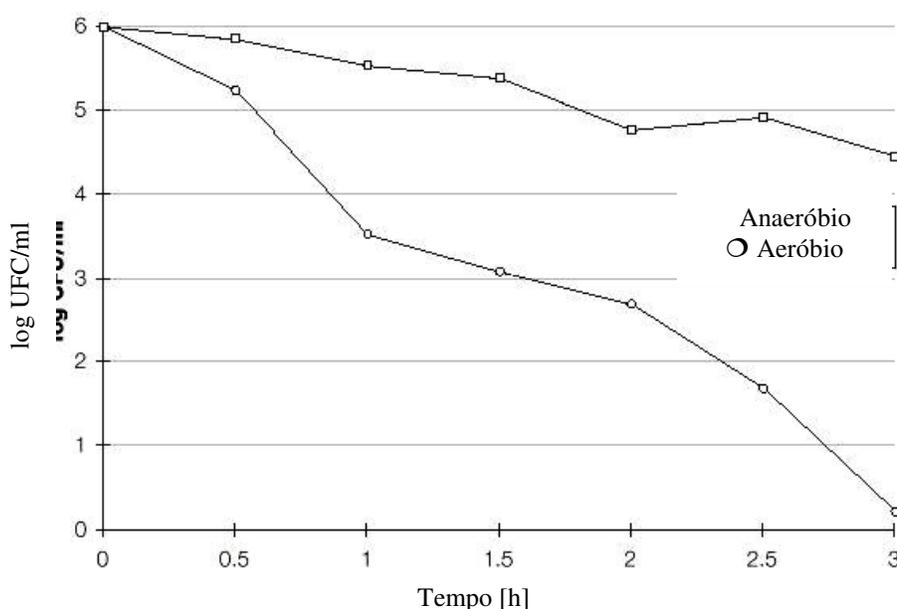


FIGURA 6 Inativação de *E.Coli* em condições aeróbias e anaeróbias (SODIS, 2003p)

No Brasil, estudos realizados por BRANDÃO (2000) na cidade de Brasília, com água que apresentava turbidez de 110 NTU e concentração de coliformes totais de 10^6 UFC(100ml)⁻¹ foram inativados 100% dos coliformes num tempo de exposição de 2 horas e temperatura da água de 50°C. E noutro estudo a autora obteve a desinfecção em sacolas plásticas com lâmina de 5 cm e tempo de exposição de 3 horas para águas com concentração de *E.Coli* da ordem de 10^3 . Neste também foi confirmada pela autora a maior

eficiência de desinfecção obtida com o efeito conjunto de radiação e temperatura. (BRANDÃO et al, 2000)

Em Campinas – SP, LONDE (2002), para águas com turbidez 2 NTU e cor 62 uC, obteve a inativação de 100% dos coliformes totais, *E.Coli* e algas, medidas por meio de clorofila a, num período de exposição de 6 horas em um dia nublado.

KEHOE *et al* (2001), estudaram os efeitos da agitação periódica, turbidez, fundo de papel alumínio e volume das garrafas na inativação de *E.Coli*, com concentração inicial de 10^6 (UFC) ml^{-1} com garrafas totalmente cheias de água.

Os autores concluíram que a agitação das garrafas aumenta o consumo de oxigênio dissolvido e por sua vez diminui a taxa de inativação de microrganismos, entretanto quando não há efeito térmico também não houve influência significativa da concentração de oxigênio dissolvido na eficiência do sistema.

As garrafas que tiveram a folha de papel alumínio apresentaram um decaimento na concentração de *E.Coli* 1,85 vezes maior que as garrafas que não tinham nada na parte inferior, fato atribuído à reflexão da luz na água atuando como um fotosensibilizador (KEHOE *et al*, 2001). Não houve comparação com eficiência das garrafas pintadas de preto.

A turbidez máxima para a eliminação total das bactérias foi de 200 NTU com tempo de exposição de 8,5h, em condições do sol durante todo o dia. Não houve influência do volume da garrafa para valores entre 500ml e 1500ml e o consumo da água deve ser feito no máximo em 24h devido ao crescimento bacteriano. (KEHOE *et al*, 2001)

OATES *et al* (2003) realizaram testes no HAITI com apenas 2/3 da garrafa cheia de água e agitadas antes do início da desinfecção para aumentar o teor de oxigênio dissolvido,

e utilizou como parâmetros de acompanhamento: a remoção de coliformes totais, *E.Coli* e bactérias redutoras de enxofre; além de comparar a intensidade de radiação solar teórica e real. As amostras apresentavam turbidez de 1,3 NTU.

A inativação de 100% microorganismos ocorre com apenas 1 dia de exposição ao sol sob condições climáticas adequadas, porém devido as possíveis variações climáticas, com 2 dias de exposição ao sol não há risco de sobrevivência microbiológica.

Comparações entre as intensidades de radiação solar real e teórica também foram realizadas no Japão por SAITOH & EL-GHETANY (2002) com resultados semelhantes aos encontrados por OATES *et al* (2003), mostrado na FIGURA 7.

OATES *et al* (2003) destacam que se deve ter cuidados para utilização de dados teóricos devido à existência de microclimas nas diferentes regiões de mundo

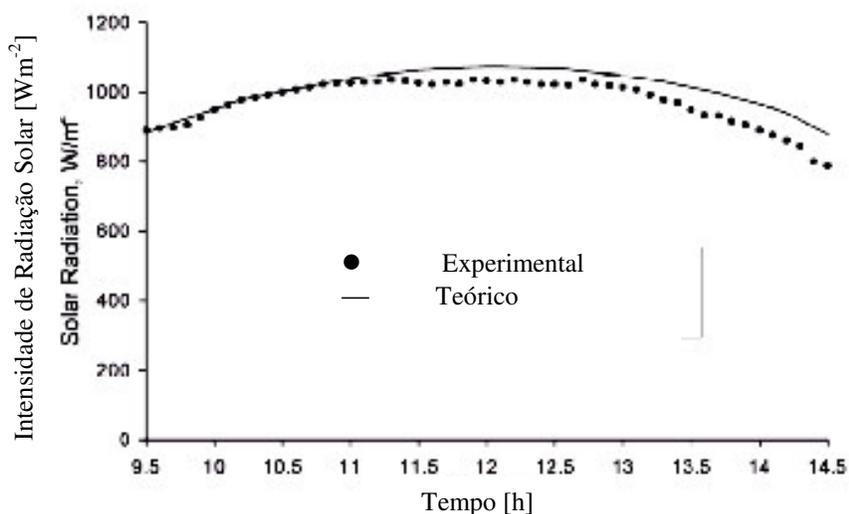


FIGURA 7 Comparação entre a intensidade de radiação solar experimental e obtida por modelo teórico durante um teste em 10 de junho de 1999 realizado por SAITOH & EL-GHETANY (2002)

3.4.4. Recomendações para utilização do SODIS

Apesar de ser um sistema simples, existem algumas recomendações que aumentam sua eficiência. Nas comunidades onde o SODIS foi implementado sem o treinamento da população, a eficiência era reduzida por motivos simples como as garrafas serem colocadas no sol pela manhã e a tarde ficarem na sombra de alguma casa, árvore ou encosto de cadeira (SODIS, 2003h).

Para garantir eficiência as garrafas devem ser preferencialmente de 1 ou 2 litros, semelhantes às utilizadas em refrigerantes, deve ser verificado se o fechamento hermético da garrafa não está danificado por defeito na tampa; lavar a garrafa interna e externamente; e pintar de preto a metade da garrafa que deverá ficar voltada para baixo no período de exposição.

É recomendado que se preencha todo o conteúdo para aproveitar o volume total da garrafa, e que o procedimento seja iniciado pela manhã para aproveitamento máximo da energia solar e conseqüentemente da eficiência; além disso, colocar as garrafas na horizontal e de preferência sobre placas onduladas ou o beiral de uma cobertura, com a metade pintada de preto para baixo, tendo o cuidado para garantir que no decorrer do dia não exista nada que faça sombra na garrafa, como árvores ou até mesmo que a garrafa gire e fique com a parte pintada de preto voltada para cima. Para o consumo, deve-se esperar que a temperatura volte ao natural e não se recomenda estocar água por mais que 1 dia, pois não tem efeito residual e existe possibilidade do recrescimento de microrganismos (SODIS, 2003f, 2003h, 2003i).

Para aumentar a segurança do sistema OATES *et al* (2003) é recomendado o uso de 3 garrafas com o consumo de apenas 1 garrafa por dia e depois retornando essa para o SODIS e retirando outra para consumo. Essa metodologia faz com que cada garrafa fique exposta ao sol por no mínimo 2 dias.

Quando forem utilizadas sacolas deve-se estabelecer a lâmina d'água e retirar o ar excedente pois com o aquecimento ocorre expansão deste podendo romper a embalagem (SODIS, 2003n).

3.4. Padrões de Qualidade de Água

A qualidade da água deve atender, no mínimo, aos padrões exigidos para a finalidade a que estará sendo destinada, devido ao custo e a disponibilidade de água a potabilização e o despejo do efluente após o primeiro uso levam a situações não sustentáveis em diversas situações ou locais.

Nesta condição, a minimização dos custos de tratamento e do consumo da água podem ser realizados com o estabelecimento de diferentes padrões de qualidade e o reuso desta para outras finalidades.

3.4.1. Padrão de Potabilidade da Água

As águas destinadas ao consumo humano devem ser distribuídas à população sem o risco de veiculação de doenças e com condições organolépticas adequadas, a regulamentação é feita pela Portaria nº 1469 de 29/12/2000 do Ministério da Saúde.

A legislação citada define como água potável: “Água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão e não ofereça riscos à saúde” (BRASIL, 2000).

O padrão de potabilidade é definido no Capítulo 4 do anexo da portaria, que estabelece os parâmetros com controle obrigatório e também algumas recomendações; que poderão se tornar obrigatórios em futuras revisões dessa portaria. Além da quantificação dos valores máximos de cada parâmetro, os resultados apresentados devem ser representativos e para isso, é estabelecido um plano de amostragem baseado tanto na população atendida, como no tipo de manancial onde a água é captada e na forma de distribuição. Os valores máximos permitidos de alguns dos parâmetros são apresentados na TABELA 2.

TABELA 2 Padrão de Potabilidade de Água, adaptado da Portaria MS 1469/00

Parâmetro	Unidade	VMP
pH	-	Entre 6,0 e 9,5
pH para cloração	-	< 8,0
Cor	uH (mg PtCo * L ⁻¹)	15
Turbidez – após filtração lenta	UT	2,0
Turbidez – água distribuída	UT	5,0
Ferro	mg*L ⁻¹	0,3
Manganês	mg*L ⁻¹	0,1
ColiformesTotais – saída do tratamento	-	Ausência em 100ml
<i>E.Coli</i> – água para consumo humano	-	Ausência em 100ml
Cloro Residual Livre	mg*L ⁻¹	2,0
Cloro Residual Livre – após desinfecção	mg*L ⁻¹	mínimo de 0,5
Trihalometanos	mg*L ⁻¹	0,1

4. Material e Métodos

4.1. Características do Local e Realização do Experimento

A instalação piloto para a investigação experimental, foi montada no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP localizado no município de Campinas – SP (Latitude 22^o 49'05" Sul), que recebe no verão a intensidade média de radiação solar total de 763,17W/m² e no inverno 471,98W/m², calculado com dados referentes aos últimos 30 anos pelo CIAGRO - Centro de Ecofisiologia e Biofísica (2001) do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)

A escolha desse local deve-se, também, à proximidade do posto meteorológico do CEPAGRI. – Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura, evitando assim quaisquer discordâncias entre as condições de realização do experimento e as medidas de intensidade de radiação.

As avaliações do sistema SODIS foram realizadas variando os parâmetros:

Tempo de Exposição: Foram adotados os tempos de exposição das garrafas PET de 1, 2, 4 e 6 horas, cobrindo assim os pontos do intervalo de tempo entre 40 minutos e 6 horas recomendados pelas literatura para inativação completa de coliformes, conforme cita SOMMER *et al* (1997) e WEGELIN *et al* (1994).

Condições climáticas: este parâmetro foi considerado muito relevante nesta investigação, pois a ele são atribuídas as diferenças de tempo de exposição citadas em parágrafo anterior. Tradicionalmente existe uma divisão em verão e inverno, porém como é difícil definir essas condições em regiões tropicais optou-se por escolher dias com céu totalmente aberto e dias com o céu parcialmente encoberto por nuvens.

Concentrador Solar: o Instituto Mexicano de Tecnologia da Água (HERRERA, 2003) desenvolveu um concentrador solar, de baixo custo, construído madeiras e recoberto com folhas de papel alumínio, para aumentar a eficiência do SODIS (como foi mostrado na FIGURA 4). Na presente pesquisa foram realizados testes com e sem um concentrador solar construídos com base nas especificações do IMTA.

4.2. Materiais Utilizados

As garrafas utilizadas foram adquiridas com o reuso de vasilhames PET descartados após o consumo de refrigerantes, sendo escolhidas as incolores, pois as referencias citam que as cores verde e marrom absorvem a radiação UV. Então por segurança também não foram utilizadas garrafas das cores azul e laranja, uma vez que este estudo não é o objetivo principal deste trabalho.

A metade da garrafa que ficou voltada para baixo foi lixada e pintada com tinta esmalte na cor preto fosco como mostra a FIGURA 8.



Figura 8 Garrafa PET com a metade pintada de preto para utilização no SODIS

Nos estudos realizados foram utilizados 4 tempos de exposição ao sol, entretanto o modelo de concentrador solar proposto pelo IMTA possui capacidade para apenas três garrafas, então, para garantir que os quatro tempos de exposição adotados estivessem sob as mesmas condições foi construído um concentrador solar com as mesmas características geométricas alterando apenas as medidas da base e de duas aletas para que fossem utilizadas quatro garrafas ao invés de três.

4.2.1 Dimensionamento do Concentrador Solar para Quatro Garrafas

Com as dimensões propostas para 3 garrafas:

- ❖ Base = 55 x 55 cm 1 unidade
- ❖ Aletas = 35 x 35 cm 4 unidades
- ❖ Suportes triangulares = 8,5 x 15 x 17,5 cm 8 unidades

Temos o espaço de 38cm para colocar as garrafas (FIGURA 9).

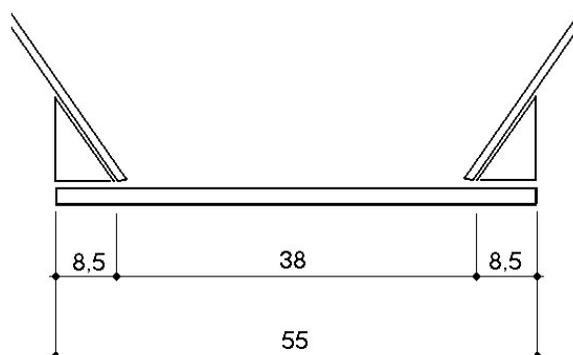


FIGURA 9 Dimensões do concentrador solar proposto pelo IMTA para três garrafas (em corte).

Assim, cada garrafa dispõe de 12,66cm para ser colocada e no caso de uma garrafa a mais, proporcionalmente aumentou-se para 50,66cm o espaço total, e também as duas aletas que ficaram nesses sentido tiveram que ser redimensionadas para 47,66 x 35 cm.

Considerando o espaço destinado a fixação dos triângulos de apoio e das aletas teremos as peças com as seguintes mediadas:

- ❖ Base = 67,66 x 55 cm 1 unidade
- ❖ Aletas = 47,66 x 35 cm 2 unidades
- ❖ Aletas = 35 x 35 cm 2 unidades
- ❖ Suportes triangulares = 8,5 x 15 x 17,5 cm 8 unidades

Para a montagem foi utilizada cola e parafusos, sendo fixados primeiramente os triângulos nas aletas e depois essas na base (FIGURAS 10 e 11)

O concentrador solar montado é mostrado na FIGURA 12.

O recobrimento de papel alumínio foi colado sobre a madeira. (FIGURA 13)



FIGURA 10 Aleta do concentrador solar com os triângulos de apoio



FIGURA 12 Concentrador solar montado sem o revestimento de papel alumínio



FIGURA 11 Fixação das aletas na base do concentrador solar



FIGURA 13 Concentrador solar montado com o revestimento de papel alumínio

4.3. Condução dos experimentos

4.3.1. Coleta de Água

A água utilizada no processo de desinfecção consistia num efluente doméstico com tratamento terciário realizado por leitos cultivados onde havia uma concentração elevada de bactérias do grupo coliformes.

Como os leitos cultivados estavam subdivididos em 3 câmaras optou-se por utilizar uma calha coletora que conduzia a água e a um reservatório de cimento-amianto.

Após as coletas de amostras para exames das características da água, (cor, turbidez e temperatura) verificou-se que a mesma reunia as condições adequadas para o uso do SODIS (turbidez < 30 NTU). Exames bacteriológicos do afluente para avaliação da qualidade da água que foi utilizada no processo de desinfecção solar.

4.3.2. Exposição ao sol

Para o posicionamento adequado do concentrador solar o IMTA recomenda que este seja inclinado 8 cm, porém optou-se por ajustar a inclinação do concentrador para que ao meio dia não houvesse sombra das aletas sobre as garrafas, evitando assim a adoção qualquer inclinação fixa, uma vez que a latitude do local e a época do ano têm influência sobre o ângulo de incidência dos raios solares.

A Figura 14 mostra as garrafas expostas ao sol com e sem o uso do concentrador solar

A limpeza das garrafas foi feita com água destilada e todas as quatro garrafas foram expostas ao sol a partir das 9 horas da manhã e conforme atingindo um dos tempos de amostragem (1, 2, 4 ou 6 horas) uma garrafa era retirada, ao acaso, do sol e realizada a análise de temperatura, coliformes totais e *E.Coli.* imediatamente.



Figura 14 Experimento em andamento: garrafas expostas ao sol com e sem a utilização do concentrados solar

4.3.3. *Potencial de Recrescimento Bacteriano*

Devido a não existência de um residual para desinfecção, que somente é possível com um processo químico de desinfecção, a avaliação do potencial de recrescimento bacteriano é importante principalmente em se tratando de água para consumo humano e de uso não imediatamente após a desinfecção.



Figura 15 Moringas para armazenagem de água, simulando uma situação comum no meio rural

Para a avaliação do recrescimento bacteriano a água desinfetada foi transferida para moringas de mesa, cerâmicas, com volume de 1 litro, previamente lavadas com água de abastecimento e enxaguadas com água destilada (FIGURA 15) e armazenado por 24 horas em condições naturais, simulando as condições de armazenamento em uma residência na área rural. Após as 24 horas coletou-se uma amostra dessa água para exames de coliformes totais e *E.Coli*.

O recrescimento bacteriano foi avaliado pela razão entre o número de indivíduos vivos 24 horas após a desinfecção (N) e no momento da retirada das garrafas do sol (N_0), obtenção assim a razão populacional (N/N_0) entre as amostragens.

Caso 1: $N_0 = 0$ e $N = 0$, considerou-se a razão $N/N_0 = 0$, representando que não houve recrescimento, apesar do denominador da fração ser zero

Caso 2: $N_0 = 0$ e $N \neq 0$, a consideração adotada foi apenas qualitativa sendo indicado: “HOUE RECRESCIMENTO”.

Caso 3: $N_0 \neq 0$ e $N \neq 0$, considerou-se o valor matemático da razão N/N_0 , representando que houve recrescimento quando a razão foi maior que 1 e que a desinfecção continuou a ocorrer quando a razão foi menor que 1.

4.3.4 Programação dos ensaios

Os ensaios foram realizados em triplicata, sendo que para cada coleta realizou-se um total de 17 amostras, totalizando 51 amostras, a distribuição das análises segue:

- 1 análise no afluente comum a todas as amostras ensaiadas
- 4 análises do experimento com o concentrador solar
- 4 análises do re-crescimentos com o concentrador solar
- 4 análises do experimento sem o concentrador solar
- 4 análises do re-crescimentos sem o concentrador solar

As análises do experimento e recrescimento foram feitas uma para cada tempo de exposição (1, 2, 4 e 6 horas) totalizando 4 amostras cada.

Como se estudou a eficiência do SODIS com 2 situações climáticas diferentes (céu aberto e céu com nuvens) tivemos total de 102 amostras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Dados do Afluente e das Condições Experimentais

O afluente do processo de desinfecção, apresentou turbidez média de 5,52NTU com desvio padrão (para os 6 dados) de 4,27 NTU e cor aparente média de 125,67 [Pt-Co] com desvio padrão de 54,40 [Pt-Co]. As concentrações de coliformes totais e *E.Coli* nas amostras foram, em média, da ordem 10^5 e 10^4 NMP.100ml⁻¹, respectivamente.

A TABELA 3 mostra os dados do afluente com as amostras 1 a 3 coletadas em dias com céu aberto e as amostras 4 a 6 em dias com o céu parcialmente encoberto por nuvens.

Tabela 3 Dados das amostras de água afluente

Amostra	Condição climática	Data	Turbidez [NTU]	Cor	Temperatura	Col. Totais [NMP.100ml ⁻¹]	<i>E.Coli</i>
				Aparente [Pt-Co]	do ar [°C]		
1	Céu Aberto	25/09/2003	3,47	140	22,7	$2,4 \times 10^5$	$9,0 \times 10^2$
2		30/09/2003	5,89	127	21,5	$8,34 \times 10^3$	$1,22 \times 10^3$
3		1/10/2003	2,46	89	22,7	$6,8 \times 10^3$	$5,0 \times 10^2$
4	Céu Nublado	29/9/2003	13,9	226	20,3	$1,5 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$
5		15/11/2003	3,18	82	22,1	$1,8 \times 10^5$	$7,6 \times 10^4$
6		16/11/2003	4,20	90	21,8	$1,6 \times 10^5$	$2,3 \times 10^3$
Média			5,52	125	21,8	$1,02 \times 10^5$	$1,37 \times 10^4$
Desvio Padrão			4,27	54	0,9	$1,04 \times 10^5$	$3,05 \times 10^4$

Os valores de turbidez mostram que as amostras de água afluente ao processo estavam adequadas para o processo de desinfecção solar.

A cor aparente e a temperatura das amostras de água afluente ao processo mantiveram-se constantes ao longo do período de investigação apresentando apenas uma amostra (número 4) com valores mais elevados, como mostrado na TABELA 3.

As concentrações de coliformes totais e *E.Coli*, apresentaram grande variabilidade, devido às variações de vazão do sistema de tratamento biológico, a montante do ponto de coleta e das condições climáticas.

As condições experimentais, referentes ao clima, foram determinadas pela ocorrência de nuvens no céu. Os dados de intensidade de radiação solar total e temperatura ambiente dos dias com céu aberto estão representados pelas amostras 1 a 3 (25 e 30/setembro e 01/outubro) mostrados nas Figura 16 e 17.

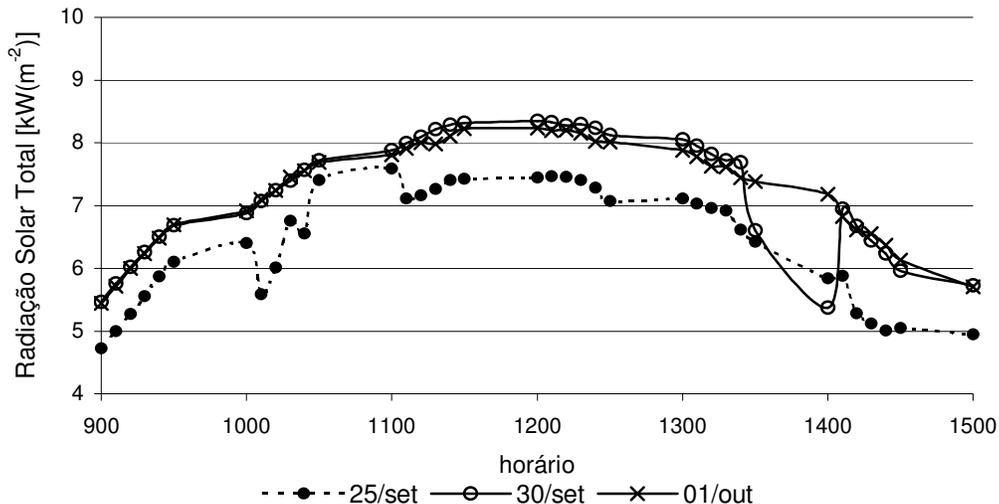


Figura 16 Intensidade de Radiação Solar Total Incidente nos dias com céu aberto (dados fornecidos pelo CEPAGRI com base em coleta a cada 10 minutos)

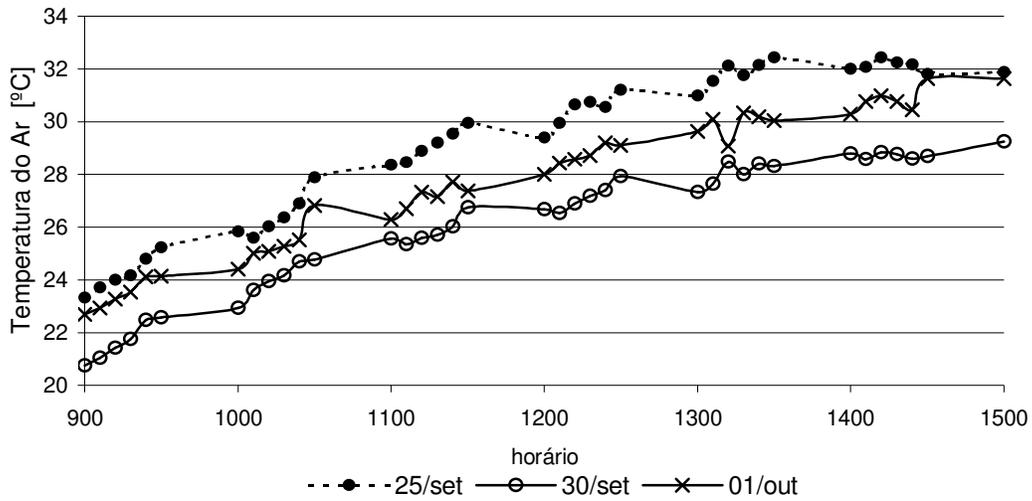


Figura 17 Temperatura do Ar nos dias com céu aberto (dados fornecidos pelo CEPAGRI com base em coleta a cada 10 minutos)

As coletas nos dias em que o céu esteve encoberto por nuvens, amostras 4 a 6 (29/setembro e 15 e 16/novembro) estão apresentados na Figura 18 e 19.

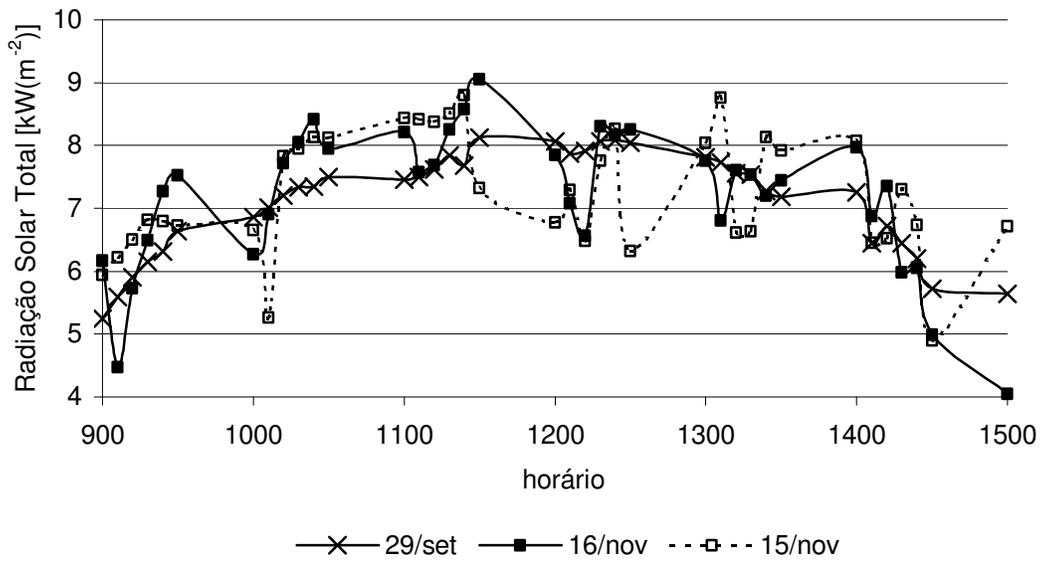


Figura 18 Intensidade de Radiação Solar Total Incidente nos dias em que haviam nuvens no céu (dados fornecidos pelo CEPAGRI com base em coleta a cada 10 minutos)

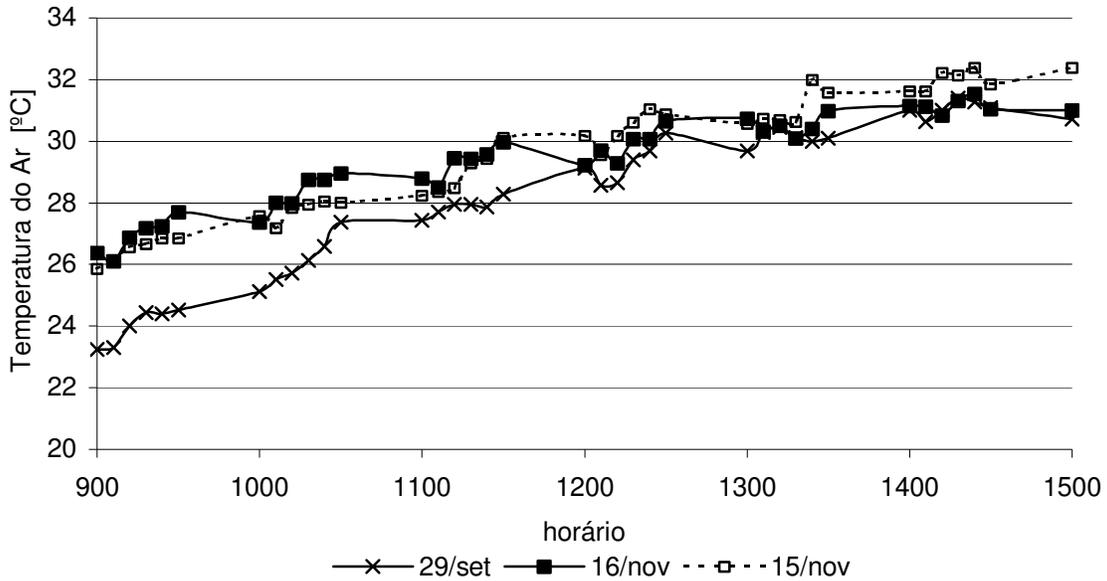


Figura 19 Temperatura do Ar nos dias em que haviam Nuvens no Céu (dados fornecidos pelo CEPAGRI com base em coleta a cada 10 minutos)

Os dados experimentais dos dias com o céu sem nuvens apresentam menor variabilidade de intensidade de radiação solar, confirmando as informações encontradas na literatura técnica, conforme ilustra na Figura 3, que justifica tal variabilidade pela interceptação momentânea dos raios solares pelas nuvens.

No período total de exposição ao sol (6 horas compreendidas entre 9:00 e 15:00) a radiação solar total, mostrada nas Figuras 16 e 18, é mais intensa entre 10:00 e 14:00 e a temperatura ambiente reduz a taxa de crescimento a partir do meio dia, como pode ser observado nas Figuras 17 e 19.

No caso exposição ao sol por apenas 4 horas o horário com melhores condições de utilização do SODIS é entre 10:00 e 14:00, pois neste período tem-se tanto a temperatura como a radiação solar simultaneamente em quantidade adequadas para a alta eficiência do SODIS.

Quanto à variação sazonal anual da intensidade de radiação solar diária, os valores dos meses de junho a julho de 2003 apresentam menores médias porém menor amplitude entre os valores máximos e mínimos, como mostra a Figura 20 e quanto às temperaturas máximas diárias os valores médios mensais mostraram-se constantes ao longo do ano de 2003 e assim como a radiação solar total, teve menores variações nos meses de inverno que nos meses de verão, como mostra a Figura 21.

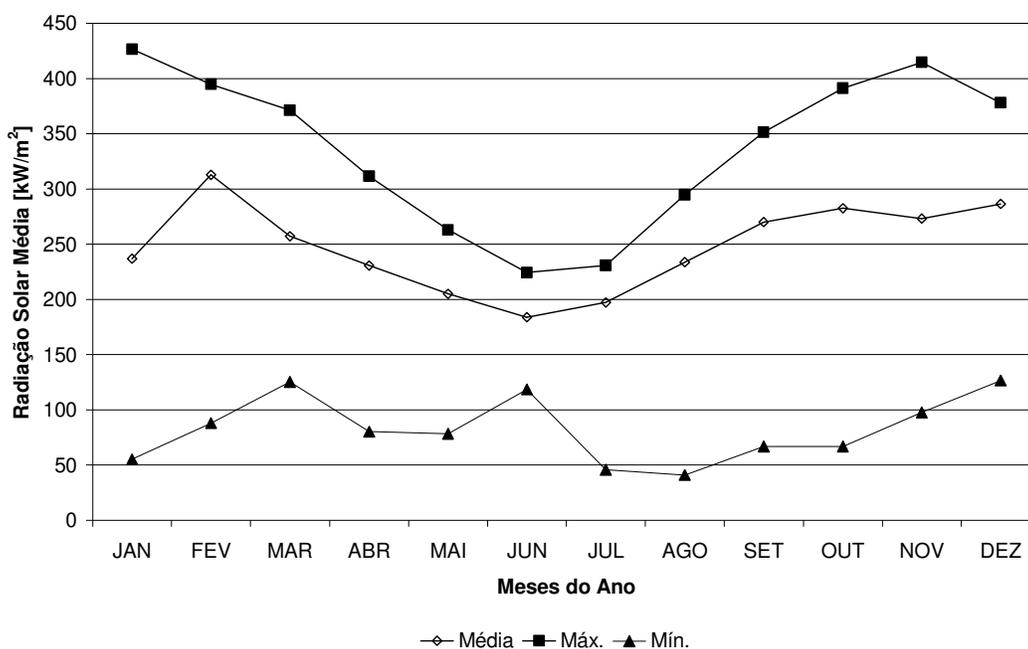


Figura 20 Valores médios, máximos e mínimos da radiação solar diária (valores diários obtidos pela somatória dos dados coletados a cada 10 minutos (fonte: CEPAGRI)

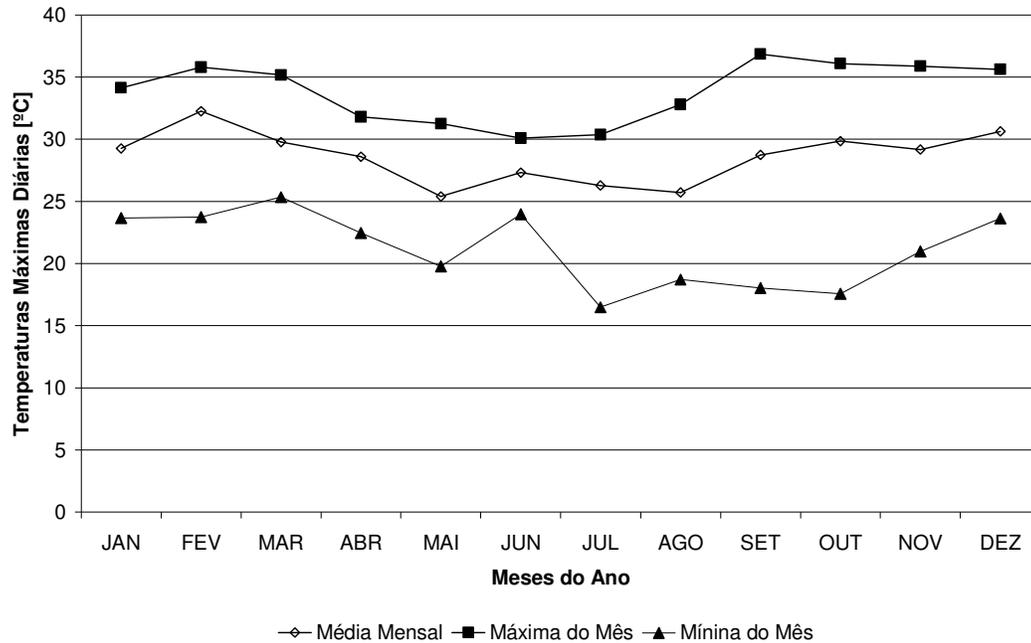


Figura 21 Valores médios, máximos e mínimos das temperaturas máximas diárias ao longo do ano de 2003 (fonte: CEPAGRI)

5.2. Influência do Concentrador Solar na Eficiência do SODIS

A eficiência do SODIS, segundo revisão bibliográfica, está diretamente relacionada com a temperatura da água e com presença de radiação solar, sendo recomendado o mínimo de 50°C e tempo de exposição de 6 horas; entretanto em algumas regiões com baixa incidência de radiação solar ou presença de nuvens é recomendado que a exposição seja feita por períodos maiores, devido à fatores que possam limitar a eficiência da desinfecção, como a própria latitude do local, presença de nuvens, época do ano, entre outras.

O uso do concentrador solar minimiza as interferências aumentando a eficiência do processo.

O aquecimento da água nas garrafas (Tabela 4) que estavam colocadas no concentrador atingiu um valor máximo da ordem de 70°C com 4 horas de exposição e a partir de então tendendo a estabilização.

Tabela 4 Temperatura da água [°C] no processo de desinfecção solar (SODIS)

SEM CONCENTRADOR SOLAR							
Tempo [h]	25/9/03 [°C]	30/9/03 [°C]	1/10/03 [°C]	29/9/03 [°C]	15/11/03 [°C]	16/11/03 [°C]	Média [°C]
1	29,4	31,8	32,5	28,9	27,9	28,8	29,9
2	36,6	40,4	40,8	36,9	37,5	38,1	38,3
4	47,7	48,2	51,1	44,4	48,5	49,6	48,3
6	51,3	48,3	56,2	43,3	47,9	47,6	49,1

COM CONCENTRADOR SOLAR							
Tempo [h]	25/9/03 [°C]	30/9/03 [°C]	1/10/03 [°C]	29/9/03 [°C]	15/11/03 [°C]	16/11/03 [°C]	Média [°C]
1	31,4	42,5	39,2	31,2	30,8	31,4	34,4
2	45,9	50,7	50,5	42,7	41,5	42,6	45,7
4	68,7	74,9	76,6	53	70,2	70,4	69,0
6	72,9	75,3	79,4	51,5	70,4	70,7	70,0

A água das garrafas, que não utilizaram o dispositivo (concentrador), atingiram a temperatura máxima da ordem de 50°C também com tempo de exposição de 4 horas, porém apresentando em algumas amostras um decréscimo na temperatura quando o tempo de exposição atingiu 6 horas.

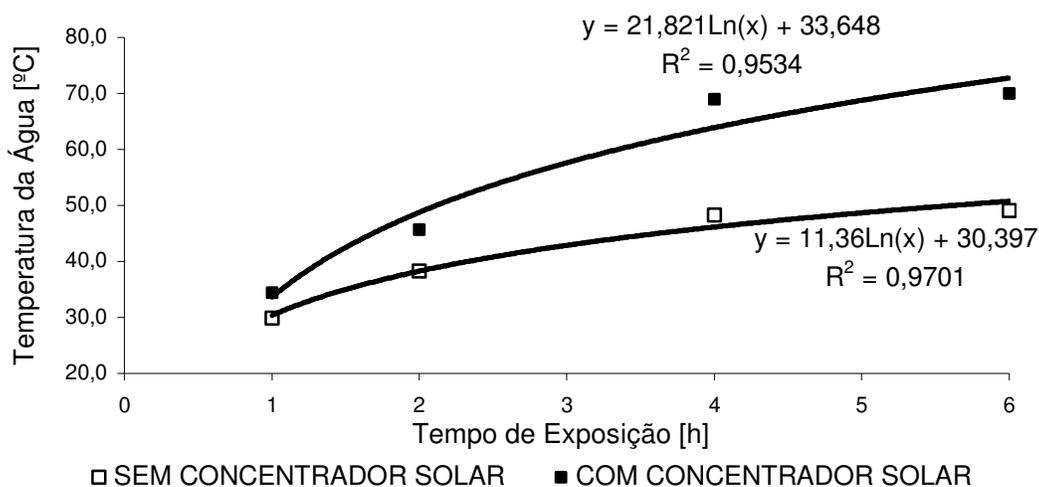


Figura 22 Temperatura média da água no processo de desinfecção solar (SODIS)

Nota-se que concentrador atua mais significativamente com satisfatório aumento da temperatura, tendo esta um comportamento logarítmico com alto coeficiente de correlação, $R^2 = 0,9534$ utilizando o concentrador solar e $R^2 = 0,9701$ no processo de desinfecção tradicional

A estabilização, ou redução, da temperatura no tempo de exposição de 6 horas deve-se ao horário do dia. A amostra que representa 4 horas de exposição foi coletada às 13:00h e a referente a 6 horas às 15:00h, mais afastado do meio dia.

A eficiência de inativação de coliformes totais nas garrafas que não utilizaram o concentrador solar atingiu a média de 99,56% com tempo de exposição de 6 horas; enquanto as eficiências para garrafas com o concentrador solar foram em média 99,89% e 99,98% com 4 horas e 6 horas de exposição respectivamente. (Tabela 5).

Tabela 5 Eficiência de Inativação de Bactérias do Grupo Coliformes Totais no SODIS, expresso em porcentagem da população bacteriana afluyente que foram inativadas no processo.

AMOSTRAS SEM CONCENTRADOR SOLAR (%)							
Tempo [h]	25/9/03 [°C]	30/9/03 [°C]	1/10/03 [°C]	29/9/03 [°C]	15/11/03 [°C]	16/11/03 [°C]	Média [%]
1	97,85	32,37	2,65	40,00	97,37	95,85	61,02
2	90,00	67,63	74,59	64,27	96,57	95,04	81,35
4	99,92	99,49	99,94	80,07	99,96	99,96	96,56
6	100,00	99,95	100,00	97,64	99,89	99,86	99,56
AMOSTRAS COM CONCENTRADOR SOLAR (%)							
1	0,00	67,75	6,76	60,00	97,14	70,85	50,42
2	99,76	93,23	98,06	50,67	99,30	99,50	90,09
4	99,987	100,00	100,00	99,33	100,00	100,00	99,89
6	100,00	100,00	100,00	99,87	100,00	100,00	99,98

Comparando as Tabelas 4 e 5 pode-se notar que as garrafas cujas temperaturas alcançaram 50°C e tempo de exposição de 6 horas, sem o concentrador solar, tiveram 100% de eficiência, confirmando os dados de pré-requisitos encontrados na literatura. Já, naquelas

que utilizaram o concentrador solar a eficiência foi de 100% com 4 horas de exposição quando alcançou-se a temperatura de 70°C.

A inativação de *E.Coli* (Tabela 6) foi em média 98,46% nas garrafas que não utilizaram o concentrador solar com tempo de exposição de 6 horas; enquanto a eficiência do sistema com o concentrador foi 100% com apenas 4 horas de exposição.

Tabela 6 Eficiência de Inativação de Bactérias *E.Coli* no SODIS, expresso em porcentagem da população bacteriana afluenta que foram inativadas no processo.

AMOSTRAS SEM CONCENTRADOR SOLAR (%)							
Tempo [h]	25/9/03 [°C]	30/9/03 [°C]	1/10/03 [°C]	29/9/03 [°C]	15/11/03 [°C]	16/11/03 [°C]	Média [%]
1	44,44	67,21	20,00	20,00	68,89	97,87	53,07
2	100,00	79,34	71,40		45,78	98,41	78,99
4	96,48	99,34	100,00	80,00	98,19	99,94	95,66
6	100,00	100,00	100,00	98,00	93,04	99,71	98,46

AMOSTRAS COM CONCENTRADOR SOLAR (%)							
Tempo [h]	25/9/03 [°C]	30/9/03 [°C]	1/10/03 [°C]	29/9/03 [°C]	15/11/03 [°C]	16/11/03 [°C]	Média [%]
1	77,78	59,02	20,00	80,00	32,44	88,63	59,64
2	97,78	97,54	88,00	60,00	76,76	99,31	86,56
4	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
6	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A Figura 23 representa o desenvolvimento de desinfecção ao longo do tempo de exposição em função da do uso do concentrador solar.

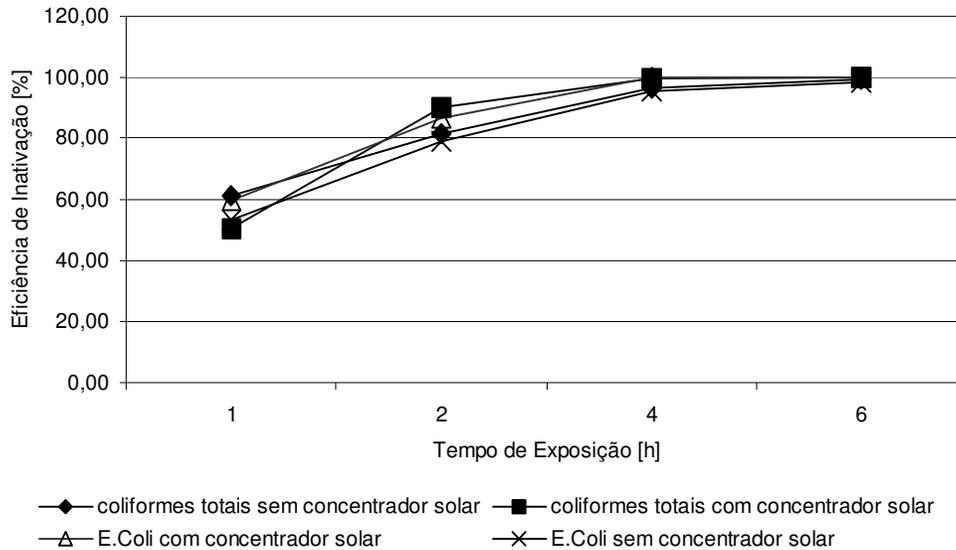


Figura 23 Eficiência de Inativação do SODIS em função do uso do concentrador solar

Uma restrição ao uso do concentrador solar é a necessidade da retirada das garrafas da exposição ao sol após 4 horas de exposição quando a água atinge 70°C, pois as garrafas deixadas ao sol para completar 6 horas de exposição apresentaram deformações devido à temperatura elevada ocorrendo a perda do fechamento hermético da tampa.

A figura 24 mostra uma garrafa retirada do sol sem deformações (à esquerda) e uma garrafa deformada (à direita).

Após o período de ensaios a pintura das garrafas permanecia em perfeito estado de conservação; não havendo pontos de desgaste ou “descolamento” da película de tinta.



Figura 24 Garrafas utilizadas no SODIS, à direita uma garrafas utilizada no concentrador solar com tempo de exposição de 6 horas que apresentou deformações

5.3. Influência das Condições Climáticas na Eficiência do SODIS

O aquecimento da água e a inativação bacteriana tiveram influência da condição climática presente durante o tempo de exposição ao sol.

A temperatura da água durante o processo (Figura 25) foi superior nos dias sem nuvens apesar da menor temperatura do ar nesses dias (Figura 26). Essa diferença de aquecimento pode ser explicada pela maior oscilação da intensidade de radiação solar nos dias com nuvens pois estas interceptam momentaneamente a incidência de raios solares, conforme a Figura 27.

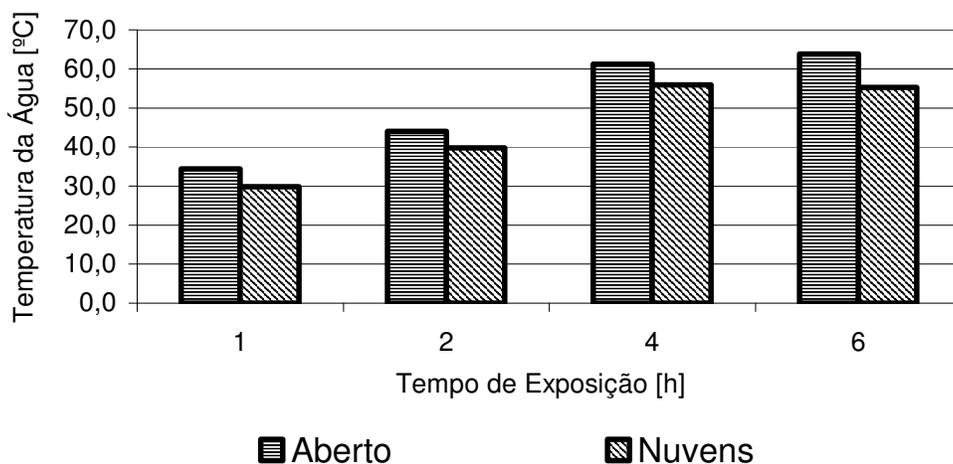


Figura 25 Temperatura média da água durante o processo de desinfecção solar

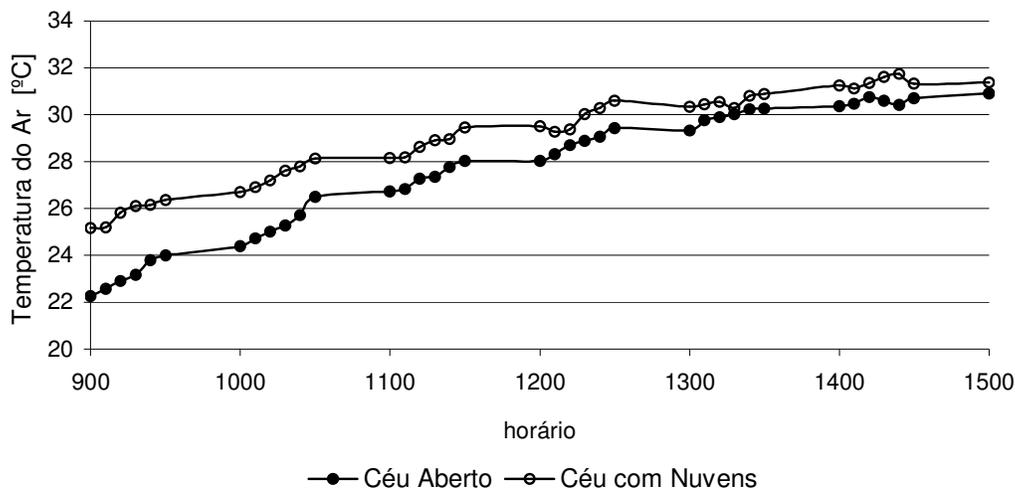


Figura 26 Valores Médios da Temperatura do Ar

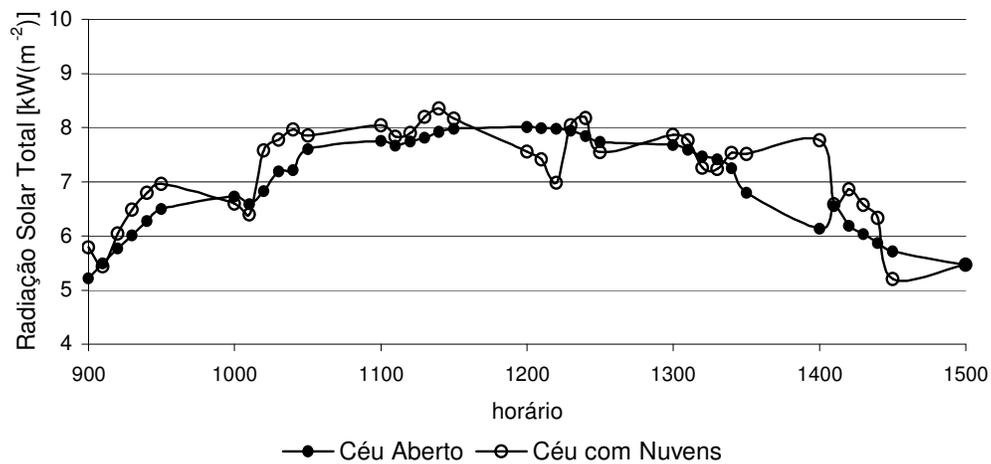


Figura 27 Valores Médios de Intensidade de Radiação Solar Total Incidente

A inativação de bactérias do grupo coliformes totais teve os valores médios mostrados na Tabela 7. Para o tempo de exposição de 4 horas a eficiência de inativação foi 3,29% maior no processo realizado com céu aberto e para o tempo de exposição de 6 horas a diferença na eficiência diminuiu, chegando 99,992% nos dias com céu aberto e 99,6% nos dias com nuvens, diferença de apenas 0,392%.

Tabela 7 Eficiência de Inativação de Bactérias do Grupo Coliformes Totais no SODIS, expresso em porcentagem da população bacteriana afluyente que foram inativadas no processo.

Céu Aberto							
Tempo [h]	25/9/03 [%]	25/9/03 [%]	30/9/03 [%]	30/9/03 [%]	1/10/03 [%]	1/10/03 [%]	Média [%]
1	97,85	32,37	2,65	0,00	67,75	6,76	34,56
2	90,00	67,63	74,59	99,76	93,23	98,06	87,21
4	99,92	99,49	99,94	99,987	100,00	100,00	99,89
6	100,00	99,95	100,00	100,00	100,00	100,00	99,992
Céu com Nuvens							
Tempo [h]	29/9/03 [%]	29/9/03 [%]	15/11/03 [%]	15/11/03 [%]	16/11/03 [%]	16/11/03 [%]	Média [%]
1	40,00	97,37	95,85	60,00	97,14	70,85	76,9
2	64,27	96,57	95,04	50,67	99,30	99,50	84,2
4	80,07	99,96	99,96	99,33	100,00	100,00	96,6
6	97,64	99,89	99,86	99,87	100,00	100,00	99,5

A diferença de eficiência de inativação de *E.Coli* foi maior que na inativação de coliformes totais, sendo inativação de 100% nos dias com céu aberto e 98,46% nos dias com nuvens. A Tabela 8 mostra os dados de eficiência de inativação para os diferentes tempos de exposição ao sol.

Tabela 8 Eficiência de Inativação de Bactérias *E.Coli* no SODIS , expresso em porcentagem da população bacteriana afluyente que foram inativadas no processo.

Céu Aberto							
Tempo [h]	29/9/03 [%]	29/9/03 [%]	15/11/03 [%]	15/11/03 [%]	16/11/03 [%]	16/11/03 [%]	Média [%]
1	44,44	67,21	20,00	77,78	59,02	20,00	48,08
2	100,00	79,34	71,40	97,78	97,54	88,00	89,01
4	96,48	99,34	100,00	100,00	100,00	100,00	99,30
6	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Céu com Nuvens							
Tempo [h]	29/9/03 [%]	29/9/03 [%]	15/11/03 [%]	15/11/03 [%]	16/11/03 [%]	16/11/03 [%]	Média [%]
1	20,00	68,89	97,87	80,00	32,44	88,63	64,64
2		45,78	98,41	60,00	76,76	99,31	76,05
4	80,00	98,19	99,94	100,00	100,00	100,00	96,35
6	98,00	93,04	99,71	100,00	100,00	100,00	98,46

A Figura 28 representa o desenvolvimento da desinfecção ao longo do tempo de exposição em função das condições climáticas

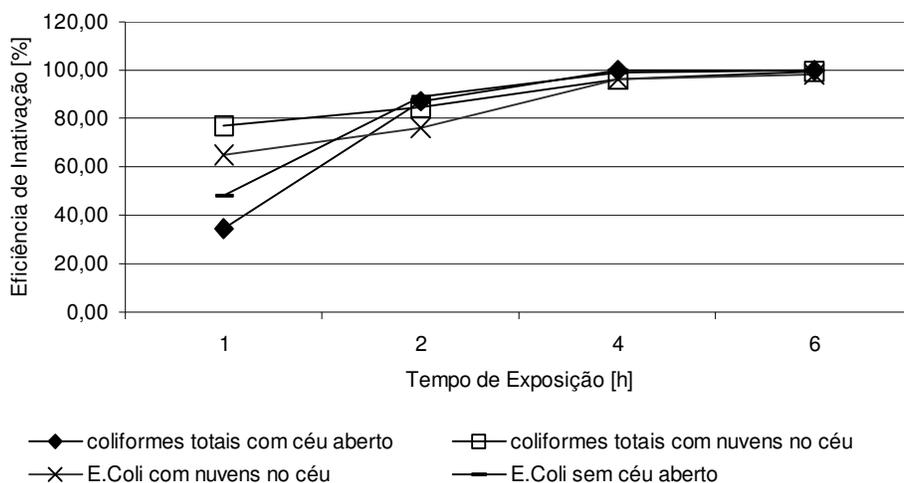


Figura 28 Eficiência de Inativação do SODIS em função da condição climática

5.4. Recrescimento Bacteriano

O recrescimento bacteriano tem um papel importante devido à manutenção da potabilidade da água. Os dados desta fase da investigação estão mostrados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 Recrescimento de Bactérias do Grupo Coliformes Totais (N/N₀)

Céu Aberto						
Tempo [h]	29/9/03 [%]	29/9/03 [%]	15/11/03 [%]	15/11/03 [%]	16/11/03 [%]	16/11/03 [%]
1	1,69	0,87	12,42	1,00	2,32	0,90
2	0,26	1,98	2,15	0,29	0,74	7,41
4	22,68	55,94	600,00	0,00	0,00	0,00
6	Houve recrescimento	10,65	0,00	0,00	0,00	0,00
Céu com Nuvens						
Tempo [h]	29/9/03 [%]	29/9/03 [%]	15/11/03 [%]	15/11/03 [%]	16/11/03 [%]	16/11/03 [%]
1	1,11	1,04	0,57	1,32	0,66	0,08
2	0,97	0,22	0,14	0,88	0,25	3,59
4	0,48	4,60	5,81	0,00	0,00	0,00
6	5,17	20,91	14,15	0,00	0,00	0,00

Tabela 10 Recrescimento de Bactérias *E.Coli* (N/N₀)

Céu Aberto						
Tempo [h]	29/9/03 [%]	29/9/03 [%]	15/11/03 [%]	15/11/03 [%]	16/11/03 [%]	16/11/03 [%]
1	0,20	0,75	1,25	0,91	0,20	0,50
2	Houve recrescimento	0,48	1,23	1,00	0,33	0,20
4	17,79	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	Houve recrescimento	0,00	0,00	0,00
Céu com Nuvens						
Tempo [h]	29/9/03 [%]	29/9/03 [%]	15/11/03 [%]	15/11/03 [%]	16/11/03 [%]	16/11/03 [%]
1	1,25	0,71	0,37	6,00	0,13	0,03
2	0,46	0,33	0,42	0,25	0,03	0,03
4	0,20	33,60	38,18	0,00	0,00	0,00
6	1,50	8,14	5,91	0,00	0,00	0,00

As amostras dos ensaios com tempo de exposição de 1 e 2 horas, não tiveram a inativação total das amostras e apresentaram, 24 horas após o fim do SODIS, valores concentração de coliformes totais e *E.Coli* tanto superiores ($N/N_0 > 1$) como inferiores ($N/N_0 < 1$) àqueles apresentados no momento final do SODIS, indicando que pode ocorrer um recrescimento significativo de microrganismos após o processo SODIS, se o tempo de exposição e a temperatura não forem adequadas.

Esse comportamento deve-se ao fato da radiação solar não apresentar efeito residual e à temperatura da água arrefecer lentamente, permanecendo alta e em seguida passando sempre pela temperatura de incubação utilizada para promover a proliferação de bactérias do grupo coliformes (35°C).

Nas amostras sem o concentrador solar mesmo com a inativação total de 100% de coliformes totais e *E.Coli* com a temperatura aproximada de 50°C houve o recrescimento

dessas bactérias após 24 horas da retirada das garrafas do sol, comprovando novamente a inexistência do efeito residual do SODIS.

Apenas nas amostras em que a desinfecção foi feita utilizando o concentrador de raios solares, proposto pelo IMTA, 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 totais nem *E.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.

O recrescimento bacteriano depende significativamente da temperatura que a água alcançou durante a desinfecção. A Figura 29 mostra o recrescimento bacteriano em função da temperatura da água, onde nota-se que o recrescimento foi inibido totalmente apenas nas amostras cuja temperatura da água no final do período de exposição ao sol esteve em torno de 70°C

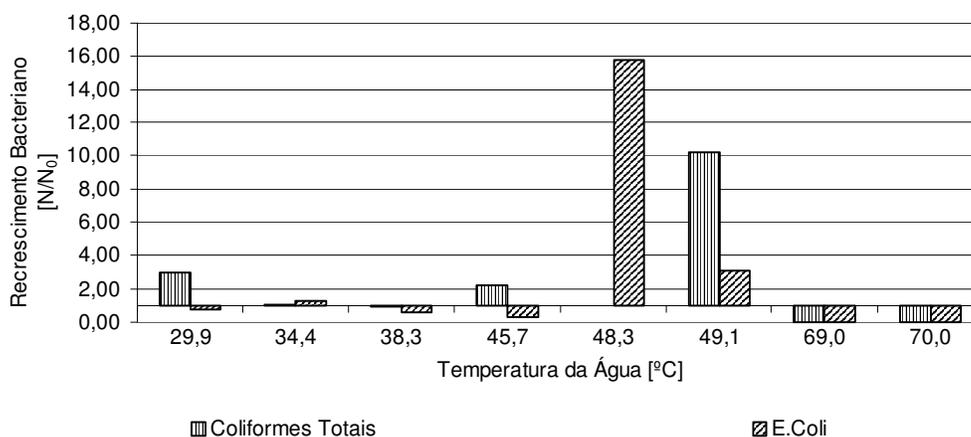


Figura 29 Recrescimento de Bactérias em função da Temperatura da Água (valores médios)

5.5. Análise Estatística dos Dados

Uma vez analisados qualitativamente os dados torna-se necessário a quantificação da influência dos fatores; clima e concentrador solar sobre a resposta dos processos de inativação e recrescimento tanto de coliformes totais como *E.Coli*. Para tal análise utilizou-se o programa interativo STATISTICA.

A análise estatística empregada foi a estimativa da influência dos fatores sobre as respostas analisadas, de modo que temos a média global dos ensaios (efeito principal) e o efeito de cada fator, que representa a alteração na média que seria obtida com a variação dos fatores entre os níveis +1 e -1. Analogamente, o efeito conjunto de mais de um fator representa o efeito sinérgico destes.

O tempo de exposição ao sol não foi considerado como um fator, pois a intensidade de radiação solar não é constante ao longo do dia, então avaliaram-se os dados separadamente, comparando-se as médias.

Os fatores foram estudados nos seguintes níveis mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 Níveis dos fatores estudados nesta pesquisa

Fator	Valor ou Condição	Nível
Concentrador Solar	Com	+1
	Sem	-1
Condição Climática	Com nuvens	+1
	Sem nuvens	-1

5.5.1. Influência do Concentrador Solar e Presença de Nuvens no SODIS

O resultados dos ensaios foram estudados para as seguintes respostas:

- inativação de coliformes totais
- inativação de *E.Coli*,
- recrescimento de coliformes totais, e;

- recrescimento de *E.Coli*.

As respostas dos fatores referentes à 1 hora de exposição ao sol estão mostradas na tabela 12. Estes são os valores médios das 3 repetições de cada ensaio.

Tabela 12 Planilha de planejamento de estatístico (1 hora de exposição ao sol)

Ensaio	Condição Climática	Conc. Solar	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
			Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
1	+ 1	+1	60	80	1,3	6,0
2	+ 1	-1	40	20	1,11111	1,25
3	-1	+1	-	77,7778	1	0,905
4	-1	-1	97,8458	44,4444	1,69052	0,2
5	+ 1	+1	97,1366	32,4444	0,66161	0,13158
6	+ 1	-1	96,5652	45,7778	0,21826	0,32787
7	-1	+1	67,7458	59,0164	2,32342	0,2
8	-1	-1	67,6259	79,3443	1,97593	0,48016
9	+ 1	+1	70,847	88,6262	0,07685	0,03484
10	+ 1	-1	95,8524	97,8731	0,6	0,4
11	-1	+1	6,76471	20	0,90221	0,5
12	-1	-1	2,64706	20	12,4169	1,25

A modelagem fornece os efeitos das variações dos fatores, mostrados na tabela 13, para o tempo de exposição de 1 hora.

Tabela 13 Efeitos dos Fatores sobre as Respostas Avaliadas no Processo de Desinfecção Solar

(1 hora de exposição ao sol)

Efeitos dos Fatores	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
	Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
Principal	61,6905	55,442	2,022	0,971
Condição Climática	30,086	10,689	-2,725	0,764
Concentrador. Solar	-10,131	8,404	-1,951	0,684
C. Solar e C. Climática	8,6532	4,069	2,002	0,756

Aplicando o Teste F para verificar quais efeitos são significativamente diferentes de zero, temos o valor tabelado de $F_{1,11} = 4,84$ (para $\alpha = 0,05$) e os valores calculados para cada coeficiente mostrados na tabela 14.

Tabela 14 Valores do Teste F para os Efeitos Calculados (1 hora de exposição ao sol)

Teste F	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
	Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
Condição Climática	1,7921	0,322	2,309	0,566
Concentrador. Solar	0,2032	0,199	1,189	0,408
C. Solar e C. Climática	0,148	0,047	1,246	0,555

As respostas dos fatores referentes a 2 horas de exposição ao sol estão mostrados na tabela 15, estes são os valores médios das 3 repetições de cada ensaio.

Tabela 15 Planilha de planejamento de estatístico (2 horas de exposição ao sol)

Ensaio	Condição Climática	Conc. Solar	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
			Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
1	+ 1	+1	50,6667	60	0,9	0,3
2	+ 1	-1	64,2667	-51	0,97015	0,46358
3	-1	+1	99,7575	97,7778	0,2921	1
4	-1	-1	90	100	0,2625	
5	+ 1	+1	99,305	76,7556	0,25335	0,02983
6	+ 1	-1	96,5652	45,7778	0,21826	0,32787
7	-1	+1	93,2254	97,541	0,73628	0,33333
8	-1	-1	67,6259	79,3443	1,97593	0,48016
9	+ 1	+1	99,5044	99,3091	3,58986	0,03403
10	+ 1	-1	95,0437	98,4148	0,1	0,4
11	-1	+1	98,0588	88	7,40909	0,19833
12	-1	-1	74,5882	71,4	2,15278	1,23077

Os efeitos das variações dos fatores são mostrados na tabela 16, para 2 horas de exposição ao sol.

Tabela 16 Efeitos dos Fatores sobre as Respostas Avaliadas no Processo de Desinfecção Solar

(2 horas de exposição ao sol)

Efeitos dos Fatores	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
	Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
Principal	85,7173	71,9434	1,5733	0,468
Condição Climática	-2,984	-34,1343	-1,1296	-0,429
Concentrador. Solar	8,7380	29,2411	1,241	0,321
C. Solar e C. Climática	-10,8712	18,3829	0,107	0,023

Aplicando o Teste F, temos valores mostrados na tabela 17.

Tabela 17 Valores do Teste F para os Efeitos Calculados (2 horas de exposição ao sol)

Teste F	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
	Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
Condição Climática	0,084	2,190	0,752	4,977
Concentrador. Solar	0,723	1,607	0,909	2,790
C. Solar e C. Climática	1,119	0,635	0,006	0,014

A variação dos efeitos com o uso do concentrador solar e a presença ou não de nuvens não foram significativamente diferentes de zero durante a primeira e segunda horas de exposição das garrafas ao sol, em nenhuma das respostas estudadas, exceto no

recrescimento de *E.Coli* onde a presença de nuvens apresenta $|F_{\text{calculado}}| > F_{\text{tabelado}}$. Nesta condição, o coeficiente referente ao efeito foi igual a $-0,429$ (Tabela 16), indicando uma significância estatística negativa, representando que nos dias em que existem nuvens (situação típica de verão) o recrescimento de *E.Coli* é reduzido em comparação ao dias sem nuvens (situação típica de inverno).

As respostas dos fatores referentes a 4 horas de exposição ao sol estão mostradas na Tabela 18. Estes são os valores médios das 3 repetições de cada ensaio.

Tabela 18 Planilha de planejamento de estatístico (4 horas de exposição ao sol)

Ensaio	Condição Climática	Conc. Solar	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
			Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
1	+ 1	+1	99,3333	100	0,0	0,0
2	+ 1	-1	80,0667	80	0,47659	0,2
3	-1	+1	99,9869	100	0	0
4	-1	-1	99,9192	96,4778	22,6804	17,7918
5	+ 1	+1	100	100	0	0
6	+ 1	-1	99,9616	98,1867	4,59547	33,6029
7	-1	+1	100	100	0	0
8	-1	-1	99,4856	99,3443	55,9441	5
9	+ 1	+1	100	100	0	0
10	+ 1	-1	99,9635	99,9384	5,8	38,2
11	-1	+1	100	100	0	0
12	-1	-1	99,9412	100		0

Os efeitos das variações dos fatores são mostrados na tabela 19

Tabela 19 Efeitos dos Fatores sobre as Respostas Avaliadas no Processo de Desinfecção Solar

(4 horas de exposição ao sol)

Efeitos dos Fatores	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
	Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
Principal	98,221	97,828	10,445	7,897
Condição Climática	-3,334	-2,949	-18,421	8,1979
Concentrador. Solar	3,330	4,342	-20,89	-15,795
C. Solar e C. Climática	3,116	2,949	18,421	-8,1979

Aplicando o Teste F, temos valores mostrados na tabela 20.

Tabela 20 Valores do Teste F para os Efeitos Calculados (4 horas de exposição ao sol)

Teste F	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
	Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
Condição Climática	1,009	0,832	10,259	1,568
Concentrador. Solar	1,007	1,804	13,195	5,824
C. Solar e C. Climática	0,882	0,832	10,25	1,568

Nos ensaios, com tempo de exposição de 4 horas, a inativação de coliformes totais e *E.Coli* não apresentaram diferenças significativas com o uso do concentrador solar quando comparada aos ensaios em que este dispositivo não foi usado, bem como em relação as alterações das condições climáticas.

No caso do recrescimento de bactérias do grupo coliformes totais o uso do concentrador solar, a presença de nuvens e o efeito combinado desses fatores reduziram significativamente o recrescimento de bactérias coliformes totais.

O recrescimento de *E.Coli* foi reduzido estatisticamente apenas pelo uso concentrador solar.

As respostas dos fatores referentes a 6 horas de exposição ao sol estão mostradas na tabela 21. Estes são os valores médios das 3 repetições de cada ensaio.

Tabela 21 Planilha de planejamento de estatístico (6 horas de exposição ao sol)

Ensaio	Condição Climática	Conc. Solar	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
			Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
1	+ 1	+1	99,8667	100	0,0	0,0
2	+ 1	-1	97,64	98	5,16949	1,5
3	-1	+1	100	100	0	0
4	-1	-1	100	100		0
5	+ 1	+1	100	100	0	0
6	+ 1	-1	99,8924	93,04	20,9059	8,14176
7	-1	+1	100	100	0	0
8	-1	-1	99,952	100	10,65	
9	+ 1	+1	100	100	0	0
10	+ 1	-1	99,8562	99,7054	14,2	5,9
11	-1	+1	100	100	0	0
12	-1	-1	100	100		0

Os efeitos das variações dos fatores são mostrados na tabela 22

Tabela 22 Efeitos dos Fatores sobre as Respostas Avaliadas no Processo de Desinfecção Solar

(6 horas de exposição ao sol)

Efeitos dos Fatores	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
	Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
Principal	99,767	99,228	5,1144	1,296
Condição Climática	-0,449	-1,542	-0,421	2,592
Concentrador. Solar	0,421	1,542	-10,22	-2,592
C. Solar e C. Climática	0,405	1,542	0,421	-2,592

Aplicando o Teste F, temos valores mostrados na tabela 23.

Tabela 23 Valores do Teste F para os Efeitos Calculados (6 horas de exposição ao sol)

Teste F	Inativação (%)		Recrescimento (N/N ₀)	
	Col. Totais	E.Coli	Col. Totais	E.Coli
Condição Climática	1,450	2,3811	0,007	5,489
Concentrador. Solar	1272	2,3811	4,298	5,489
C. Solar e C. Climática	1,77	2,3811	0,007	5,489

No caso da influencia dos fatores estudados, quando o as garrafas foram expostas ao sol por 6 horas, a influência não foi significativa; tal fato pode ser associado à inativação total de bactérias e a ausência de recrescimento bacteriano em quase todas as amostras.

5.5.2. Influência do Tempo de Exposição no SODIS

Os efeitos médios globais da inativação e recrescimento bacterianos fornecidos pela análise estatística em função do tempo de exposição podem ser observados nas tabelas 13, 16, 19 e 23 e foram representados em forma gráfica nas figuras 30 e 31.

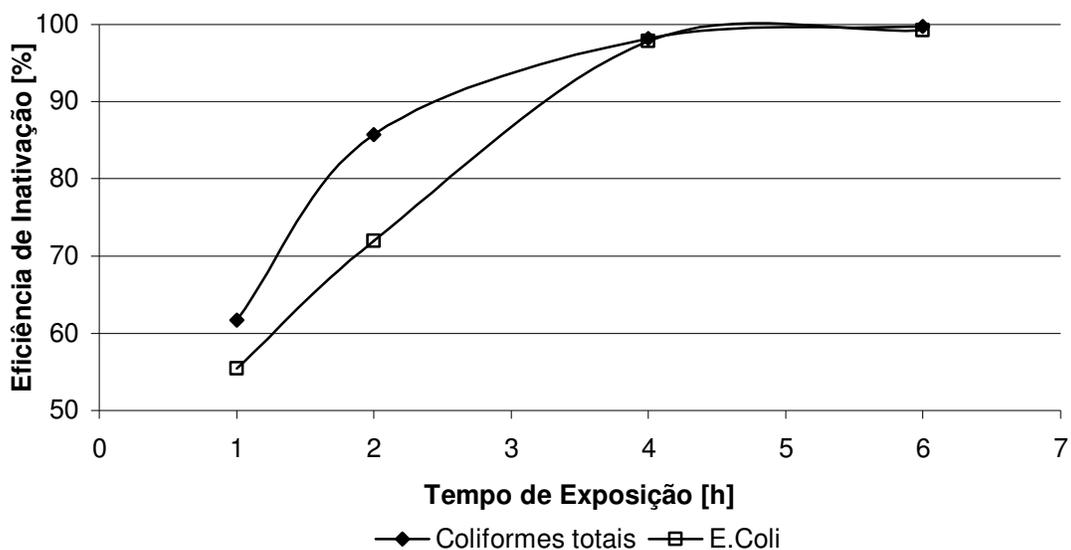


Figura 30 Inativação Média de Bactérias obtida através de tratamento estatístico

A figura 30 mostra que a eficiência média de inativação tende a aumentar com o aumento do tempo de exposição ao sol, tendo um aumento acentuado alterando entre 2 para 4 horas, aproximando-se de 100% quando este é de 6 horas de exposição.

O recrescimento bacteriano médio, tem um acréscimo a partir de 4 horas, devido à redução acentuada do número de bactérias que não foram inativadas (N_0), fazendo com que a razão N/N_0 tenha um aumento que não corresponde ao efeito físico real; uma vez que os dados do apêndice 9.1 - Planilhas de Campo mostram que o número absoluto de bactérias que apresentaram atividades após o período de 24 horas e tende a diminuir com o tempo de exposição.

Um exame dos valores absolutos do número de bactérias após o período de recrescimento podem comprovar a conclusão acima

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho nos permitiu concluir que:

1. O uso do concentrador solar proposto pelo IMTA permite reduzir o tempo de exposição ao sol de 6 horas para 4 horas, sem prejuízo da eficiência do SODIS;
2. A presença de nuvens reduz a incidência de radiação solar, bem como a eficiência do SODIS, mesmo com a temperatura da água mais elevada durante a desinfecção.
3. A redução da eficiência do SODIS na presença de nuvens foi mais acentuada na inativação de *E.Coli* que na concentração de Coliformes Totais;
4. Nos tempos de exposição de 1 e 2 horas a utilização do concentrador solar e a presença de nuvens não apresentaram diferenças significativas e a eficiência do SODIS é baixa.
5. O uso do concentrador solar aqueceu a água até 70°C promovendo uma pasteurização solar (SOPAS) que inativou 100% das bactérias;
6. O uso do concentrador solar evitou o crescimento de bactérias após 24 horas do término do processo para amostras cuja água foi aquecida até 70°C por pelo menos 4 horas.
7. Nas condições em que a temperatura é da ordem de 70°C o padrão de potabilidade da Portaria MS1469/00 é atingido, nos parâmetros avaliados nesta pesquisa
8. No tempo de exposição de 4 horas a concentração solar apresentou influencia significativa no recrescimento de coliformes totais e *E.Coli* e a presença de nuvens foi significativa para o recrescimento de coliformes totais.
9. No tempo de exposição de 6 horas tanto a inativação como o recrescimento atinge valores próximos aos máximos de tal modo que as diferenças entre os fatores estudados não apresentam resultados significativos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

A pesquisa realizada mostrou-se muito atrativa pelo fato de possibilitar o estudo científico de uma tecnologia que possui como premissa inicial o baixo custo e a simplicidade de operação.

Tais tecnologias muitas vezes são utilizadas sem conhecimento sólido da confiabilidade do processo, o que não é adequado quando se trata de tratamento de água; apesar dos efeitos citados na literatura sobre a redução de ocorrências médicas relativas ao SODIS serem relevantes para a credibilidade deste.

Sugere-se que a pesquisa tenha continuidade avaliando outros microorganismos, como *Cryptosporidium parvum*, por exemplo, e também estudando a utilização do SODIS em fluxo contínuo, combinado a outros métodos de desinfecção.

8. Referências Bibliográficas

APHA, AWWA, WEF; **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**; 20th ed.; Washington D. C., 1998, 11p.

ARAFI, S., **Utilization of Solar Energy and Development of a Egyptian Village**, Cairo, American University of Cairo, 49p., 1985.

AWWA, American Water Works Association; **Água Tratamento e Qualidade**, tradução Allyrio Macedo Filho e Zadir Castello Branco, Missão Norte Americana de Cooperação Econômica e Técnica, Editora Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro, 465p., 1964.

BRANDÃO, C.C.S., PROSAB 2, tema 1, Rio de Janeiro. MCT/FINEP/CNPQ/CEF (**relatório final de pesquisa**), 2000.

BRANDÃO, C.C.S., MONTEIRO, P.C.G., FONSECA, B.M., ARANTES, C., Avaliação da Desinfecção Solar na Região Centro-Oeste do Brasil Usando Diferentes Organismos Indicadores de Contaminação, **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Estabelece os Procedimentos e Responsabilidades Relativas ao Controle e Vigilância da Qualidade de Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade, e dá outras Providências. **Portaria n. 1469**, de 29 de dezembro de 2000. disponível no site: www.sabesp.com.br em 10 de abril de 2003.

CIAGRO - Centro de Ecofisiologia e Biofísica, **Instituto Agrônomo de Campinas**, disponível em <http://www.CIAGRO.br/~ceb> , para consulta via e-mail, acesso em: 1/10/2001.

- DANIEL, L.A., BRANDÃO, C.C.S., GUIMARÃES, J.R., LIBÂNIO, M., LUCA, S.J.,
Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável ABES/ PROSAB 2. Rio de Janeiro. 139p., 2001
- DI BERNARDO, L., BRANDÃO, C.C.S., HELLER, L.**Tratamento de águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas.** ABES/ PROSAB. Rio de Janeiro. 114p., 1999.
- EAWAG / SANDEC – Swiss Federal Institute for Environmental Science & Technology ,
SODIS NEWS, Suíça, n. 4, 18p., 4 / Maio / 1999
- ELETROBRAS; **Energia Solar: Princípios e Aplicações**, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB; <http://www.cresesb.cepel.br>, março de 2004, 28p.
- FECHINE GJM, RABELLO MS, SOUTO-MAIOR RM, The effect of ultraviolet stabilizers on the photodegradation of poly(ethylene terephthalate); **Polymer Degradation And Stability**, n. 75 v.1, p.153 - 159, 2002
- ERENCE JR., LEMOM, H.B., STEPHENSON, R.J.; **Curso de Física: Ondas (som e luz)**, São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda, 224p., 1968
- GIJSMAN P, MEIJERS G, VITARELLI G, Comparison of the UV-degradation chemistry of polypropylene, polyethylene, polyamide 6 and polybutylene terephthalate; **Polymer Degradation And Stability**, n. 65 v.3, p.433 - 441, 1999
- GOPAL,B Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems **Water Science And Technology**, n. 44 v.40, p.9, 1999
- GRIFFIN, P. e UPTON, J. Constructed wetlands: A strategy for sustainable wastewater treatment at small treatment works. **J. Chart. Inst. Water** v.13, n. 6, p. 441-446. 1999.

- HERRERA, A. G., **Desinfección Solar Del Agua**, IMTA – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Mexico, 2003
- KEHOE SC, JOYCE TM, IBRAHIM P, GILLESPIE JB, SHAHAR RA AND MCGUIGAN KG. Effect of Agitation, Turbidity, Aluminium Foil Reflectors and Volume on Inactivation Efficiency of Batch-Process Solar Disinfectors. **Water Research**, vol 35, n.4, p. 1061-1065, 2001
- KOHLER, M., WOLFENSBERGER, M.; **Migration of Organic Components from Polyethylene Terephthalate (PET) bottles to Waterlimatic**, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research.; <http://www.sodis.ch>, março de 2004, 13p.
- KUUSEMETS, V, MANDER, U Ecotechnological measures to control nutrient losses from catchments **Water Science And Technology** n. 23 p. 8 v. 40 IS 10, 1999.
- LONDE, L. R. **Eficiência da Filtração Lenta no Tratamento de Efluentes de Leitões Cultivados**. Dissertação de Mestrado, FEAGRI-UNICAMP, Campinas, Abril/2002.
- LUTTENBARCK, B.B., COSTA T.C.R.; **Água, Saúde e Desinfecção**, Série Manuais, n.13, CETESB, São Paulo, 59p., 1994.
- NEWMAN, JM CLAUSEN, JC NEAFSEY, JA **Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater** in Connecticut Ecological Engineering, n74, p. 18 nv14. 2000
- OATES, P. M., SHANAHAN, P., POLZ, M.F., Solar Disinfection (SODIS): Simulation of Solar Radiation for Global Assessment and Application for Point-of-use Water Treatment in Haiti. **Water Research**, vol 37, p. 47-54, 2003

SAITOH, T. S., EL-GHETANY, H. H., Pilot Solar Water Disinfection System: Performance Analysis and Testing. **Solar Energy**, vol 72, n° 3, p. 261-269, 2002

SODIS; **Climatic Conditions: Seasonal Effects and Weather Changes**, Technical Note #6, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **Climatic Conditions: Solar Radiation**, Technical Note #5, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **Materials: Ageing Effects on PET Bottles**, Technical Note #3, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **Materials: Bottles vs. Bags**, Technical Note #4, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **Materials: Plastic versus Glass Bottles**, Technical Note #2, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS Efficiency: Covered Sky Conditions**, Technical Note #11, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS Efficiency: Influence of Turbidity**, Technical Note #10, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS Efficiency: Laboratory versus Field Conditions**, Technical Note #12, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS Efficiency: The Process**, Technical Note #9, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS in Brief**, Technical Note #1, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS Use: Acceptance**, Technical Note #15, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS Use: Application Procedure**, Technical Note #13, <http://www.sodis.ch>,
março de 2003

_____; **SODIS Use: Costs**, Technical Note #16, <http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS Use: SODIS Bags and Temperature Sensors**, Technical Note #17,
<http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **SODIS Use: Guideliness to Increase Efficiency**, Technical Note #14,
<http://www.sodis.ch>, março de 2003

_____; **Water Quality: Oxygen Concentration**, Technical Note #8, <http://www.sodis.ch>,
março de 2003

_____; **Water Quality: Turbidity and Water Depth**, Technical Note #7,
<http://www.sodis.ch>, março de 2003

SOMMER, B., MARIÑO, A., SOLARTE, Y., SALAS, M. L., DIEROLF, C., VALIENTE,
C., MORA, D., RECHSTEINER, R., SETTER, P., WIROJANAGUD, W., ALARMED,
H., AL-HASSAN, A., WEGELIN, M.; SODIS - an emerging water treatment process,
Journal of Water Suply: Research and Technology - Aqua, v. 46, n3, p. 127 – 137,
1997

STAINER, R. Y., DOUDOROFF, M., ADELBERG, E, A.; **The Microbial World**, New
Jersey, Prentice Hall, 1963.

TOMINAGA, M. Y. & MIDIO, A. F.; Exposição Humana a Trihalometanos Presentes em
Água Tratada; **Revista de Saúde Pública – FSP/USP**; São Paulo; vol.33; nº 4; p. 413-
421; Agosto de 1999.

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**, 30 oct 2000

WEGELIN,M., CANONICA,S., MECHSNER,K., FLEISHMANN,T., PESARO,F., METZLER,A., Solar Water Disinfection: Scope on Process and Analysis of Radiation Experiments, **Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua**, v. 43, n3, p. 154 – 169, 1994

ZAPP,J., SANTACRUZ,J., MONCAYO,J.I., MONTES,M.L.,HERNANDEZ,N., **Solar Water Purification in Coffe Growers Climate**, Tokio, United Nations University, 1987.

9. APÊNDICES

9.1. Planilhas de Campo

DATA: 25 / 9 / 2003

Início: 9:00

	Cor [Pt-Co]	Turbidez [NTU]	Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Afluente	140	3,47	22,7	$2,4 \times 10^5$	9×10^2

COM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	31,4	$2,4 \times 10^5$	$2,0 \times 10^2$
	2 horas	45,9	$5,8 \times 10^2$	$2,0 \times 10^1$
	4 horas	68,7	$3,2 \times 10^1$	0
	6 horas	72,9	0	0
Após 24 horas	1 hora		$2,4 \times 10^5$	$1,8 \times 10^2$
	2 horas		$1,7 \times 10^2$	$2,0 \times 10^1$
	4 horas		0	0
	6 horas		0	0

SEM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	29,4	$5,2 \times 10^3$	$5,2 \times 10^2$
	2 horas	36,6	$2,4 \times 10^4$	0
	4 horas	47,7	$1,9 \times 10^2$	$3,2 \times 10^1$
	6 horas	51,3	0	0
Após 24 horas	1 hora		$8,7 \times 10^3$	$1,0 \times 10^2$
	2 horas		$6,3 \times 10^3$	$4,0 \times 10^2$
	4 horas		$4,4 \times 10^3$	$5,6 \times 10^2$
	6 horas		$1,0 \times 10^3$	0

DATA: 29 / 9 / 2003

Início: 9:00

	Cor [Pt-Co]	Turbidez [NTU]	Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Afluente	226	13,9	20,3	$1,5 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$

COM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	31,2	$6,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^2$
	2 horas	42,7	$7,4 \times 10^3$	$4,0 \times 10^2$
	4 horas	53,0	$1,0 \times 10^2$	0
	6 horas	51,5	$2,0 \times 10^1$	0
Após 24 horas	1 hora		$7,9 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$
	2 horas		$6,5 \times 10^3$	$1,0 \times 10^2$
	4 horas		0	0
	6 horas		0	0

SEM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	28,9	$9,0 \times 10^3$	$8,0 \times 10^2$
	2 horas	36,9	$5,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$
	4 horas	44,4	$3,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^2$
	6 horas	43,3	$3,5 \times 10^2$	$2,0 \times 10^1$
Após 24 horas	1 hora		$1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$
	2 horas		$5,2 \times 10^3$	$7,0 \times 10^2$
	4 horas		$1,4 \times 10^3$	$4,0 \times 10^1$
	6 horas		$1,8 \times 10^3$	$3,0 \times 10^1$

DATA: 30 / 9 / 2003

Inicio: 9:00

	Cor [Pt-Co]	Turbidez [NTU]	Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Afluente	127	5,89	21,5	$8,3 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$

COM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	42,5	$2,7 \times 10^3$	$5,0 \times 10^2$
	2 horas	50,7	$5,7 \times 10^2$	$3,0 \times 10^1$
	4 horas	74,9	0	0
	6 horas	75,3	0	0
Após 24 horas	1 hora		$6,3 \times 10^3$	$1,0 \times 10^2$
	2 horas		$4,2 \times 10^2$	$1,0 \times 10^1$
	4 horas		0	0
	6 horas		0	0

SEM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	31,8	$5,6 \times 10^3$	$4,0 \times 10^2$
	2 horas	40,4	$2,7 \times 10^3$	$2,5 \times 10^2$
	4 horas	48,2	$4,3 \times 10^1$	8
	6 horas	48,3	4	4
Após 24 horas	1 hora		$4,9 \times 10^3$	$3,0 \times 10^2$
	2 horas		$5,3 \times 10^3$	$1,2 \times 10^2$
	4 horas		$2,4 \times 10^3$	$4,0 \times 10^1$
	6 horas		$4,3 \times 10^1$	0

DATA: 1 / 10 / 2003

Inicio: 9:00

	Cor [Pt-Co]	Turbidez [NTU]	Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Afluente	89	2,46	22,7	6,8E+03	5,0E+02

COM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	39,2	$6,3 \times 10^3$	$4,0 \times 10^2$
	2 horas	50,5	$1,3 \times 10^2$	$6,0 \times 10^1$
	4 horas	76,6	0	0
	6 horas	79,4	0	0
Após 24 horas	1 hora		$5,7 \times 10^3$	$2,0 \times 10^2$
	2 horas		$9,8 \times 10^2$	$1,2 \times 10^1$
	4 horas		0	0
	6 horas		0	0

SEM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	32,5	$6,6 \times 10^3$	$4,0 \times 10^2$
	2 horas	40,8	$1,7 \times 10^3$	$1,4 \times 10^2$
	4 horas	51,1	4	0
	6 horas	56,2	0	0
Após 24 horas	1 hora		$8,2 \times 10^4$	$5,0 \times 10^2$
	2 horas		$3,7 \times 10^3$	$1,8 \times 10^2$
	4 horas		$2,4 \times 10^3$	0
	6 horas		2	0

DATA: 15 / 11 / 2003

Inicio: 9:00

	Cor [Pt-Co]	Turbidez [NTU]	Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Afluente	82	3,18	22,1	1,8E+05	7,6E+04

COM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	31,4	5,3E+04	8,6E+03
	2 horas	42,6	9,1E+02	5,2E+02
	4 horas	70,4	0,0E+00	0,0E+00
	6 horas	70,7	0,0E+00	0,0E+00
Após 24 horas	1 hora		4,1E+03	3,0E+02
	2 horas		3,3E+03	1,8E+01
	4 horas		0,0E+00	0,0E+00
	6 horas		0,0E+00	0,0E+00

SEM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	28,8	7,6E+03	1,6E+03
	2 horas	38,1	9,1E+03	1,2E+03
	4 horas	49,6	6,7E+01	4,7E+01
	6 horas	47,6	2,6E+02	2,2E+02
Após 24 horas	1 hora		4,4E+03	6,0E+02
	2 horas		1,2E+03	5,0E+02
	4 horas		3,9E+02	1,8E+03
	6 horas		3,7E+03	1,3E+03

DATA: 16 / 11 / 2003

Inicio: 9:00

	Cor [Pt-Co]	Turbidez [NTU]	Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Afluente	90	4,2	21,8	1,6E+05	2,3E+03

COM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	30,8	4,6E+03	1,5E+03
	2 horas	41,5	1,1E+03	5,2E+02
	4 horas	70,2	0,0E+00	0,0E+00
	6 horas	70,4	0,0E+00	0,0E+00
Após 24 horas	1 hora		3,1E+03	2,0E+02
	2 horas		2,8E+02	1,6E+01
	4 horas		0,0E+00	0,0E+00
	6 horas		0,0E+00	0,0E+00

SEM Concentrador Solar

		Temperatura [°C]	Coliformes Totais [NMP/100ml]	<i>E.Coli</i> [NMP/100ml]
Efluente	1 hora	27,9	4,2E+03	7,0E+02
	2 horas	37,5	5,5E+03	1,2E+03
	4 horas	48,5	6,2E+01	4,1E+01
	6 horas	47,9	1,7E+02	1,6E+02
Após 24 horas	1 hora		4,4E+03	5,0E+02
	2 horas		1,2E+03	4,0E+02
	4 horas		2,8E+02	1,4E+03
	6 horas		3,6E+03	1,3E+03