

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E AMBIENTE

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE FLUXO CONTÍNUO DE
DESINFECÇÃO DE ÁGUA POR RADIAÇÃO SOLAR, CLORAÇÃO E
RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA**

DENISE DEDINI

Prof. Dr. JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI

orientador

CAMPINAS

2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E AMBIENTE

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE FLUXO CONTÍNUO DE
DESINFECÇÃO DE ÁGUA POR RADIAÇÃO SOLAR, CLORAÇÃO E
RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente.

DENISE DEDINI

Prof. Dr. JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI

orientador

CAMPINAS

2006

UNIDADE BC
 Nº CHAMADA:
TI UNICAMP
D36a
 V. _____ Ed. _____
 TOMBO BC/ 73147
 PROC. 16.145-07
 C ☐ D ☒
 PREÇO 11,00
 DATA 04/07/07
 BIB-ID 415042

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

D36a Dedini, Denise
 Avaliação de um sistema de fluxo contínuo de
 desinfecção de água por radiação solar, cloração e
 radiação ultravioleta / Denise Dedini.--Campinas, SP:
 [s.n.], 2006.

Orientador: José Euclides Stipp Paterniani.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
 Urbanismo.

1. Energia solar. 2. Radiação ultravioleta. 3.
 Cloração. 4. Água - Reutilização. 5. Automação. I.
 Paterniani, José Euclides Stipp. II. Universidade
 Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,
 Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Evaluation of a continuous flow disinfection system with water solar
 disinfection, chlorine and ultraviolet radiation.

Palavras-chave em Inglês: Ultraviolet radiation. SODIS. Disinfection with chlorine.
 Water reuse. Automation.

Área de concentração: Saneamento e Ambiente.

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Denis Miguel Roston, Ricardo de Lima Isaac.

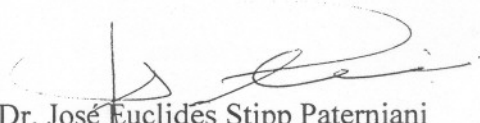
Data da defesa: 30/08/2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E AMBIENTE

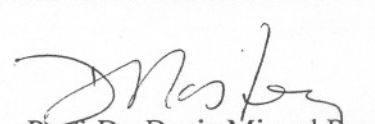
**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE FLUXO CONTÍNUO DE DESINFECÇÃO DE ÁGUA
POR RADIAÇÃO SOLAR, CLORAÇÃO E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA**

Denise Dedini

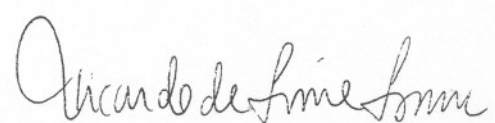
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani
Presidente e Orientador/UNICAMP



Prof. Dr. Denis Miguel Roston
FEAGRI/UNICAMP



Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
FEC/UNICAMP

Campinas, 30 de agosto de 2006

200728543

Dedico este trabalho ao meu
querido pai, à quem devo lições
de amor e coragem.

Dedico este trabalho ao meu
querido pai, à quem devo
lições de amor e coragem.

“Um ser humano é parte de um todo...ele percebe a si mesmo, seus pensamentos e sentimentos, como algo separado do resto...um tipo de ilusão de ótica da sua consciência. Esta ilusão é uma espécie de prisão para nós, restringindo nossos desejos pessoais e a nossa afeição a umas poucas pessoas próximas a nós. Nossa tarefa deve ser libertarmos desta prisão, expandindo nossa compaixão para abranger todas as criaturas vivas e toda a natureza em seu esplendor. Ninguém é capaz de conseguir isso, completamente, mas apenas o empenho por tal conquista é, em si próprio, uma parte da libertação e uma base sólida para a nossa segurança interior.”

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

A meus pais, que da vida dedicaram os melhores momentos ensinando-me a viver com alegria, dignidade e respeito.

Aos meus maravilhosos filhos pelo sentido de viver.

Ao meu marido por todo amor, dedicação, paciência e companheirismo.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani, pelos ensinamentos, compreensão, atenção e amizade.

Aos meus tios Franco Giuseppe Dedini e Kátia Luchesi Cavalca Dedini pelo incentivo.

Ao técnico Marcilio Haddad Andrino pela grande orientação sobre o software utilizado.

A Camila e Rodrigo pelo auxílio na coleta de dados.

A todas as pessoas e amigos aqui não citados que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura – CEPAGRI/UNICAMP pelos dados meteorológicos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ pelo apoio financeiro.

RESUMO

O presente trabalho consiste no estudo da eficiência de um sistema alternativo de desinfecção, conjugando, em fluxo contínuo, desinfecção solar da água (SODIS), radiação ultravioleta e cloração, aplicado ao efluente de estação de tratamento de esgoto doméstico e visando o reuso não potável da água. O uso de energia solar para desinfecção de água (SODIS) tem sido aplicado, com sucesso, em processo por batelada, em países com alto nível de incidência solar. Em fluxo contínuo sua aplicação apresenta algumas dificuldades decorrentes da dependência de incidência solar, impedindo seu desempenho durante o período noturno ou em dias chuvosos. Para viabilizar a prática desta tecnologia, o presente trabalho propôs a combinação entre um reator SODIS de fluxo contínuo e sistemas de desinfecção convencionais: cloração e radiação ultravioleta, como alternativas para os períodos de ausência de luz e diminuição da temperatura da água. Para operação do reator SODIS em fluxo contínuo, o acionamento e desligamento sincronizados de uma bomba dosadora de cloro e de uma lâmpada ultravioleta ocorrem em função das condições de temperatura da água no reator – mínima de 50°C para garantir a inativação de microorganismos - e disponibilidade de luz solar. Este controle foi realizado por meio de um sistema de aquisição de dados (DAQ) NI USB-6008/6009 da National Instruments, operado pelo aplicativo Lab View 7.1.. Os resultados obtidos demonstraram que o sistema de desinfecção solar da água atinge resultados significativos de inativação de microorganismos, porém, inferiores aos de cloração e radiação ultravioleta. A eficiência média atingida pelo SODIS na inativação foi de 86,60% para Coliformes Totais e 89,55% para *E. Coli*. A eficiência média da cloração na remoção de Coliformes Totais e *E.Coli* foi de 99,41% e 100%, respectivamente. Na inativação por radiação ultravioleta, a eficiência média obtida foi de 91,91% e 98,98%, na remoção de Coliformes totais e *E.Coli*, respectivamente. Na ausência de uma norma para classificação das águas de reuso, os resultados obtidos foram comparados à classificação dada pela Resolução CONAMA 357/05 quanto aos usos preponderantes definidos conforme as classes de corpos d'água. Nesta análise meramente sugestiva, o efluente do sistema de desinfecção solar poderia ser enquadrado somente para usos menos exigentes dentro das classes 3 e 4 de padrões de qualidade da água, como irrigação de espécies arbóreas.

Palavras chave: SODIS, radiação ultravioleta, cloração, reuso de água, automação.

ABSTRACT

This work evaluated the efficiency of an alternative continuous flow disinfection system, using solar water disinfection (SODIS), ultraviolet radiation and disinfection with chlorine, applied to a domestic wastewater treated effluent, aiming at not potable water reuse. The use of solar energy for solar water disinfection (SODIS) has been applied, successfully, in batch process in agricultural and peripheral areas of countries with high level of solar incidence, making possible the disinfection of waters caught in wells or superficial sources as a substitute for conventional processes. In continuous flow, however, its application presents some operational difficulties like dependence of solar incidence, hindering its performance during the nocturnal period or in rainy days. To make possible the practical of this technology, the present work considered the combination enters a reactor SODIS of continuous flow and conventional disinfection systems: with chlorine and ultraviolet radiation, as alternative for the periods of light absence and water temperature reduction. To operate the reactor SODIS in continuous flow, the synchronized drive and disconnection of chlorine equipment and ultraviolet light were function of the conditions of water temperature in the reactor - minimum of 50°C to guarantee microorganisms inactivating - and availability of solar light. This control was operated by data acquisition system (DAQ) from National Instruments (NI USB-6008/6009) with a Lab View 7.1. software. The results had shown that water solar system reaches significant microorganisms removal but less than ultraviolet radiation. The Coliforms reduction reached by SODIS was 86,60% and 89.55% for *E. Coli*. The Coliforms reduction of chlorine was 99,41% and 100% for *E.Coli*. The disinfection with ultraviolet radiation, the reduction was 91,91% and 98,98%, for Coliforms and *E.Coli*, respectively. With no classification norm for water reuse, the results had been compared with the Resolução CONAMA 357/05 classification for preponderant uses, defined by classes of water. In this suggestive analysis, the solar disinfection effluent could be used for less critical uses of classes 3 and 4 of water quality standards, as irrigation of trees species.

Key words: SODIS, ultraviolet radiation, disinfection with chlorine, water reuse, automation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1. Espectro Eletromagnético	24
FIGURA 3.2. Inativação de E.Coli em condições aeróbias e anaeróbias	29
FIGURA 4.1. Fluxograma da instalação piloto	33
FIGURA 4.2. Fluxograma e pontos de amostragem	34
FIGURA 4.3. Esquema do Reator SODIS de fluxo contínuo	35
FIGURA 4.4. Reator SODIS de fluxo contínuo coberto	36
FIGURA 4.5. Vertedor do Reator SODIS	36
FIGURA 4.6. Trocador de Calor	37
FIGURA 4.7. Esquema geral da instalação do sistema de cloração	38
FIGURA 4.8. Esquema geral da instalação do reator de radiação ultravioleta	39
FIGURA 4.9. Instalação do reator de radiação ultravioleta	39
FIGURA 4.10. Estrutura física utilizada para o desenvolvimento do programa	40
FIGURA 5.1. Valores médios de temperatura atmosférica	43
FIGURA 5.2. Valores Médios, Mínimos de Turbidez, Cor Aparente e pH no afluente.	44
FIGURA 5.3.. Valores de Coliformes Totais e <i>E.Col</i> no afluente	44
FIGURA 5.4. Valores Médios de temperatura da água na saída do Filtro Lento, do Trocador de Calor e do reator SODIS	45
FIGURA 5.5. Valores de cor aparente das amostras coletadas na saída do Filtro Lento e saída do reator SODIS	46
FIGURA 5.6. Valores de Turbidez das amostras coletadas na saída do Filtro Lento e saída do reator SODIS	47
FIGURA 5.7. Eficiência na inativação de Coliformes Totais e <i>E.Col</i> no reator SODIS	49
FIGURA 5.8. Valores de Radiação Total incidente e temperatura interna do Reator SODIS	49
FIGURA 5.9. Valores médios de pH da água no Reator SODIS	50
FIGURA 5.10. Painel Frontal	54
FIGURA 5.11. Diagrama de blocos	56

FIGURA 5.12. Painel Frontal – condição temperatura menor que 50°C e com luz	56
FIGURA 5.13. Painel Frontal – condição temperatura menor que 50°C e sem luz	57
FIGURA 5.14. Diagrama de blocos – condição verdadeira / temperatura maior que 50°C	57
FIGURA 5.15. Painel Frontal – condição temperatura maior que 50°C	58
FIGURA 5.16. Caracterização da entrada de dados na placa	58
FIGURA 5.17. Assistente de aquisição de dados	59
FIGURA 5.18. Inserção de dados temporais de aquisição	59
FIGURA 5.19. Saída dos dados e montagem dos gráficos	60
FIGURA 5.20. Endereço do arquivo de registro	61
FIGURA 5.21. Gráfico do acionamento da bomba cloro	62
FIGURA 5.22. Gráfico do acionamento do reator ultravioleta	62
FIGURA 5.23. Gráfico final para um período de 5 horas de aquisição	63
FIGURA 5.24. Gráfico final para um período de 1 hora de aquisição	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1. Características químicas dos esgotos domésticos	06
TABELA 3.2. Distribuição de energia emitida por uma lâmpada bactericida	25
TABELA 3.3. Tempo necessário para inativação de 99,9% de enterovírus em função da temperatura da água no SODIS	29
TABELA 4.1. Estrutura lógica do programa de controle dos equipamentos	40
TABELA 4.2. Ensaios realizados, frequência das análises e respectivos pontos de coleta	41
TABELA 5.1. Dados do Afluente e das Condições Experimentais	43
TABELA 5.2. Valores Médios, Mínimos e Máximos de Cor Aparente no SODIS	46
TABELA 5.3. Valores Médios, Mínimos e Máximos de Turbidez no SODIS	47
TABELA 5.4. Valores Médios, Mínimos e Máximos de Temperatura da água, concentração de Coliformes Totais e <i>E.Coli</i>	48
TABELA 5.5. Valores Médios, Mínimos e Máximos de pH no SODIS	50
TABELA 5.6. Valores Médios, Mínimos e Máximos de concentração de Coliformes Totais e <i>E.Coli</i> , da desinfecção por cloração	51
TABELA 5.7. Valores Médios, Mínimos e Máximos de pH na cloração	51
TABELA 5.8. Valores Médios, Mínimos e Máximos de Turbidez na cloração	52
TABELA 5.9. Valores Médios, Mínimos e Máximos de concentração de Coliformes Totais e <i>E.Coli</i> , na desinfecção por radiação ultravioleta	52
TABELA 5.10. Parâmetros básicos de classificação dos corpos d'água	53
TABELA 5.11. Valores médios obtidos nas unidades de desinfecção	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 Problemas de Saneamento Básico no Brasil	4
3.2 Características do Esgoto Doméstico	5
3.3 Sistema para Tratamento de Esgoto Doméstico	7
3.4 Sistemas Biológicos de Tratamento	8
3.4.1 Reatores Anaeróbios Compartimentados.....	9
3.4.1.1 Leitões Cultivados (“Constructed Wetlands)	10
3.4.2 Tanques com macrófitas.....	11
3.4.3 Tecnologia de Filtração Lenta e Filtração em Múltiplas Etapas.....	12
3.5 Desinfecção de Água	14
3.5.1 Desinfecção por Cloração.....	20
3.5.2 Desinfecção por Radiação Ultravioleta	24
3.5.3 Desinfecção Solar da Água	25
3.5.3.1 Histórico	25
3.5.3.2 Espectro Solar.....	26
3.5.3.3 Processo em Batelada	27
3.5.3.4 Processo em Fluxo Contínuo	30
3.6 Reuso de Água	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1 Local e Caracterização do Experimento	33
4.2 Materiais utilizados	35
4.2.1 Reator SODIS	35
4.2.1.1 Trocador de Calor.....	37
4.2.2 Vazão do Sistema	37
4.2.3 Cloração	38

4.2.4 Radiação Ultravioleta	38
4.2.5 Controle e monitoramento do sistema	39
4.3 Parâmetros de Controle e Amostragem	40
4.4 Metodologia e equipamentos utilizados	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Dados do Afluente e das Condições Experimentais.....	43
5.2 Dados do Efluente do Reator SODIS.....	45
5.2.2 Resultados do Trocador de Calor.....	45
5.2.3 Cor Aparente	45
5.2.4 Turbidez	46
5.2.5 Coliformes Totais, <i>E. Coli</i> e Temperatura	48
5.2.6 pH	49
5.3 Dados do Efluente do Sistema de Cloração	50
5.3.1 Coliformes Totais, <i>E. Coli</i>	50
5.3.2 pH	51
5.3.3 Turbidez.....	51
5.4 Dados do Efluente do Reator Ultravioleta..	52
5.4.1 Coliformes Totais, <i>E. Coli</i>	52
5.5 Enquadramento aos Padrões de Qualidade da Água	53
5.6 Sistema de Controle e Aquisição de Dados	54
5.6.1 Sistema de Controle	54
5.6.2 Sistema de Aquisição de Dados.....	59
5.6.2.1 Programação	59
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	64
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÊNDICE	75

1 INTRODUÇÃO

A importância social do saneamento enquanto condição para garantia da qualidade de vida tem sido cada vez mais referenciada. Sabe-se que a falta de investimentos em saneamento tem relação direta com gastos adicionais nos sistemas médico-hospitalares, devido ao alto índice de doenças veiculadas pelos recursos hídricos contaminados e pela disposição inadequada de resíduos.

Embora a falta de verbas seja frequentemente apontada como justificativa principal para a deficiência de investimentos em sistemas de tratamento, há, no Brasil, condições climáticas e grande oferta de espaço físico, que favorecem muito a utilização de sistemas simples e de baixo custo, que podem atender às aglomerações de pequeno a médio porte.

Por outro lado, existe também a questão da escassez dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos - até pouco tempo a água era considerada um recurso infinito. Interessada em reverter o quadro de descuido com este bem, a política nacional de gerenciamento dos recursos hídricos inclui a regulamentação da cobrança pelo uso da água e pelo lançamento de efluentes como instrumento de gestão e controle.

O aumento do número de habitantes, bem como o desenvolvimento dos setores industrial e rural sem planejamento em relação à utilização dos recursos hídricos disponíveis, aumentam as possibilidades de contaminação, em especial das águas subterrâneas. Estas águas são posteriormente coletadas em poços pela população da zona rural e urbana para uso doméstico sem tratamento prévio, na grande maioria dos casos.

Neste contexto, pesquisas e estudos que possibilitem melhor aproveitamento, reutilização e devolução deste recurso em condições próximas às iniciais, são essenciais para a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

A energia solar para desinfecção de águas (SODIS) vem sendo aplicada nas áreas rurais de países em desenvolvimento, possibilitando a desinfecção de águas captadas em poços ou mananciais superficiais cujas características físicas e químicas são adequadas ao consumo humano, mas as biológicas não.

Dentre as limitações dessa tecnologia está o volume de água a ser tratado, que não deve ser grande, uma vez que o tratamento geralmente se faz de forma estática (por batelada) em garrafas de Poli Tereftalato de Etileno - PET.

A idéia de realizar a desinfecção com o sistema SODIS em fluxo contínuo tem sido objeto de estudo de algumas pesquisas, inclusive no Brasil. Contudo, persiste o problema da ineficiência do método na ausência de luz e em condições de baixas temperaturas.

Paradoxalmente, nesta pesquisa, aliaram-se tecnologias como a desinfecção solar de água, relativamente simples, com outras mais elaboradas como a automatização do sistema, que poderia inclusive se estender para o controle do sistema de tratamento como um todo.

A ampliação dos conhecimentos a respeito desta tecnologia se justifica pelas vantagens que podem ser obtidas através do seu uso, isto porque envolve um processo natural de inativação dos organismos patogênicos e não gera subprodutos ou resíduos ofensivos à saúde humana.

O presente trabalho foi construído sob esta perspectiva, com o objetivo de estudar a combinação entre um sistema de desinfecção solar e tecnologias de desinfecção tradicionais no tratamento de efluentes domésticos com a finalidade de avaliar a viabilidade de reúso não potável da água, utilizando baixos investimentos e tecnologia acessível.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

A presente pesquisa teve como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema compacto de desinfecção de água, combinando a tecnologia SODIS em fluxo contínuo com métodos convencionais como cloração e radiação ultravioleta, os quais operaram em condições adversas ao funcionamento eficiente do reator SODIS - condições de temperatura da água insuficientes para inativação de bactérias do tipo Coliformes totais e *E. Coli* e ausência de luz solar.

Consiste numa proposta de sistema de desinfecção de baixo custo, que pode ser operado de forma contínua, garantindo a produção de água de boa qualidade bacteriológica para reuso não potável, possibilitando sua aplicação na sequência de um processo de tratamento de efluentes domésticos.

2.2 Objetivos específicos

- ❑ Avaliar a eficiência do sistema conjugado de desinfecção na inativação de bactérias do tipo Coliformes totais e *E. Coli*.
- ❑ Estudar a viabilidade do uso de um microcontrolador eletrônico, para o controle operacional do sistema combinando os parâmetros: temperatura da água e luz solar.
- ❑ Verificar a capacidade desta tecnologia na adequação da água para reúso, conforme os padrões de qualidade de água estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Problemas de Saneamento Básico no Brasil

A falta de tratamento de esgotos e de condições adequadas de saneamento pode contribuir para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas além da degradação dos corpos hídricos. A disposição adequada de esgotos é uma questão essencial relativa à proteção da saúde pública.

Segundo AISSE (2000), nos países em desenvolvimento, apenas 43% das populações contam com serviços de esgotos. Dessas populações, marginalizadas do saneamento básico, cerca de 70% estão no meio rural.

Epidemias de febre tifóide, cólera, disenterias, hepatite infecciosa e inúmeros casos de verminoses - algumas das doenças que podem ser transmitidas pela disposição inadequada dos esgotos - são responsáveis por elevados índices de mortalidade em países do terceiro mundo. As crianças são suas vítimas mais freqüentes, uma vez que a associação dessas doenças à subnutrição é, geralmente, fatal. A elevação da expectativa de vida e a redução da prevalência de verminoses que, via de regra, não são letais, mas desgastam o ser humano, somente podem ser pretendidas através da correta disposição dos esgotos.

Outra importante razão para tratar os esgotos é a preservação do meio ambiente. As substâncias presentes nos esgotos exercem ação deletéria nos corpos de água: a matéria orgânica pode causar a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido provocando a mortandade de peixes e outros organismos aquáticos, escurecimento da água e exalação de odores desagradáveis; é possível que os detergentes presentes nos esgotos provoquem a formação de espumas em locais de maior turbulência da massa líquida. Há ainda a possibilidade de eutrofização de lagoas pela presença excedente de nutrientes, provocando a proliferação indiscriminada de algas que conferem odor, gosto e biotoxinas à água (CETESB, 1977).

No que se refere aos custos de implantação de sistemas de tratamento, as cifras relacionadas com as necessidades do Brasil são impressionantes, pois, atualmente, apenas cerca de 40% da população urbana é servida com redes coletoras e apenas cerca de 10% dos esgotos são submetidos a algum tipo de tratamento, sendo que a situação da população rural ainda é grave (ANDRADE NETO E CAMPOS, 1999).

Estima-se, no Brasil, que seja necessário empregar 0,36% do PIB nos próximos dez anos para vencer os desafios da universalização do acesso dos serviços a toda população do país, com destaque ao tratamento de esgotos, alocando cifras em torno de US\$ 40 bilhões. Na América Latina este número pode chegar a US\$150 bilhões (ABICALIL, 2002).

No Brasil, os recursos financeiros aplicados neste setor são geralmente voltados para grandes sistemas, economicamente viáveis e politicamente rentáveis, que atendem os centros urbanos. Esta prática mantém as populações rurais e periféricas desassistidas e vulneráveis à contaminação que as cerca, uma vez que, não havendo abastecimento público de água potável, devem se servir da água disponível no local. Assim, todo cuidado com a não contaminação deve ser tomado (JORDÃO e PESSOA, 1995).

Associadas a estes fatores encontram-se as dificuldades financeiras em algumas propriedades para investimento em tratamento e disposição adequada das águas residuárias mediante outras necessidades. Isto posto, torna-se evidente que a problemática, decorrente da falta de abastecimento e de coleta e tratamento de esgoto, é acentuada nas áreas periféricas e rurais.

Considerando que grande parte das comunidades rurais é constituída por famílias de baixa renda e que os recursos financeiros disponíveis devem suprir toda a demanda de infra-estrutura básica desde a construção de casas, captação e distribuição de água para abastecimento e coleta e tratamento de esgoto, é fundamental a elaboração de projetos que considerem alternativas capazes de proporcionar qualidade a um custo reduzido. O auxílio técnico necessário para elaboração do planejamento e dos projetos a serem implantados com vistas no desenvolvimento rural sustentável deve ser estabelecido pelas comunidades rurais através de parcerias junto às prefeituras, universidades e organizações não governamentais como forma de encontrar as melhores alternativas para suas necessidades.

3.2 Características do Esgoto Doméstico

Desde que não haja significativa contribuição de despejos de origem industrial, a composição média do esgoto sanitário é razoavelmente constante; cerca de 99,9% de sua massa consiste em água pura e apenas 0,1%, de impurezas de natureza orgânica e inorgânica. Conforme VON SPERLING (1996), no projeto de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE),

normalmente não há o interesse em se determinar os diversos compostos com os quais o efluente é constituído, tendo em vista a complexidade das análises laboratoriais que seriam necessárias e a pequena utilidade prática desses resultados como elementos para subsidiar o projeto e operação da mesma. Desta forma, é preferível a utilização de parâmetros indiretos que traduzam o caráter ou potencial poluidor do despejo. Esses parâmetros são divididos em três categorias: físicos, químicos e biológicos.

As impurezas de natureza química (Tabela 3.1) constituem-se de substâncias orgânicas e inorgânicas solúveis. A fração orgânica é representada por proteínas, gorduras, hidratos de carbono, fenóis e por uma série de substâncias artificiais, fabricadas pelo homem, como detergentes e defensivos agrícolas. As substâncias minerais mais importantes são: nutrientes (nitrogênio e fósforo), enxofre, metais pesados e compostos tóxicos.

Tabela 3.1. Características químicas dos esgotos domésticos brutos.

Parâmetro	Contribuição per capita (g/hab.d)		Concentração		
	Faixa	Típico	Unidade	Faixa	Típico
Sólidos totais	120-220	180	mg.L ⁻¹	700-1350	1100
• Em suspensão	35-70	60	mg.L ⁻¹	200-450	400
- fixos	7-14	10	mg.L ⁻¹	40-100	80
- voláteis	25-60	50	mg.L ⁻¹	165-350	320
• Dissolvidos	85-150	120	mg.L ⁻¹	500-900	700
- fixos	50-90	70	mg.L ⁻¹	300-550	400
- voláteis	35-60	50	mg.L ⁻¹	200-350	300
• Sedimentáveis	-	-	mg.L ⁻¹	10-20	15
Matéria Orgânica					
• Determinação indireta					
- DBO ₅	40-60	50	mg.L ⁻¹	200-500	350
- DQO	80-130	100	mg.L ⁻¹	400-800	700
- DBO última	60-90	45	mg.L ⁻¹	170-350	250
• Determinação direta					
- COT	30-60	45	mg.L ⁻¹	170-350	250
Nitrogênio Total	6,0-112,0	8,0	mgN. L ⁻¹	35-70	50
• Nitrogênio orgânico	2,5-5,0	3,5	mgN. L ⁻¹	15-30	20
• Amônia	3,5-7,0	4,5	mgNH ₃ .L ⁻¹	20-40	30
• Nitrito	≈0	≈0	mgNO ₂ .L ⁻¹	≈0	≈0
• Nitrato	0,0-0,5	≈0	mgNO ₃ .L ⁻¹	0-2	≈0
Fósforo	1,-4,5	2,5	mgP.L ⁻¹	5-25	14
• Fósforo orgânico	0,3-1,5	0,8	mgP.L ⁻¹	2-8	4
• Fósforo inorgânico	0,7-3,0	1,7	mgP.L ⁻¹	4-17	10
pH	-	-	-	6,7-7,5	7,0
Alcalinidade	20-30	25	mgCaCO ₃ .L ⁻¹	110-170	140
Cloretos	4-8	6	mg.L ⁻¹	20-50	35
Óleos e graxas	10-30	20	mg.L ⁻¹	55-170	110

Fonte: VON SPERLING (1996)

As impurezas de natureza física são causadas por substâncias cuja presença afeta as características da água, independentemente de sua natureza química ou biológica. Partículas

sólidas suspensas ou em estado coloidal (orgânicas ou inorgânicas) alteram a transparência (turbidez) e cor da água, podendo precipitar-se na forma de lodo. Além disso, outras substâncias dissolvidas também poderão conferir alterações de cor, manifestação de odor e também variações de temperatura.

As impurezas de natureza biológica são representadas pelos seres vivos liberados junto com os dejetos humanos: bactérias, vírus, fungos, helmintos e protozoários. Alguns desses seres habitam normalmente o trato intestinal do homem e não prejudicam sua saúde; outros podem causar doenças e são denominados organismos patogênicos (CETESB, 1977).

A detecção dos organismos patogênicos, principalmente bactérias, vírus e protozoários, é extremamente difícil em amostragem de água devido à baixa concentração em que se encontram estes agentes. A presença de agentes patogênicos é geralmente indicada pela presença dos organismos denominados indicadores de contaminação fecal. Embora não sejam classificados como patogênicos, são residentes do trato intestinal humano possibilitando uma satisfatória indicação da contaminação da água por excrementos humanos e, logo, da potencialidade de existência de patógenos no meio amostrado.

Os principais indicadores de contaminação fecal são os coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais (VON SPERLING, 1996).

3.3 Sistemas para Tratamento de Esgoto Doméstico

Sabe-se que a disposição dos esgotos brutos no solo ou em corpos receptores naturais (rios, lagoas e oceanos) tem sido a alternativa mais utilizada como “tratamento”, pela capacidade de autodepuração decorrente dos fenômenos biológicos inerentes a estes sistemas naturais. Porém, esta decomposição natural ocorre dentro de limites da carga orgânica lançada e das condições ambientais existentes que permitam a evolução, reprodução e crescimento de organismos que degradam a matéria orgânica. Quando estes limites são ultrapassados, os esgotos provocam a total degradação do ambiente (ANDRADE NETO E CAMPOS, 1999).

Segundo estes autores, o tratamento de esgotos pode ser dividido em níveis de acordo com o grau de remoção de poluentes ao qual se deseja atingir.

O tratamento preliminar destina-se a remoção de sólidos grosseiros em suspensão: materiais de maiores dimensões e sólidos decantáveis como areia e gordura. Nesta etapa, são

utilizados apenas mecanismos físicos como gradeamento e sedimentação por gravidade como método de tratamento. Os objetivos do tratamento preliminar consistem na proteção das unidades de tratamento subsequentes e dispositivos de transporte como, por exemplo, bombas e tubulações, e na proteção dos corpos receptores quanto aos aspectos estéticos.

O tratamento primário, além dos sólidos sedimentáveis, contribui na remoção de uma pequena parte da matéria orgânica, utilizando-se de mecanismos físicos como método de tratamento.

O tratamento secundário engloba a atuação dos microrganismos na remoção dos compostos orgânicos do meio, através dos metabolismos aeróbio e anaeróbio. Os agentes biológicos mais importantes na degradação da matéria orgânica poluente são as bactérias que se desenvolvem no sistema mediante condições controladas de operação dos reatores, bem como o tipo de água residuária a ser tratada.

O tratamento terciário, nem sempre presente, geralmente é constituído de unidade de tratamento físico-químico e tem como finalidade a remoção complementar da matéria orgânica, dos nutrientes, de poluentes específicos e a desinfecção dos esgotos tratados. De acordo com a área disponível, recursos financeiros e grau de eficiência desejado, um ou outro processo de tratamento pode ser mais adequado.

3.4 Sistemas Biológicos de Tratamento

Para CAMPOS *et al* (1999), em sistemas de tratamento biológico, as bactérias heterótrofas são os principais microrganismos responsáveis pela conversão, através de ação bioquímica, do material orgânico presente na água.

Segundo os mesmos autores, os processos biológicos de tratamento estão relacionados ao metabolismo microbiano que selecionam. Nos reatores que operam sob condições de aeração, o material orgânico é mineralizado pelo oxidante (oxigênio molecular) para produtos inorgânicos, principalmente dióxido de carbono e água. Nos reatores anaeróbios, por sua vez, se desenvolvem processos fermentativos caracterizados pelo fato de o material orgânico sofrer transformações sem, contudo, ser mineralizado (oxidado). Dentre os produtos finais da digestão anaeróbia estão o metano e o dióxido de carbono.

Existem vários sistemas biológicos a serem adotados com a finalidade de estabilização da matéria poluente. O sucesso da aplicação de um deles está relacionado com o conhecimento prévio da água residuária a ser tratada, e da eficiente operação dos reatores na manutenção da atividade microbiana e das reações de mineralização desejadas.

Os sistemas biológicos de tratamento desenvolvidos são operados, portanto, sob condições aeróbias e/ou anaeróbias, dependendo da natureza dos resíduos orgânicos a serem degradados, da dimensão dos reatores, além de outros requerimentos específicos. Além disso, nos processos biológicos que ocorrem dentro dos sistemas é possível observar mais de um metabolismo microbiano ativo.

Segundo ANDRADE NETO (1997), como tratamento primário, a utilização dos processos anaeróbios para o tratamento de resíduos apresenta várias vantagens sobre os processos aeróbios, tais como: baixa produção de lodo; poucos requerimentos nutricionais à fermentação; baixo ou nenhum gasto de energia; aplicação de elevadas cargas orgânicas; recuperação potencial de energia na forma de metano (biogás); degradação de certos compostos tóxicos, tais como recalcitrantes à degradação aeróbia e habilidade em preservar a atividade do lodo por longos períodos sob ausência de alimentação.

3.4.1 Reatores Anaeróbios compartimentados

De acordo com CAMPOS et al (1999), o reator anaeróbio compartimentado é constituído de um tanque com diversas câmaras dispostas horizontalmente em série, cada qual separada por paredes ou chicanas verticais. Cada câmara é alimentada sucessivamente por meio de dispositivos, em geral tubulações, pelo efluente da anterior, sendo que o fluxo de esgoto é vertical e ascendente. Fisicamente semelhante ao tanque séptico com câmaras em série, porém, geralmente não possui dispositivo interno de separação de sólidos e gases, podendo ser fechado ou totalmente aberto e ser construído enterrado devido a menores requisitos de profundidade.

Estudos de NOUR (1996), sobre a operação de um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) no tratamento de esgoto doméstico, revelaram redução da DQO total situada entre 26,69% a 75,70%, sendo que as remoções de fósforo total e de nitrogênio total Kjeldahl foram pequenas. O autor recomenda que o efluente do Reator Anaeróbio Compartimentado seja submetido a

processo de polimento para atingir padrões adequados de lançamento e não produzir a eutrofização do ambiente lótico em que será lançado.

3.4.2 Leitos Cultivados (“Constructed Wetlands”)

“Os leitos cultivados podem ser classificados como um sistema natural de tratamento de águas residuárias, baseados nos alagados, nas várzeas ou “wetlands” naturais que são áreas de solo hidromórfico permanentemente inundados ou saturados por águas superficiais ou subterrâneas e onde vegetam várias espécies de plantas que são diretamente dependentes da hidrologia, do meio suporte e dos nutrientes característicos da região onde se encontram.” (U.S.E.P.A., 1988; WOOD e MCATAMNEY, 1996)

Terras úmidas, segundo MOTTA MARQUES (1999), são terras naturais onde a superfície da água está próxima da superfície do solo, por tempo suficiente para manter as condições de solo saturado, ao longo do ano e com associação de vegetação característica. Já as terras úmidas construídas buscam mimetizar algumas das funções de terras úmidas naturais, especificamente a capacidade de degradar matéria orgânica e conter nutrientes. O uso dessa técnica para controlar a poluição das águas surgiu nos Estados Unidos e se intensificou nos anos 80 quando vários tipos de terras úmidas foram propostas e testadas. Porém, existem dois tipos para os quais há um dimensionamento quantitativo: a terra úmida de fluxo superficial e terra úmida de fluxo subsuperficial. Entre os componentes fundamentais de terras úmidas construídas identificamos o substrato, macrófitas aquáticas e biofilmes de bactérias, responsáveis pela ocorrência dos mecanismos de remoção dos poluentes.

Na construção de terras úmidas são utilizadas várias espécies de macrófitas aquáticas. Entre as mais usadas estão as espécies pertencentes aos gêneros *Typha*, *Juncos*, *Scirpus*, *Carex* e *Phragmites*. As principais funções das macrófitas aquáticas são: a) a tomada de nutrientes e outros constituintes da água residuária; b) a transferência de oxigênio para o substrato (função com restrições); c) inibição do crescimento de algas sobre o substrato devido à sombra das folhas; e d) os rizomas, raízes e serrapilheira servem de suporte para o crescimento de biofilmes de bactérias (MOTTA MARQUES, 1999).

No Reino Unido, segundo GRIFFIN & UPTON (1999), é comum a utilização de leitos cultivados com a espécie *Phragmites australis* para o tratamento de esgotos.

Segundo NEWMAN *et al* (2000), os leitos cultivados vêm sendo cada vez mais utilizados para o tratamento de fontes de poluição da água, principalmente em regiões de clima quente, porém, seu desempenho também tem sido estudado em regiões de clima frio.

KUUSEMETS & MANDER (1999) avaliaram três sistemas de leitos cultivados comprovando eficiência na remoção de DBO_5 na faixa de 76 – 84%, 39 – 70% na remoção de Nitrogênio total e 73 – 83% na remoção de Fósforo total. Os resultados obtidos durante o inverno comparado a outras estações, demonstraram que o desempenho não foi reduzido durante esse período.

3.4.3 Tanque com Macrófitas

O termo macrófita engloba a maioria das algas marinhas, os musgos e as plantas aquáticas vasculares florescentes. Dentre as macrófitas de água doce estão incluídas as minúsculas *Wolffia* spp. – de tamanho próximo ao de uma cabeça de alfinete, plantas como as taboas (*Typha* spp.), que podem atingir 4m de altura, e árvores de cipreste (*Taxodium* spp.), que podem atingir 50 m de altura (APHA apud MANSOR, 1998).

Estima-se que mais de 5000 espécies de plantas são adaptadas à diversidade de habitats dos alagados (HAMMER, 1997).

As macrófitas são classificadas de acordo com o tipo de fixação no meio suporte do alagado, podendo ser: flutuantes, submergentes e emergentes. As plantas flutuantes podem ser enraizadas ou não; sua folhagem principal (coroa) flutua livremente na superfície da água. Plantas submergentes podem não ter raízes; quase toda a folhagem cresce sob a superfície da água, sendo que as suas extremidades podem emergir para a floração. Plantas emergentes têm sua folhagem principal em contato com o ar, podendo estar na superfície da água ou acima dela; através das raízes se conectam com o solo hidromórfico. Em alguns casos as mesmas espécies de plantas podem crescer de forma semelhante às emergentes ou flutuantes, ou como tipos submergentes ou emergentes (APHA apud MANSOR, 1998).

As macrófitas flutuantes e as algas tendem a ser mais ativas fotossinteticamente que as macrófitas emergentes na geração de O_2 e, de forma indireta, na remoção de CO_2 das águas (WOOD apud MASOR, 1998).

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13.969 de Setembro de 1997, lagoas com plantas aquáticas são lagoas de esgoto onde se permite o crescimento intenso de plantas aquáticas flutuantes, tais como aguapé e outras plantas com raízes abundantes, de modo a permitir fixação de microrganismos responsáveis pela depuração de esgoto nas mesmas. As plantas aquáticas, ao crescerem, absorvem nutrientes contidos no esgoto.

3.4.4 Tecnologia de Filtração Lenta e Filtração em Múltiplas Etapas

A filtração lenta tem sido usada no tratamento de água para abastecimento público desde o início do século XIX. Em 1892, as cidades de Hamburgo e Altona na Alemanha captavam água do Rio Elba e o tratamento adotado nestas cidades consistia em sedimentação e filtros lentos de areia respectivamente. Uma epidemia de cólera atingiu um terço da população de Hamburgo ocasionando 7.500 mortes, enquanto em Altona nada ocorreu, comprovando a eficiência da filtração lenta na remoção de bactérias. (HUISMAN, 1982).

Alguns fatores, segundo HESPANHOL (1987), atribuem ao filtro lento a eficiência na remoção de bactérias patogênicas e vírus: decaimento natural, devido o filtro lento ser um ambiente relativamente hostil a esses microrganismos; a predação; o efeito biocida da radiação solar; e a adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante. Esta última é destacada por WHEELER *et al.* (1988) como um dos principais mecanismos de redução destes microrganismos, principalmente dos vírus.

A filtração lenta é um sistema de simples construção, operação e manutenção; não requer uso de coagulantes ou outros produtos químicos, nem mão-de-obra qualificada para sua operação, além de constituir um dos processos de tratamento de águas de abastecimento com menor produção de lodo. A água resultante apresenta características menos corrosivas e os custos envolvidos são geralmente acessíveis a pequenas comunidades, principalmente nos países em desenvolvimento (AZEVEDO NETO e HESPANHOL, 1979).

Os sistemas de filtração lenta são constituídos, segundo PATERNIANI (1991), de uma unidade de fluxo descendente com taxa de filtração entre 3 e 6 m d^{-1} , meio filtrante composto de areia com curva granulométrica entre 0,08mm e 1,0mm, camada suporte de pedregulho com espessura total entre 0,8m e 1,0m e carga hidráulica entre 1,4m e 1,9m. A disponibilidade de

areia com adequada curva granulométrica e a altura total dos filtros representam as principais dificuldades na implantação destes sistemas.

No início de seu funcionamento, quando o meio filtrante encontra-se limpo, a eficiência do filtro lento na remoção de impurezas é relativamente baixa. Para que seja produzida água com qualidade aceitável, é necessário um período de amadurecimento do filtro lento, caracterizado pela formação de uma camada biológica no topo da areia, conhecida como “schmutzdecke” (DI BERNARDO et al, 1999).

A utilização de manta não tecida no topo do meio filtrante e em substituição da camada suporte, é uma opção viável que possibilita a redução do meio filtrante para 40 cm e o uso de areia de construção comum, peneirada em malha com abertura de 1,0 mm, sem comprometer a eficiência do filtro. A manta sintética promove a formação de “schmutzdecke” em sua superfície, eliminando o processo de raspagem da areia durante a limpeza do filtro (PATERNIANI, 1991; FERRAZ & PATERNIANI, 2002; CONCEIÇÃO, 2002).

Segundo DI BERNARDO (1993), as mantas não tecidas possuem maior capacidade de retenção de impurezas do que a areia promovendo o aumento da duração da carreira de filtração e possibilitando o emprego de taxas de filtração mais altas, além da redução da espessura da camada de areia, sem prejuízo da qualidade do efluente. Deste modo, os custos operacionais das estações também são reduzidos.

LONDE (2002) utilizando um sistema composto apenas de filtro lento com mantas sintéticas não tecidas no tratamento do efluente de uma estação de tratamento de esgotos com leitos cultivados obteve eficiência de remoção de sólidos suspensos 67%, eficiência de remoção de turbidez de 72%, eficiência de remoção de cor de 44%, eficiência de remoção de *E.coli* de 92,57% e eficiência de remoção de coliformes totais de 85,61%.

A variação e estado de degradação dos mananciais eram fatores limitantes para o uso de filtros lentos apesar das suas vantagens. Com o desenvolvimento da Tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas (FIME) tornaram-se capazes de remover gradativamente as impurezas e atenuar picos de concentração de sólidos suspensos. Uma instalação FIME completa é composta por: Pré Filtro Dinâmico, Pré Filtro de Pedregulho e Filtro Lento (DI BERNARDO et al, 1999).

O pré-filtro dinâmico consiste de uma unidade de fluxo descendente com taxa de filtração entre 18 e 60md⁻¹ onde parte do afluente é utilizada como água de limpeza do topo do meio

granular. A função dos pré-filtros dinâmicos é a remoção de materiais mais grosseiros, suportando picos de sólidos em suspensão (DI BERNARDO *et al*, 1999).

3.5 Desinfecção da água

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 2000aC (DANIEL *et al*, 2001). Entretanto, a correlação entre água e veiculação de doenças só foi confirmada em 1848 por John Snow através da comparação entre duas populações abastecidas por mananciais diferentes, sendo que a taxa de mortalidade devido à cólera era seis vezes maior naquele que recebia esgoto a montante. 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 total eliminação dos microrganismos presentes na água é realizada pelo processo de esterilização. A desinfecção consiste na inativação de um grupo de microrganismos, os patogênicos, e depende de vários fatores como: as interações físicas e químicas que ocorrem entre o desinfetante utilizado e a água, a dosagem e tempo de contato e também das características físicas, químicas e microbiológicas dos constituintes da água a ser desinfetada. (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991; DANIEL *et al*, 2001)

O objetivo dos processos de desinfecção é a destruição dos microrganismos patogênicos presentes na água, constituindo uma parte do tratamento que confere potabilidade à água. (DANIEL *et al*, 2001)

Os agentes desinfetantes atuam por meio de meios físicos e/ou químicos podendo ocorrer por três mecanismos diferentes: (STANIER *et al*, 1963 apud DANIEL *et al*, 2001)

1. Destruição ou danificação da organização estrutural da célula com atuação na parede celular provocando disfunções através da combinação com ácidos ribonucleicos 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 biosíntese e crescimento pela combinação com síntese de proteínas, ácidos nucleicos, enzimas etc.

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

A necessidade de desinfecção está relacionada à redução de doenças de veiculação ou origem hídrica. A alternativa de descartar esgoto no meio sem desinfetá-lo, é o mesmo que descartar organismos patogênicos que, por definição, são potenciais causadores de doenças nos seres humanos. Dentre os organismos presentes, os de maior interesse em ambientes contaminados são as bactérias entéricas, vírus e parasitas intestinais (PIRES, 2002).

Segundo Reiff e Witt (1995), o processo de desinfecção no tratamento de água de abastecimento pode ser realizado por meio de diversos agentes desinfectantes, que devem atender os seguintes critérios:

- ter capacidade de inativar, dentro de um tempo limitado, as classes e números de organismos patogênicos presentes na água;
- a determinação de sua concentração deve ser precisa, rápida, fácil, e passível de ser executada, tanto em campo como no laboratório;
- ser aplicável dentro da ampla faixa de condições apresentadas pelas águas;
- produzir residuais resistentes para evitar a recontaminação da água no sistema de distribuição;
- não deve ser tóxico ao ser humano ou produzir substâncias tóxicas acima dos limites permitidos na legislação, nem ser capaz de alterar a aceitabilidade da água pelo consumidor;
- ser razoavelmente seguro e fácil de manejar e aplicar; e
- ter custos razoáveis a sua aquisição, aplicação e manutenção.

Para se conseguir a desinfecção efetiva, os seguintes fatores principais devem ser considerados (METCALF & EDDY, 1991):

Tempo de contato

O tempo de contato do organismo com o agente desinfetante se constitui em uma das principais variáveis do processo de desinfecção. Em geral, para uma dada concentração de desinfetante, a destruição é tanto maior quanto mais elevado for o tempo de contato.

Concentração e tipo do agente químico

Dependendo do tipo de agente desinfetante, e dentro de certos limites, a eficiência da desinfecção depende da concentração do agente químico, de acordo com a Equação 3.1.

$$C^n \cdot t = \text{constante} \quad 3.1$$

na qual:

C: concentração do desinfetante;

n: constante

t: tempo necessário para se atingir um percentual constante de destruição

Intensidade e natureza do agente físico

Alguns exemplos de agentes físicos de desinfecção são calor e luz. Nesses casos, a eficiência da desinfecção depende da intensidade da radiação.

Temperatura

O efeito da temperatura na taxa de eliminação de microrganismos pode ser representado pela relação de van't Hoff-Arrhenius, na qual o aumento da temperatura resulta na aceleração do processo de desinfecção.

Número de organismos

A concentração de organismos no esgoto influencia o processo de desinfecção, uma vez que, quanto mais elevado o número inicial de organismos (N_0), maior será o tempo requerido para se conseguir a eliminação dos mesmos. No entanto, a concentração inicial de organismos não exerce influência sobre a eficiência de desinfecção, ou seja, para uma mesma dose aplicada, a

relação N (concentração final de microrganismos) / N_0 praticamente não se altera, independente da N_0 .

Tipos de organismos

A eficiência dos diversos tipos de agentes desinfetantes é influenciada pela natureza e condições dos microrganismos. Por exemplo, as células bacterianas viáveis são eliminadas facilmente, enquanto os esporos de bactérias são extremamente resistentes, sendo que a maioria dos desinfetantes normalmente utilizados tem pouco ou nenhum efeito sobre estes. Nesses casos, outros agentes desinfetantes, como o calor, podem ser necessários.

Natureza do líquido

Além dos fatores mencionados anteriormente, também a natureza do líquido submetido à desinfecção deve ser avaliada criteriosamente. Por exemplo, os materiais orgânicos presentes no líquido reagem com a maioria dos agentes oxidantes de desinfecção e reduzem a sua eficiência. A redução do número viável de microrganismos, causada por agentes desinfetantes, foi observada, por CHICK, em 1908, como sendo reação de primeira ordem bimolecular, ou seja,

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad 3.2$$

na qual:

k : velocidade de decaimento (min^{-1})

N : concentração de microrganismos (NMP.100 mL^{-1})

Ao se integrar a Equação 3.2, para os limites ($t = 0, N = N_0$) e (t, N), resulta a equação exponencial:

$$\frac{N}{N_0} = e^{(-kt)} \quad 3.3$$

Para que o decaimento, entendido como inativação dos microrganismos, siga a Equação 3.3, devem ser respeitadas as seguintes condições:

- população homogênea de microrganismos, ou seja, cultura pura;
- escoamento de pistão ou batelada de mistura completa;
- distribuição homogênea de desinfetante e microrganismos;
- concentração constante de desinfetante ao longo do tempo;
- constante k válida para cada concentração de desinfetante, não sendo aplicada para outras concentrações

Para considerar o efeito da concentração, WATSON, em 1908, partiu de considerações semelhantes à usada por CHICK, ou seja,

$$\frac{dN}{dt} = -k' C^n N \quad 3.4$$

k' : constante de decaimento ($L^n \cdot mg^n \cdot min^{-1}$)

C : concentração de desinfetante ($mg \cdot L^{-1}$)

n : coeficiente (adimensional)

A integração da Equação 3.4, para os limites limites ($t = 0, N = N_0$) e (t, N), considerando que a concentração de desinfetante é constante no tempo, fornece:

$$\frac{N}{N_0} = e^{(-k' C^n N)} \quad 3.5$$

A água natural e o esgoto sanitário contêm diferentes microrganismos com diferentes resistências aos desinfetantes. Por isso, normalmente ocorrem desvios das leis de CHICK e de WATSON.

Em 1972, HOM apresentou um modelo empírico de decaimento de microrganismos, que considera a concentração de desinfetante e o tempo de contato com taxa de decaimento dada pela equação 3.6:

$$\frac{dN}{dt} = -k'' C^n t^{m-1} N \quad 3.6$$

Integrando para os limites ($t = 0$, $N = N_0$) e (t , N), considerando que a concentração é constante no tempo, fornece:

$$\ln \frac{N}{N_0} = \frac{k'' C^n t^m}{m} \quad 3.7$$

Como m e k'' são constantes, faz-se a substituição de k''/m por k , obtendo-se”:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k C^n t^m \quad 3.8$$

As constantes e os coeficientes de todos os modelos de desinfecção são obtidos por regressão linear ou múltipla a partir de resultados experimentais obtidos em laboratório, em condições controladas e conhecidas, tais como pH, temperatura, alcalinidade, cor, turbidez, sólidos em suspensão, gênero de microorganismo e, quando, possível à espécie, dentre outros fatores específicos de cada agente desinfetante.

A complexidade dos fatores que interferem na desinfecção, qualquer que seja o processo ou oxidante escolhido, torna praticamente impossível transportar todas as reações, para um modelo matemático livre de erros, leciona DANIEL et al. (2001). A cinética da desinfecção segue os princípios das observações experimentais, traduzidas em formulações matemáticas desde 1908, com a Lei de Chick, onde a constante de decaimento k depende apenas da concentração dos microorganismos, até a Lei de Hom, que em 1972, desenvolveu um modelo empírico de decaimento de microorganismos, que considera a concentração de desinfetante e o tempo de contato.

Para DANIEL et al (2001), não há um desinfetante ideal que atenda a todos os requisitos independentemente da situação de uso. Cada agente desinfetante apresenta vantagens e desvantagens em função de condições específicas de sua utilização, e depende, para otimização de seus resultados, tanto das características físicas, químicas, grau de contaminação microbiológica da água a ser desinfetada, como das condições de projeto, operação e manutenção

das unidades de tratamento. Dessa forma, a seleção da tecnologia de desinfecção deve ser apropriada a cada realidade considerando esses aspectos e outros fatores que possam influenciar na confiabilidade, continuidade e eficiência do sistema.

3.5.1. Desinfecção por Cloração.

Apesar da evolução na prática da desinfecção, a cloração ainda tem sido a principal forma de desinfecção utilizada nas estações de tratamento de água de abastecimento no Brasil.

Na cloração, o agente desinfetante, cloro, penetra nas células dos microrganismos, reagindo com suas enzimas e destruindo-as. Sem a ação essencial das enzimas no processo metabólico, estes microrganismos são exterminados (JORDÃO E CONSTANTINO, 1995).

A dosagem de cloro em água para consumo humano é regulamentada pela Portaria MS nº518/2004, que regulamenta a concentração máxima de 5mgL^{-1} de cloro livre e o mínimo de $0,2\text{mgL}^{-1}$ na linha de distribuição.

Na desinfecção de esgotos com compostos de cloro, a concentração do desinfetante se altera com o tempo e, particularmente durante os momentos iniciais da aplicação do cloro, este passa por transformações rápidas, desde a forma livre até as formas combinadas. Dessa forma, torna-se mais importante a determinação da concentração de cloro residual do que a de cloro aplicado. Outros aspectos relevantes e que interferem no processo de desinfecção são:

- presença de sólidos no efluente, pois estes podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante. Poucos métodos encontram-se disponíveis para avaliar esse fenômeno quantitativamente;
- pH do efluente, uma vez que a inativação de microrganismos aumenta com o decréscimo do pH, tanto para residuais de cloro livre como de cloro combinado;
- temperatura, uma vez que o seu aumento também aumenta a taxa de inativação dos microrganismos

A desinfecção, a oxidação ou ambas as ações ao mesmo tempo podem constituir objetivos para o uso de cloro no tratamento da água. A desinfecção é o objetivo principal e mais comum da cloração, o que acarreta, muitas vezes, o emprego, como sinônimos, das terminologias "desinfecção" e "cloração" (Bazzoli, 1993 apud Meyer, 1994).

As reações entre o cloro e compostos inorgânicos redutores, como sulfitos, sulfetos, íon ferroso e nitrito, são geralmente muito rápidas. Alguns compostos orgânicos dissolvidos também reagem rapidamente com o cloro, mas, em geral, são necessárias algumas horas para que a maioria das reações do cloro com compostos orgânicos se complete.

Quando o cloro é adicionado a água quimicamente pura ocorre a reação descrita abaixo (Degrémont, 1979 apud Meyer, 1994):



Na temperatura ambiente, o tempo de reação é de décimos de segundo. Em solução diluída e pH acima de 4, o equilíbrio da reação é deslocado para a direita, ficando pouco Cl_2 em solução. Em valores de pH mais baixos, a reação predominante é no sentido de formação do cloro.

O ácido hipocloroso (HOCl), formado pela adição de cloro à água, se dissocia rapidamente (Degrémont, 1979 apud Meyer, 1994):



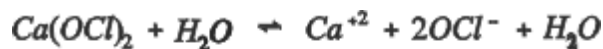
A ação desinfetante e oxidante do cloro é controlada pelo ácido hipocloroso, um ácido fraco. Em solução aquosa e valores de pH inferiores a 6, a dissociação do ácido hipocloroso é fraca, sendo predominante a forma não-dissociada (HOCl).

Em soluções de pH menor que 2, a forma predominante é o Cl_2 ; para valores de pH próximo a 5, a predominância é do HOCl, tendo o Cl_2 desaparecido. A forma ClO predomina em pH 10 (Meyer, 1994).

As águas de abastecimento, em geral, apresentam valores de pH entre 5 e 10, quando as formas presentes são o ácido hipocloroso (HOCl) e o íon hipoclorito (OCl^-).

O cloro existente na água sob as formas de ácido hipocloroso e de íon hipoclorito é definido como cloro residual livre (Opas, 1987).

O cloro também pode ser aplicado sob as formas de hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio, os quais, em contato com a água, se ionizam conforme as reações:



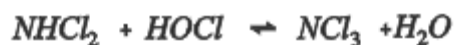
O íon hipoclorito também estabelece um equilíbrio com os íons de hidrogênio, dependendo do pH, ou seja, da concentração de íons de hidrogênio na água. Uma parte do cloro

disponível reage com água para formar ácido hipocloroso, íons hipoclorito e ácido clorídrico. O ácido clorídrico formado combina-se com a alcalinidade natural da água ou com a alcalinidade introduzida para fins de tratamento, reduzindo-as e alterando, desta forma, o pH, o qual, por sua vez, influi no grau de dissociação do ácido hipocloroso.

Quando existem, na água, amônia e compostos amoniacais, com a adição de cloro são formados compostos clorados ativos, denominados cloraminas.

O cloro presente sob a forma de cloraminas é denominado cloro residual combinado (Opas, 1987).

O cloro sob a forma de ácido hipocloroso combina-se com a amônia presente na água, formando monocloramina (NH_2Cl), dicloramina (NHCl_2) e tricloramina ou tricloreto de nitrogênio (NCl_3).



A adição de cloro em águas que contenham nitrogênio amoniacal poderá produzir uma série de reações, que dependerão da relação entre o cloro dosado e o nitrogênio amoniacal presente, do pH, da temperatura e do tempo de reação. O cloro residual (cloro residual combinado) inicialmente aumenta com o aumento do cloro aplicado, passando por um ponto máximo, e, em seguida, diminui até um ponto mínimo; a partir deste mínimo, o cloro residual, agora sob a forma de cloro residual livre, aumenta proporcionalmente com a quantidade de cloro aplicada. O ponto de inflexão encontrado é chamado de *breakpoint* (cloração ao *breakpoint*). Com o início da cloração, o nitrogênio amoniacal consome o cloro na formação de cloraminas. O ponto máximo é atingido quando toda a amônia disponível se combinou com o cloro para a formação de cloraminas. Como são compostos quimicamente instáveis, quando a curva atinge o máximo, com a continuação da adição de cloro à água as cloraminas são oxidadas e destruídas, formando produtos inertes, como N_2 e HCl . O ponto mínimo de inflexão é atingido depois da destruição das cloraminas.

A continuação da adição de cloro significará um aumento do cloro residual livre, já que toda a demanda de cloro pela água foi satisfeita (Opas, 1987).

A cloração ao *breakpoint* pode ser aproveitada de forma a garantir um teor de cloro residual num sistema de distribuição de água. A água clorada sofre adição de compostos de amônia, formando as cloraminas. Durante a distribuição da água tratada, as cloraminas funcionarão como uma fonte de cloro frente a qualquer substância oxidável que surgir na rede (recontaminação). O pH da solução influencia as quantidades relativas das cloraminas presentes (Meyer, 1994).

As dicloraminas têm maior efeito bactericida do que as monocloraminas. As tricloraminas não apresentam efeito desinfetante.

Essas reações podem ocorrer simultaneamente, e o aumento de acidez e da relação cloro/nitrogênio favorece a formação dos derivados mais clorados.

As reações são mais rápidas em valores de pH mais baixos, onde é elevada a concentração de ácido hipocloroso não-dissociado (Van Bremem, 1984 apud Mayer, 1994).

A presença de ferro e manganês na água também afeta a cloração. Caso o pH seja elevado o bastante para que haja a formação de hidróxidos e a quantidade de cloro presente seja suficiente, as formas reduzidas desses metais serão oxidadas às suas formas de hidróxidos insolúveis.

Os nitritos também podem estar presentes na água, sendo rapidamente oxidados pelo cloro.

Grande quantidade de compostos orgânicos presentes na água pode exercer influência no consumo de cloro, dependendo da quantidade de cloro disponível e do tempo de reação.

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

O cloro é o desinfetante mais utilizado em águas e esgotos, tanto pela eficiência na inativação de microrganismos e baixo custo, como pela facilidade de aplicação. Porém, estudos demonstram que o cloro e seus subprodutos podem ser tóxicos à vida aquática (PIRES, 2002; DANIEL *et al*, 2001).

Segundo PIRES (2002), em virtude do esgoto doméstico ser identificado como fonte de contaminação por patógenos e o processo de desinfecção mais utilizado causar danos ao

ambiente, a decisão por desinfetar ou não representa uma tarefa complicada que deve ser feita para cada localidade específica, podendo ser recomendado o uso de desinfetantes alternativos em substituição do cloro.

Diversos estudos relacionam os subprodutos da cloração com efeitos adversos à saúde humana destacando-se os estudos realizados por: VILLANUEVA *et al* (2000), que relacionam o aumento da incidência de câncer de bexiga e cólon com os THMs na Espanha; TARDIFF (1979), que ressalta os efeitos nocivos do clorofórmio; BROCK *et al* (1998), ressaltando os graves efeitos prejudiciais à saúde humana ocasionados pelos ácidos haloacéticos.

3.5.2 Desinfecção por Radiação Ultravioleta.

A radiação ultravioleta tem alto grau de inativação de microrganismos patogênicos em curto período de contato e não produz resíduos tóxicos que afetam o meio aquático ou os sistemas de distribuição de água de abastecimento (WHITBY & PALMATEER, 1993, apud SILVA, 2004).

A desinfecção por meio de radiação ultravioleta tem demonstrado ser uma boa alternativa à cloração, principalmente após o surgimento dos problemas causados por este processo, como subprodutos indesejáveis com propriedades cancerígenas (SEVERIN, 1980; ZUKOVSKY *et al.*, 1986, apud SILVA, 2004), além da necessidade de altas dosagens e longo tempo de contato (ZUKOVSKY *et al.*, 1986, apud SILVA, 2004).

A desinfecção por este sistema é feita com lâmpadas especiais de baixa pressão de mercúrio que emitem radiação em comprimento de onda letal aos microrganismos. Isto ocorre em reatores, que são denominados reatores fotoquímicos, construídos de material refletor para aumentar sua eficiência.

A emissão de raios UV é feita por lâmpadas de arco de mercúrio com bulbo hermético de sílica ou quartzo com eletrodos de tungstênio nas extremidades facilitando a formação de arco elétrico. O gás presente no interior da lâmpada é inerte, geralmente argônio ou mercúrio. As lâmpadas de vapor de mercúrio com baixa pressão (0,001atm) são mais facilmente encontradas no mercado e 95% do seu espectro possui comprimento de onda de 253,7nm., como mostra a Tabela 3.2 (DANIEL *et al*, 2001).

TABELA 3.2. Distribuição de energia emitida por uma lâmpada bactericida.

Comprimento de Onda (nm)	Porcentagem relativa de emissão dentro da região	
	248 - 365 nm	248 - 313 nm
248	0,1	0,1
254	95,2	97,4
265	0,1	0,1
280/289	0,1	0,1
297	0,3	0,3
302	0,2	0,2
313	1,8	1,9
334	0,1	-
365	2,0	-

Fonte: HARM, 1980 citado por DANIEL *et al*, 2001.

3.5.3 Desinfecção Solar da Água – SODIS.

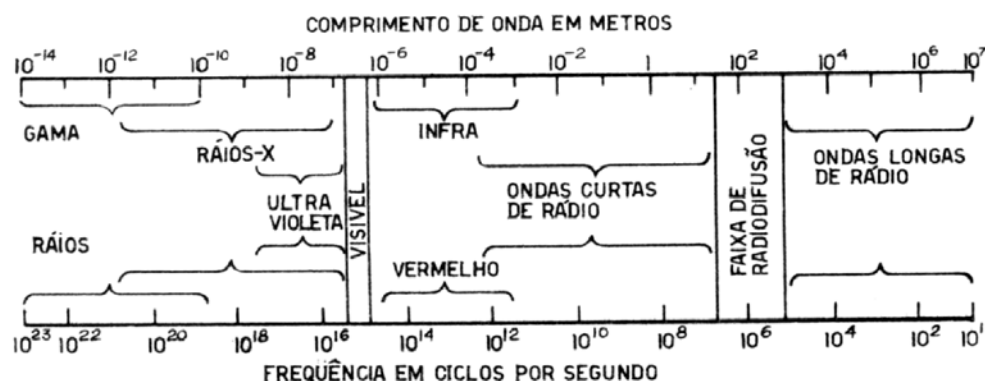
O processo de desinfecção solar da água consiste basicamente na exposição da água bruta ao sol por algumas horas e pode ser feito em garrafas ou sacos plásticos, processo em batelada, ou em reatores, processo de fluxo contínuo (SOMMER *et al*, 1997).

3.5.3.1 Histórico.

Em 1984, pela primeira vez foi apresentada a idéia da desinfecção solar da água, por Aftim Acra, num folheto publicado pela UNICEF. Em 1991, o Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática (EAWAG) e o Departamento de saneamento e água para países em desenvolvimento (SANDEC) conduziram pesquisas em laboratório com a finalidade de avaliar o potencial deste método na inativação de bactérias e vírus. Os resultados foram positivos e comprovaram a ação conjunta entre radiação UV-A e a temperatura da água na inativação de microrganismos. A confirmação de resultados ainda melhores foi obtida nas pesquisas em campo, que revelaram uma tecnologia simples, de baixo custo, com um grande potencial de melhorar a saúde daqueles que não têm acesso à água potável (SODIS, 2003b).

3.5.3.2 Espectro Solar

A faixa de comprimento de ondas compreendida entre 200 e 300nm do espectro da radiação solar (FIGURA 3.1) sofre absorção na camada de ozônio presente na atmosfera, chegando sobre a superfície terrestre, em quantidade significativa, apenas as radiações com comprimento de ondas UV-A (320 – 400nm) e mais longos.



Fonte: FERENCE JR *et al* (1968)

FIGURA 3.1- Espectro eletromagnético.

Sendo que as radiações UV-C e UV-B são retidas, quase totalmente, pela camada de ozônio, a radiação UV-A e do espectro violeta da luz visível são responsáveis pela ação bactericida. A distribuição dessa energia sofre ainda efeitos espaciais e sazonais. (WEGELIN *et al*, 1994; SODIS, 2003b).

A região mais apropriada para uso do SODIS 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).

Os microrganismos patogênicos são vulneráveis a dois fatores exercidos pelo espectro solar: radiação UV-A e calor (aumento da temperatura da água). Existe uma sinergia decorrente da combinação desses dois efeitos; o resultado é sempre maior que o resultado da soma individual dos dois fatores (SODIS, 2002).

A exposição ao calor e a radiações ultravioletas, provenientes da radiação solar, é estudada 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 organismos patogênicos (WEGELIN *et al*, 1994).

3.5.3.3 Processo em batelada.

Considerando um custo de US\$3,00 / ano para uma residência de cinco pessoas utilizando garrafas PET e a desnecessária utilização de produtos químicos, o SODIS torna-se uma alternativa técnica e economicamente viável para o tratamento de água em pequenas comunidades. (WEGELIN *et al*, 1994; DANIEL *et al*, 2001; SODIS, 2003j, 2003k, 2003m).

O processo de desinfecção solar da água destaca-se também pela manutenção das 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 dois 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.)

Visando atender as regiões em desenvolvimento, os materiais empregados para o SODIS devem ser de baixo custo. Dentre as alternativas já estudadas estão: garrafas de vidro, policloreto de vinila (PVC) e PET 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, 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 1.100 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 seis 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.

Após estudo e comparação entre garrafas e sacolas plásticas de PET, constatou-se que as sacolas aquecem mais rapidamente e, por apresentarem uma maior superfície de exposição, resultam tempo mais curto para inativação das bactérias, porém, o seu manuseio é mais difícil. Outros pontos relevantes que apresentam desvantagens das sacolas são: a vida útil máxima de seis meses e a necessidade de outro recipiente para o consumo da água, o que sugere outro foco de possível contaminação. Por outro lado, as garrafas de PET são mais práticas de manipular, mais duráveis e têm baixo custo dependendo apenas do número de pessoas a serem atendidas, o que pode demandar a utilização de um grande número de garrafas (SODIS, 2003d).

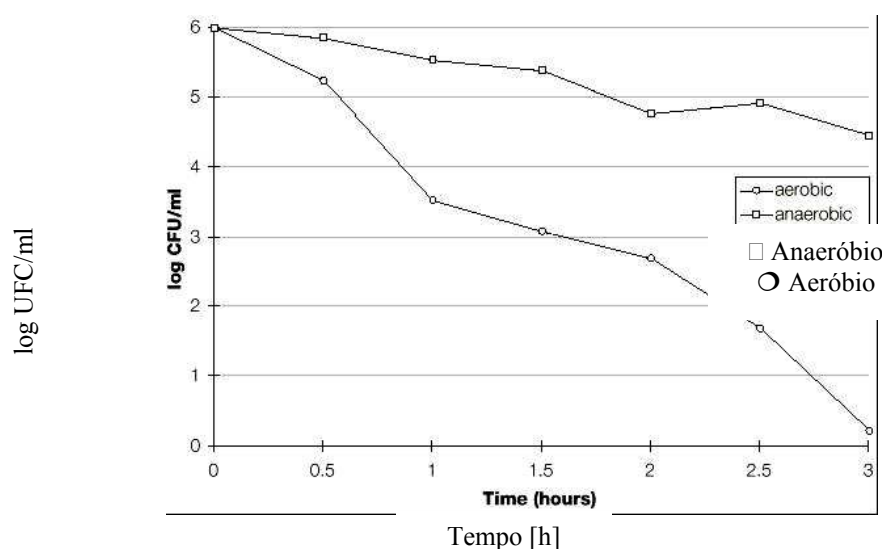
A eficiência do sistema depende basicamente da qualidade da água, temperatura e radiação UV. Dentre os microrganismos mais encontrados nas águas, os que oferecem maior resistência térmica são os coliformes fecais que necessitam de 80°C para inativação instantânea total. A dose de radiação UV para inativação de 99,9% de coliformes fecais é 24,74 Wh/m² e para *E.Coli* 19,08 Wh/m², existindo ainda na combinação de temperatura e radiação um efeito sinérgico que duplica a taxa de inativação de coliformes fecais (ARAFA, 1985; WEGELIN *et al*, 1994; SODIS, 2003i).

O estudo realizado por WEGELIN *et al* (1994), na inativação de enterovírus, obteve resultados mostrados na Tabela 3.3 para inativação de 99,9%.

Tabela 3.3 Tempo necessária para inativação de 99,9% de enterovírus em função da temperatura da água no SODIS (WEGELIN *et al*, 1994)

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

Os valores de turbidez, profundidade da lâmina de água e concentração de oxigênio são fatores condicionantes da eficiência do sistema. O valor máximo para turbidez é de 30 NTU, com profundidade de 10 cm de lâmina de água. A eliminação de 100% de coliformes fecais também ocorre com lâmina de 4cm e turbidez de 250 NTU. 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 do tipo *E.Coli*, conforme demonstrado na FIGURA 3.2, (SODIS, 2003g, 2003o, 2003p, 2003q).



Fonte: SODIS (2003p)

FIGURA 3.2 Inativação de *E.Coli* em condições aeróbias e anaeróbias

Águas com presença da bactéria *Shigella dysenteriae*, de difícil controle profilático devido a baixa concentração infectante, têm sua contaminação reduzida em 6 casas logarítmicas quando submetidas ao SODIS por 5 horas, sendo que quando o processo é realizado por 6 horas este microrganismo é totalmente eliminado (KEHOE et al, 2004).

Estudos realizados por BRANDÃO (2000), na cidade de Brasília - Brasil, utilizando água com turbidez de 10 NTU e concentração de coliformes totais de 10^6 UFC(100ml)⁻¹, foram inativados 100% dos coliformes num tempo de exposição ao sol de 2 horas e temperatura da água

de 50°C. Em outro experimento, com concentração de *E.Coli* da ordem de 10^3 na água, a desinfecção foi estudada operando-se com sacolas plásticas, espessura da lâmina d'água de 5 cm e tempo de exposição ao sol de 3 horas. Neste caso, também foi confirmada maior eficiência de desinfecção obtida com o efeito conjunto de radiação e temperatura. (BRANDÃO *et al*, 2000, apud SILVA, 2004)

3.5.3.4 Processo em fluxo contínuo.

Foram estudadas por SOMMER *et al* (1997) na Colômbia, duas propostas de concentradores solares com fluxo “contínuo”, entretanto para ocorrer o fluxo foram utilizadas válvulas termostáticas que só eram abertas quando a temperatura da água efluente do concentrador atinge 50°C (SODIS) e 70° (SOPAS). A água tratada ainda quente passa por um trocador de calor com o objetivo de pré-aquecer a água bruta.

O modelo SODIS foi eficiente nos dias com sol para a vazão máxima de 54L/h (tempo de detenção de 40 min); 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. Já o reator baseado no sistema de pasteurização com energia solar (SOPAS), cuja diferença era atingir a desinfecção apenas com a ação do calor, mantendo a temperatura da água efluente do concentrador solar em 70°C ao invés de 50°C, apresentou maior sensibilidade às condições do tempo, resultando em paradas do fluxo ou inativação incompleta. Os resultados obtidos pela comparação entre os dois sistemas, dimensionados com os mesmos parâmetros, revelaram que a sinergia alcançada pela combinação entre energia térmica e radiação otimiza a inativação dos microorganismos (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 três horas de exposição ao sol, confirmando a possível utilização dessa tecnologia em fluxo “contínuo” apesar do custo elevado do concentrador utilizado.

3.6 Reuso de Água

O reuso tem sido tratado, até a alguns anos, como uma opção cara e exótica. Atualmente, porém, esta opção deve ser considerada notando-se o constante estreitamento entre as técnicas de tratamento de água e técnicas de tratamento de esgoto. Realmente, o tratamento de água deve ser visto como um meio de purificar a água de qualquer grau de impureza que seja adequado ao uso pretendido, predominando, portanto, a importância de selecionar e combinar, com competência, os diversos processos unitários que sejam adequados (SANTOS E MANCUSO, 2003).

Medidas como conservar, aumentar a eficiência no consumo e reusar, adiam a escassez que se aproxima no futuro e podem trazer sustentabilidade ao crescimento populacional.

O reuso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não.

Segundo WESTERHOFF(1984) apud BREGA FILHO (2003), o reuso de água pode ser classificado em duas grandes categorias: potável e não potável. Por sua praticidade e facilidade, essa classificação foi adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES).

O reuso potável pode ser direto, quando o esgoto recuperado é diretamente reutilizado no sistema de água potável e indireto, quando, após tratamento, o esgoto é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.

O reuso não potável é contemplado em sete finalidades: agrícolas, industriais, recreacionais, domésticos, manutenção de vazões, aquicultura e recarga de aquíferos subterrâneos.

Usos urbanos não potáveis apresentam menores riscos e devem ser considerados como a primeira opção, sendo que alguns cuidados especiais devem ser tomados quando houver contato direto do público com a água reutilizada. O emprego de esgotos tratados representa o maior potencial desse processo, podendo ser utilizado em descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios comerciais e industriais, reserva de proteção contra incêndio, irrigação de áreas ajardinadas ao redor de edificações, irrigação de parques e jardins públicos, campos de futebol, gramados, entre outros (BRAGA *et al.* 2002).

A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados, os custos de capital, de operação e de manutenção associados.

Para comunidades rurais, os benefícios econômicos do reuso de água para fins agrícolas são auferidos graças ao aumento da área cultivada e da produtividade agrícola, os quais são mais significativos em áreas onde se depende apenas de irrigação natural, proporcionada pelas águas de chuvas (HESPANHOL, 2003).

Sistemas de reuso de águas para fins agrícolas, se adequadamente planejados e administrados, segundo HESPANHOL (2003), proporcionam melhorias ambientais e melhorias de condições de saúde, entre as quais:

- minimização das descargas de esgotos em corpos de água;
- conservação do solo pelo acúmulo de húmus, e aumenta a resistência a erosão;
- aumento da concentração de matéria orgânica no solo;
- contribuição, principalmente em áreas carentes, para o aumento da produção de alimentos, elevando, assim, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reuso.

Segundo BRAGA *et al.* (2002), as águas de qualidade inferior como as águas de drenagem agrícola, águas salobras e os esgotos, especialmente os de origem doméstica, devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O conceito de “substituição de fontes” – liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como abastecimento doméstico - representa uma alternativa satisfatória para atender demandas menos restritivas.

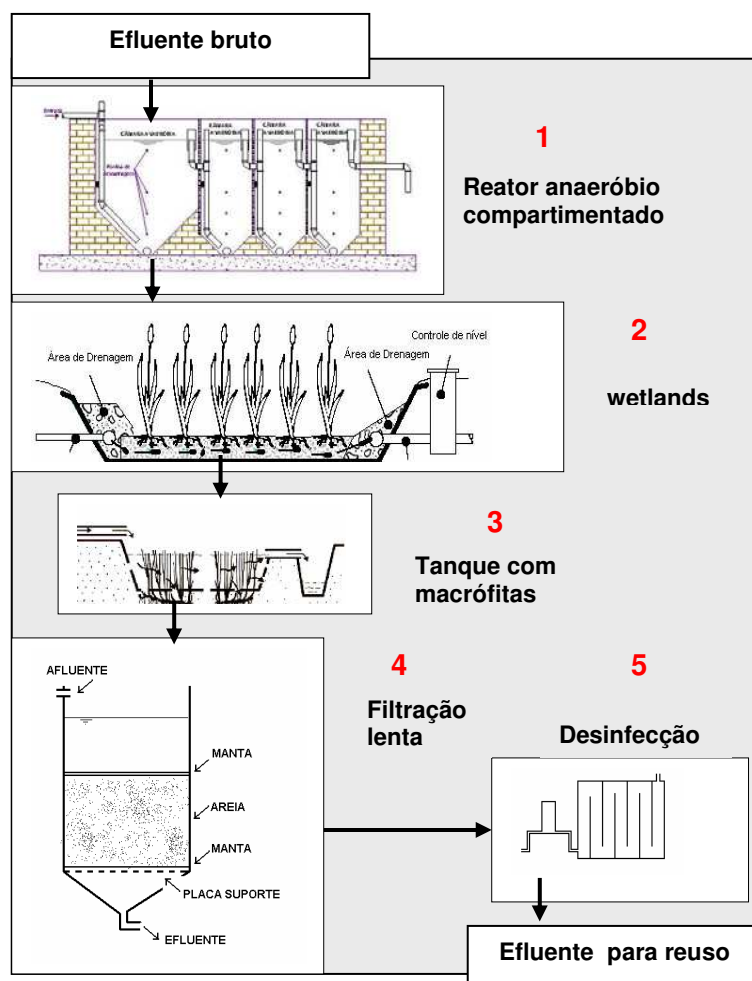
Em 1985, a política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, estabelecida pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas, trouxe o seguinte conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior” (BRAGA *et al.*, 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e Caracterização do Experimento

A investigação experimental foi conduzida no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, cidade de Campinas – SP (Latitude 22°49'05”), com intensidade média de radiação solar total no verão de 763,17 W/m² e 471,98 W/m² no inverno, calculada num período histórico de 30 anos pelo CIAGRO – Centro de Ecofisiologia e Biofísica (2001) do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (SILVA, 2004).

Neste local, encontra-se instalada uma estação piloto, tema de estudo do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), constituído de 5 unidades colocadas em série, conforme figura 4.1.



Fonte: PROSAB, 2005.

Figura 4.1. Fluxograma da instalação piloto

Segundo a descrição do projeto proposto pelo PROSAB, a planta piloto é constituída de 5 unidades colocadas em série, cuja finalidade de cada etapa compreende: reator anaeróbio

compartimentado (tratar o esgoto bruto, produzindo um efluente em nível secundário); leitos cultivados (realizar um pós-tratamento do efluente anaeróbio, produzindo um efluente com características terciárias); tanques com macrófitas (complementar a remoção de nutrientes e compostos recalcitrantes, produzindo um efluente de ótima qualidade); filtros lentos (produzir um efluente com baixa cor e turbidez, diminuta concentração de microrganismos, inclusive patogênicos com características essenciais a desinfecção efetiva); unidade de desinfecção (produzir um líquido com as características necessárias para ser utilizado em equipamentos sanitário onde não seja exigida água considerada potável, por exemplo o vaso sanitário).

O sistema SODIS combinado com cloração e radiação ultravioleta, num sistema de fluxo contínuo, utilizou como afluente, o efluente da filtração lenta, conforme indicado na Figura 4.2.

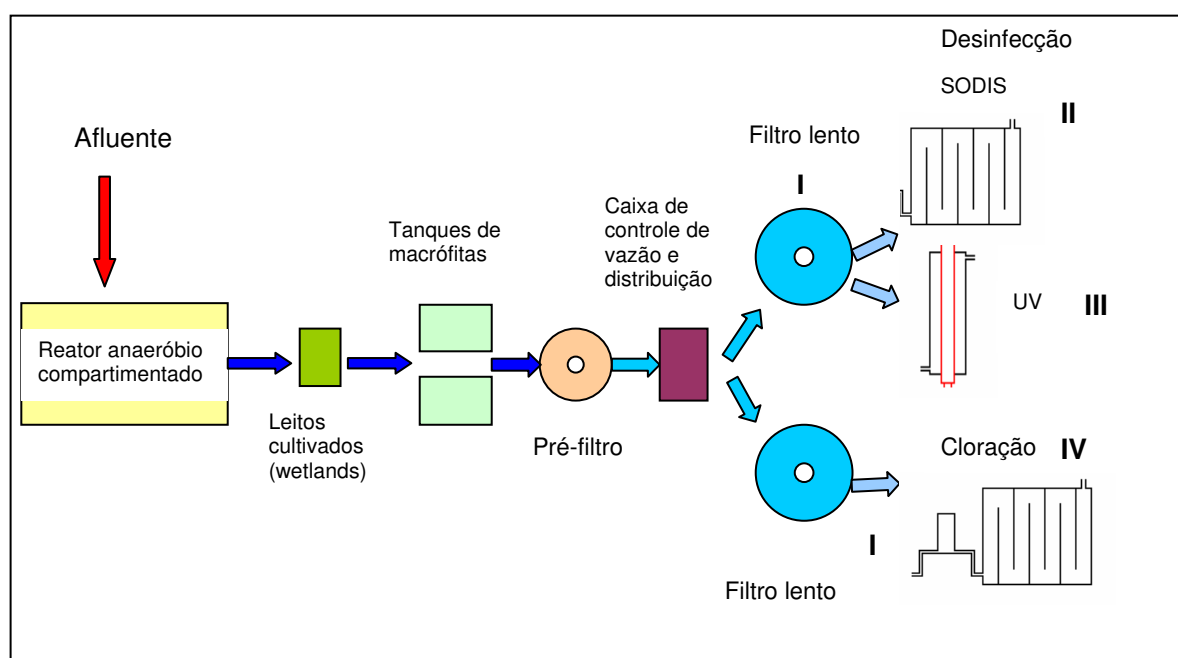


Figura 4.2: Fluxograma e pontos de amostragem

4.2 Materiais utilizados

4.2.1 Reator SODIS

O reator utilizado para a desinfecção solar da água (SODIS) é constituído de estrutura acrílica com chicanas, placa de cobertura em acrílico transparente, impermeabilizado com tinta betuminosa de coloração preta fosca (para otimização da retenção do calor), e dimensionado para proporcionar tempo de detenção de aproximadamente quatro horas. Vertedores de entrada e saída foram ajustados para o escoamento do fluxo e uma manta plástica de cor preta foi utilizada nos dias anteriores e posteriores à realização das amostragens com a finalidade de evitar a formação de algas no reator. As Figuras 4.3 e 4.4 mostram o esquema do reator SODIS em fluxo contínuo e o equipamento instalado em campo, respectivamente.

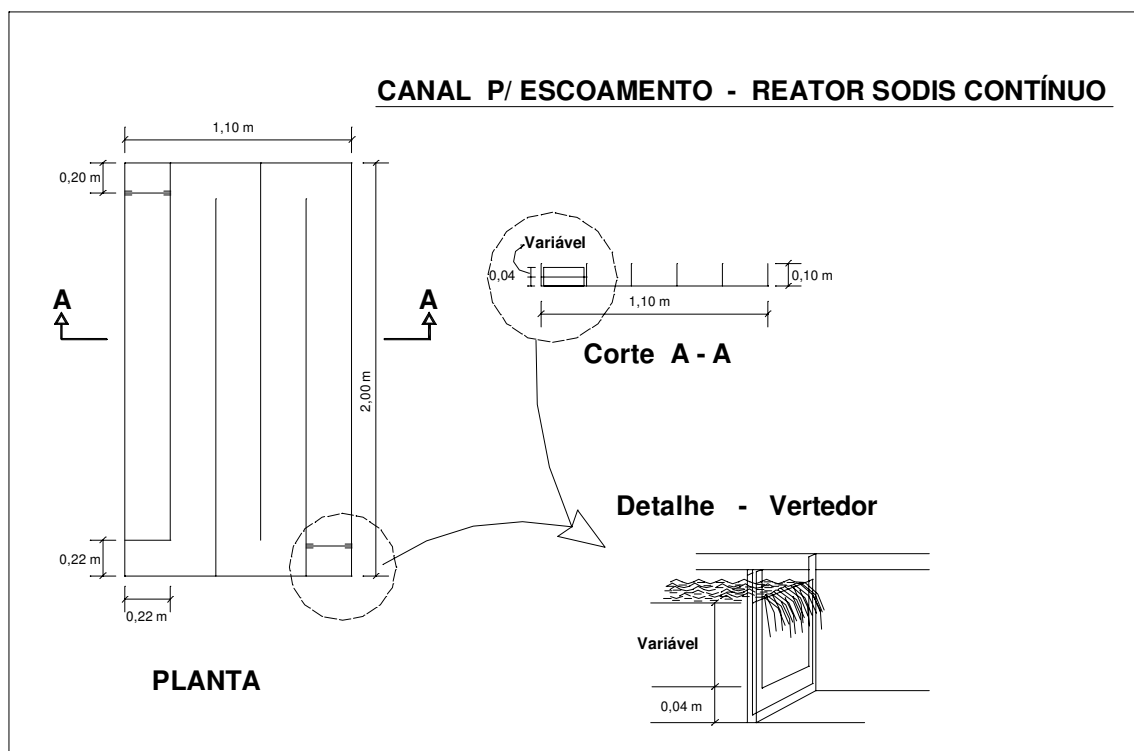


Figura 4.3. Esquema do Reator SODIS de fluxo contínuo.



Figura 4.4. Reator SODIS de fluxo contínuo coberto.



Figura 4.5. Vertedor do Reator SODIS de fluxo contínuo

4.2.1.1 Trocador de Calor

Visando favorecer o aumento da temperatura interna da água no reator, foi ajustada entre a saída do Filtro Lento e a entrada do SODIS, uma caixa de isopor para dentro da qual o efluente do SODIS, já aquecido pela incidência solar, era direcionado. Dentro da caixa foi colocada uma serpentina feita com mangueira de borracha conectada ao afluente do sistema, com a finalidade de conduzir sua passagem e contato indireto com o ambiente aquecido. Desta forma, pôde-se promover o pré aquecimento do afluente antes deste entrar no reator SODIS (FIGURA 4.5).



Figura 4.6. Trocador de calor

4.2.2 Vazão do Sistema

A desinfecção solar da água utilizou o efluente do filtro lento, sendo a vazão média do sistema igual a 34,8 L.h⁻¹, que representa um tempo de detenção teórico de 3,79h, como mostra a EQUAÇÃO 4.1.

$$t = \frac{b * L * h}{Q} = \frac{0,22 * 10 * 0,06}{9,66 \times 10^{-6}} = 13664,59s \Rightarrow 3,79h \quad \text{EQUAÇÃO (4.1)}$$

onde: t = tempo de detenção teórico, em s;

b = largura do canal, 0,22m;

L = comprimento total do canal, 10m;

h = altura da lâmina d'água, 0,06m;

Q = vazão do filtro lento, 9,66.10⁻⁶ m³/s;

4.2.3. Cloração

O efluente recebeu solução de hipoclorito de sódio de 5 mg.L^{-1} para a desinfecção por cloração, sendo a vazão média do sistema $34,8 \text{ L.h}^{-1}$ e tempo de detenção na caixa de contato de aproximadamente 30 minutos.

O sistema de cloração foi composto por bomba dosadora tipo diafragma, modelo V 1,5/13, e tanque de contato. A bomba dosadora de cloro foi ajustada para uma concentração de 5 mg.L^{-1} . O tanque de contato era dotado de chicanas e o tempo de contato de 30 minutos. O esquema do sistema de cloração está demonstrado na Figura 4.6.

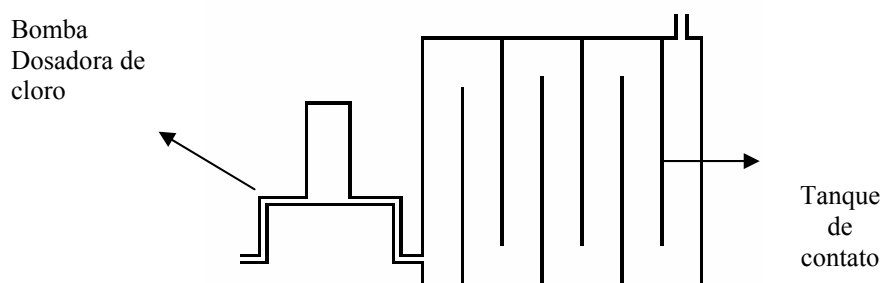


Figura 4.7. Esquema geral da instalação do sistema de cloração.

4.2.4 Radiação Ultravioleta

Foi utilizado um reator de radiação ultravioleta adquirido da empresa Síntese Natural – Modelo UV 0136/02, com lâmpada de 36 W, capacidade para vazão de 2.000 L.h^{-1} e dosagem acima de $30.000 \mu\text{W}.\text{seg}.\text{cm}^{-2}$. As figuras 4.7 e 4.8 mostram o esquema do reator e o reator implantado em campo.

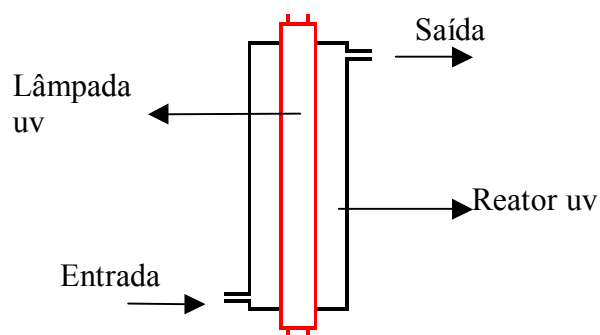


Figura 4.8. Esquema geral da instalação do reator de radiação ultravioleta



Figura 4.9. Instalação do reator de radiação ultravioleta.

4.2.5 Controle e monitoramento do sistema

Em função da operação em fluxo contínuo, o acionamento e desligamento sincronizados da bomba dosadora de cloro e do reator UV devem ocorrer simultaneamente às variáveis de temperatura e disponibilidade de luz solar previamente estabelecidas. Para tanto, foi utilizado um Sistema de Aquisição de Dados NI USB-6008/6009 da National Instruments estruturado conforme a lógica de programação apresentada no Tabela 4.1:

Tabela 4.1. Estrutura lógica do programa de controle dos equipamentos.

Temperatura da água (SODIS)	Disponibilidade de luz solar	Comando do sistema	
		Bomba Cloro	Reator UV
Menor 50°C	Ausência	Desligada	Acionado
Menor 50°C	Presença	Acionada	Desligado
Maior ou igual 50°C	Ausência ou presença	Desligada	Desligado

A programação deste sistema foi realizada através do software “LAB VIEW STUDENT”, que permite o estabelecimento de entradas e saídas analógicas, além de permitir a aquisição de dados digitais diversos em períodos e frequências determinadas pelo programador. As entradas iniciais foram simuladas através de ferramentas do próprio sistema e por um dispositivo externo (potenciômetro), uma vez que não foi viável instalar os equipamentos de controle em campo (FIGURA 4.10).

**Figura 4.10 Estrutura física utilizada para o desenvolvimento do programa.**

4.3 Parâmetros de Controle e Amostragem

Para a avaliação de eficiência do reator SODIS foram consideradas as condições de temperatura atmosférica e radiação solar total incidente, representando as condições mais favoráveis e mais críticas ao desempenho do sistema.

As coletas foram realizadas aleatoriamente durante um período de quatro meses logo após o final do verão, sempre respeitando-se um período de quatro horas entre a coleta do afluente e

do efluente. Dessa forma, considerando os parâmetros de incidência solar e temperatura ambiente, os ensaios foram realizados no período menos favorável à desinfecção solar.

A eficiência do sistema de desinfecção foi avaliada através da análise dos parâmetros bacteriológicos, sendo que os demais parâmetros foram avaliados quanto à sua interferência na eficiência desejada. Estes parâmetros estão demonstrados na tabela 4.2, assim como a frequência das análises durante o experimento.

As amostras foram coletadas em pontos do sistema conforme mostra a Figura 4.2.

Tabela 4.2. Ensaios realizados, intervalo entre as análises e seus respectivos pontos de coleta, conforme a Figura 4.2.

Parâmetro	Ponto de Amostragem	Frequência
Temperatura da Água	I e II	Três vezes/dia
pH	I, II, e IV	Diária
Turbidez	I e II	Diária
Cor	I e II	Diária
Coliformes Totais	I, II, III e IV	Três vezes/dia
Coliformes Fecais - <i>E. Coli</i>	I, II, III e IV	Três vezes/dia
Temperatura ambiente	Local da instalação	Três vezes/dia
Radiação Solar	Estação meteorológica da Feagri	diária

4.4. Metodologia e equipamentos utilizados

- Turbidez:

Nefelometria, utilizando-se o aparelho TUBIDIMETER 2100NA HACH, conforme descrito em HACH, 1996.

- Cor aparente:

Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho TUBIDIMETER 2100NA HACH, conforme descrito em HACH, 1996.

- pH:

Leitura em pHmetro marca DIGIMED, modelo DM 20, conforme descrito em Standard Methods (APHA, 1999).

- Coliformes Totais e *E. Coli*:

Método do substrato definido, utilizando-se reagente COLILERT, segundo Standard Methods (APHA, 1999).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados do Afluente e das Condições Experimentais

O afluente utilizado na presente pesquisa foi o processado pela estação piloto do PROSAB, constituída por reator anaeróbio compartimentado, seguido por leitos cultivados, tanques de macrófitas e filtração lenta. As amostras coletadas ao longo dos ensaios apresentaram os valores mostrados na Tabela 5.1..

Tabela 5.1. Dados das amostras do afluente.

	Média	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão
Turbidez (UNT)	3,45	15,00	1,00	3,06
Cor Aparente (mg(Pt-Co)L⁻¹)	63,48	95,00	45,00	17,21
Temperatura (°C)	23,74	26,80	16,40	3,01
pH	7,29	7,46	6,96	0,14
Col. Totais (NMP.100ML⁻¹)	$2,98.10^5$	$2,42.10^6$	$9,21.10^3$	$7,29.10^5$
<i>E.Coli</i> (NMP.100ML⁻¹)	$8,73.10^4$	$1,30.10^6$	$2,9.10^3$	$2,86.10^5$

Durante os ensaios, a temperatura ambiente variou entre 20,1 °C e 33,8 °C, conforme apresentado na Figura 5.1.

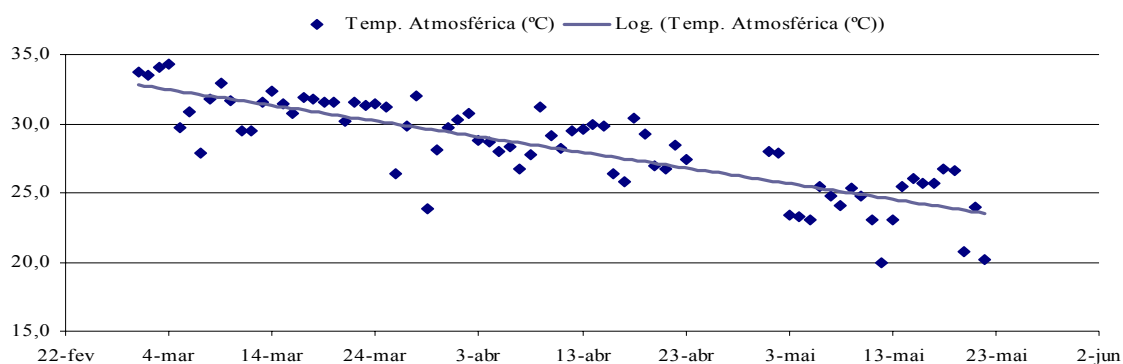


Figura 5.1. Valores médios de temperatura atmosférica.

Os valores pH tiveram pouca variabilidade ao longo do experimento, enquanto cor aparente, turbidez, Coliformes Totais e *E. Coli* variaram no decorrer dos ensaios (Figuras 5.2 e 5.3).

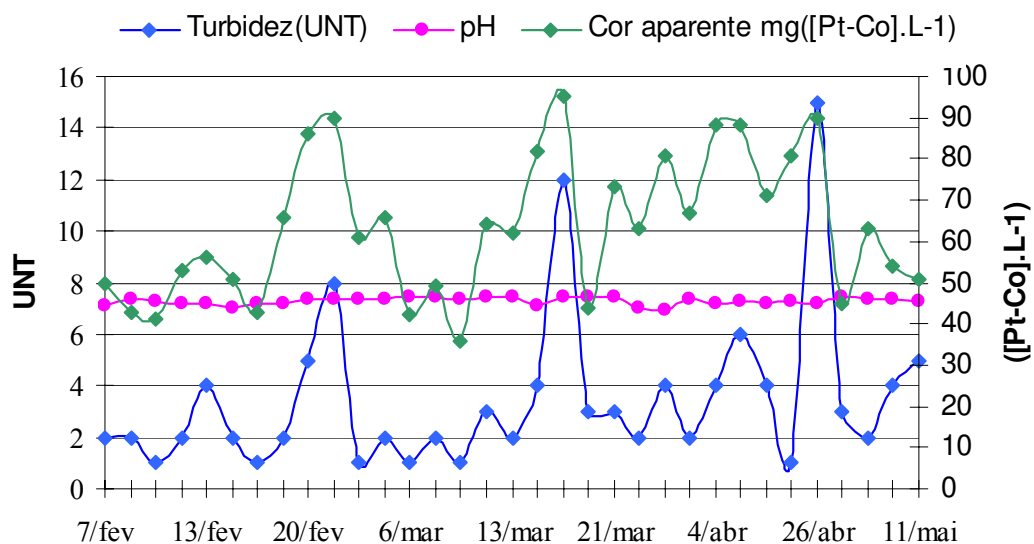


Figura 5.2. Valores médios de Turbidez, Cor Aparente e pH no afluente dos ensaios.

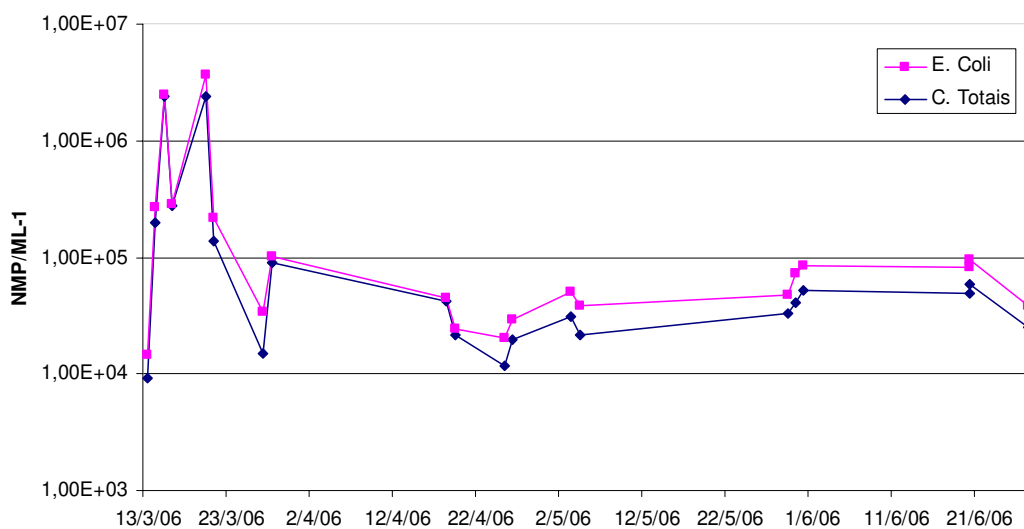


Figura 5.3. Valores médios de Coliformes Totais e Fecais no afluente.

5.2 Dados do Efluente do reator SODIS

5.2.1 Resultados do trocador de calor

A utilização do trocador de calor resultou num aumento médio de 4,29 °C no afluente do reator SODIS, otimizando o processo interno. (FIGURA 5.4)

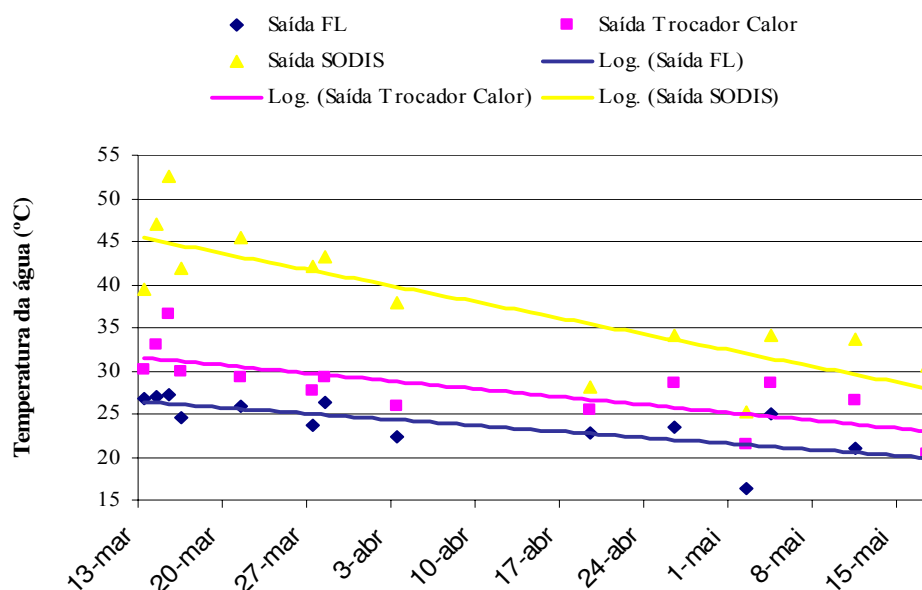


Figura 5.4. Valores médios de temperatura da água na saída do Filtro Lento, do trocador de calor e do reator SODIS.

5.2.3 Cor aparente

O sistema mostrou-se propenso a intensificar as condições de cor aparente durante o experimento, 57% das amostras do efluente do reator SODIS resultaram em valores maiores, conforme demonstrado na Figura 5.5. O reator quando exposto a luz solar apresentou proliferação de algas que, notadamente, promovem o aumento dos níveis de cor.

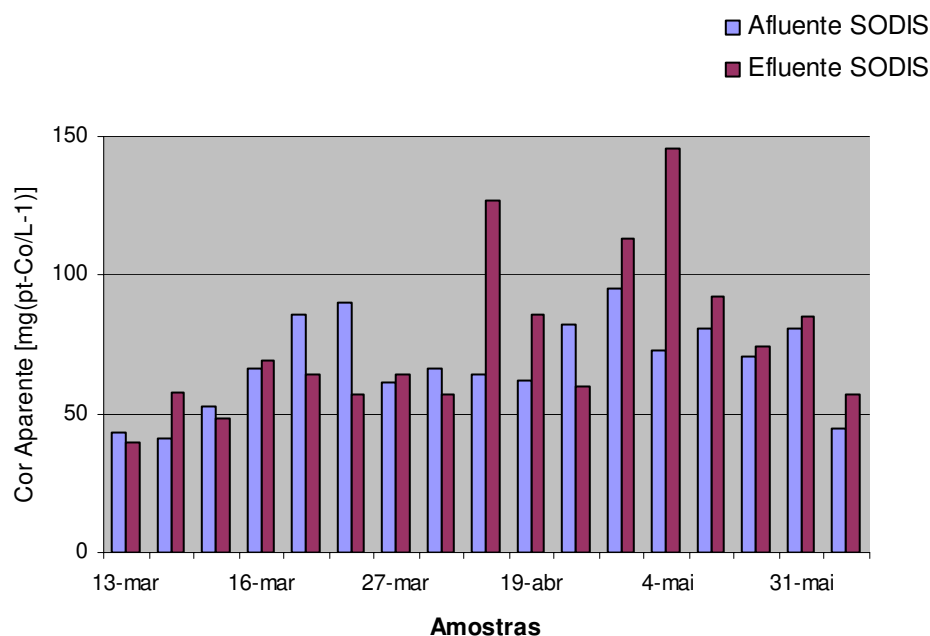


Figura 5.5. Valores de cor aparente das amostras coletadas na saída do Filtro Lento e saída do reator SODIS.

Na Tabela 5.2. estão demonstrados os valores médios, máximos e mínimos obtidos nas análises referentes à Cor Aparente no reator SODIS.

Tabela 5.2. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Cor Aparente (mg[Pt-Co].L⁻¹).

	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente do reator SODIS	69,72	95,00	41,00	16,43
Efluente do reator SODIS	80,17	416,00	40,00	28,93

5.2.4 Turbidez

Os valores de turbidez mostraram-se muito variáveis ao longo dos ensaios em função das oscilações nas características do afluente, sendo estas influenciadas por chuvas, obstruções no sistema de leitos cultivados, formação de algas e despejo de substâncias diferentes na rede de

esgoto. Apesar de tais variações, os valores de turbidez para o efluente permaneceram, em média abaixo de 15 UNT (FIGURA 5.6).

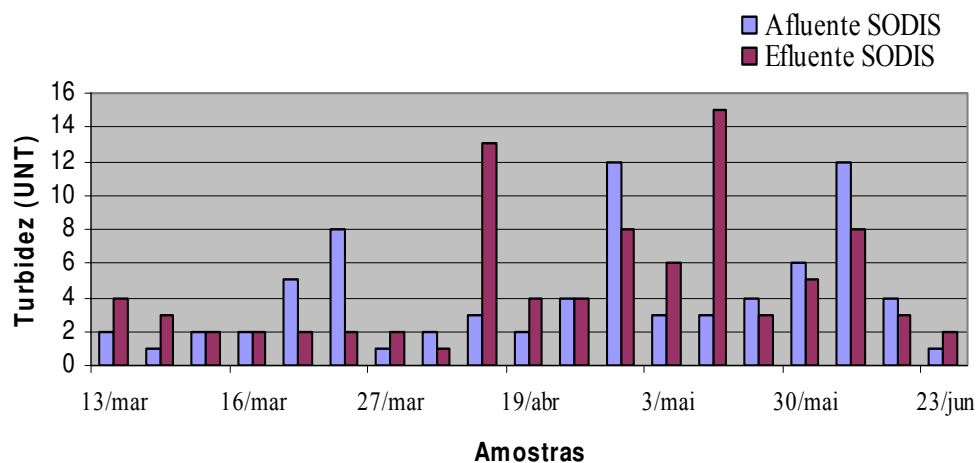


Figura 5.6. Valores de turbidez das amostras coletadas na saída do Filtro Lento e saída do reator SODIS.

Na Tabela 5.3., estão apresentados os valores médios, máximos e mínimos de turbidez resultantes das amostragens no reator SODIS.

Tabela 5.3. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Turbidez (UNT).

	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente do reator SODIS	4,45	12,00	1,00	3,32
Efluente do reator SODIS	5,10	15,00	1	3,84

5.2.5 Coliformes Totais, *E.Coli* e Temperatura.

Apesar da temperatura interna do reator, durante os ensaios, ter ultrapassado apenas uma vez o valor de 50°C, a eficiência média atingida na inativação foi de 86,60% para Coliformes Totais e 89,55% para *E. Coli*.

Os valores médios, máximos e mínimos apresentados na Tabela 5.4 demonstram a variabilidade destes parâmetros ao longo dos ensaios.

Tabela 5.4. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de Coliformes totais e *E.Coli*.

	Coliformes Totais NMP.100mL ⁻¹			
	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente ao SODIS	2,98.10 ⁵	2,42.10 ⁶	9,21. 10 ³	7,29. 10 ⁵
Efluente do SODIS	3,56.10 ⁴	2,40.10 ⁵	1,55. 10 ³	6,99. 10 ⁴
	<i>E.Coli</i> NMP.100mL ⁻¹			
	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente ao SODIS	8,73. 10 ⁴	1,30.10 ⁶	2,90. 10 ³	2,86. 10 ⁵
Efluente do SODIS	3,65.10 ³	2,0.10 ⁴	0	5,89. 10 ³

A temperatura interna atingida no reator SODIS e a incidência de radiação solar estão diretamente relacionados conforme representado na Figura 5.7.

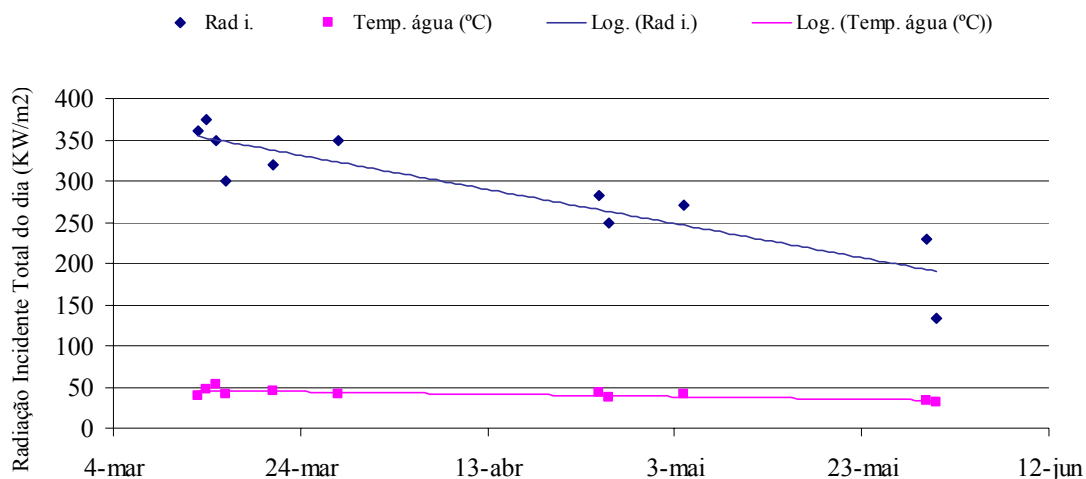


Figura 5.7. Valores de Radiação total incidente e temperatura interna do Reator SODIS.

A eficiência na remoção de microrganismos indicadores no ambiente aquático do reator, por sua vez, varia em função destas duas variáveis, tendendo a melhorar quando do aumento da temperatura da água (FIGURA 5.8).

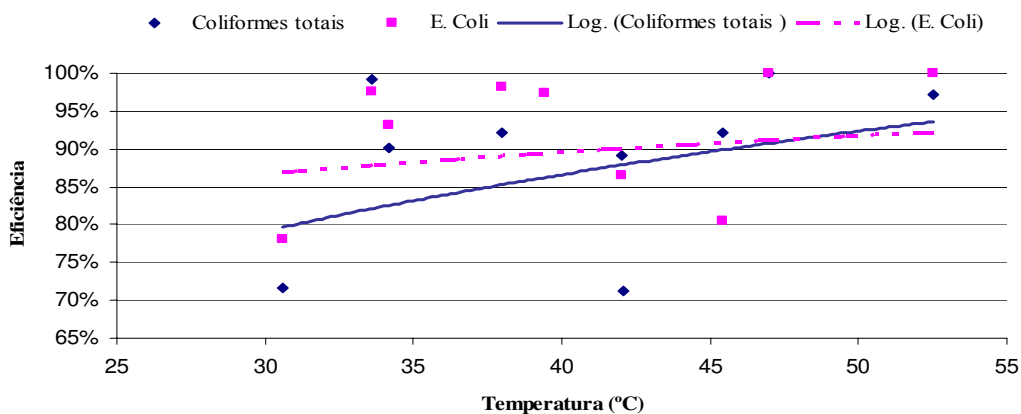


Figura 5.8. Eficiência na inativação de Coliformes totais e *E. Coli* no Reator SODIS.

5.2.6 pH

Os valores de pH oscilaram entre 6,61 e 7,85, mínima e máxima, respectivamente obtidas nos ensaios, conforme apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5. Valores Médios, máximos e mínimos de pH no reator SODIS.

	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente do reator SODIS	7,29	7,46	6,96	0,14
Efluente do reator SODIS	7,51	7,85	6,61	0,26

Na Figura 5.9, pode-se observar um aumento nos valores de pH após a passagem pelo reator SODIS.

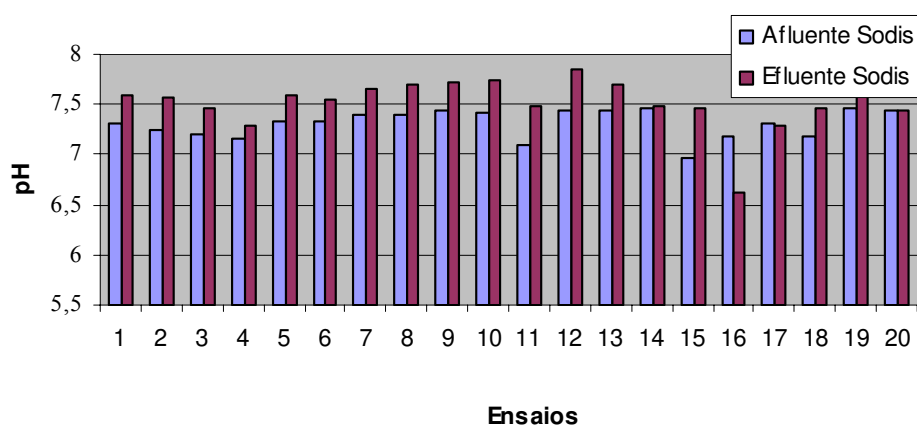


Figura 5.9. Valores médios de pH da água no Reator SODIS.

5.3 Dados do efluente do sistema de cloração

5.3.1 Coliformes Totais e *E.Coli*.

A eficiência média na remoção de bactérias do grupo coliformes e *E.Coli* foi de 99,41% e 100%, respectivamente.

Os valores médios, máximos e mínimos estão apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de Coliformes totais e *E.Coli*, da desinfecção por cloração.

	Coliformes Totais NMP.100mL⁻¹			
	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente Cloração	$2,98.10^5$	$2,42.10^6$	$9,21. 10^3$	$7,29. 10^5$
Efluente Cloração	$9,32.10^2$	$8,60.10^3$	0	$2,48. 10^3$
	<i>E.Coli</i> NMP.100mL⁻¹			
	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente Cloração	$8,73. 10^4$	$1,30.10^6$	$2,90. 10^3$	$2,86. 10^5$
Efluente Cloração	0	0	0	0

5.3.2 pH

Os valores de pH oscilaram entre 6,02 e 7,89, mínima e máxima, respectivamente obtidas nos ensaios, conforme apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7. Valores Médios, máximos e mínimos de pH no reator SODIS

	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente da cloração	7,29	7,46	6,96	0,14
Efluente da cloração	7,27	7,89	6,02	0,97

5.3.3 Turbidez

Na Tabela 5.8., estão apresentados os valores médios, máximos e mínimos de turbidez resultantes das amostragens do efluente após cloração.

Tabela 5.8. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Turbidez (UNT).

	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente da cloração	3,48	15,00	1,00	3,06
Efluente da cloração	3,29	8,00	1,00	1,40

5.4 Dados do Efluente do Reator Ultravioleta

5.4.1 Coliformes Totais e *E.Coli*.

A eficiência média na remoção de bactérias do grupo coliformes e *E.Coli* foi de 91,91% e 98,98%, respectivamente.

Os valores médios, máximos e mínimos estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 Valores médios, máximos e mínimos de concentração de Coliformes totais e *E.Coli*, da desinfecção por radiação ultravioleta.

	Coliformes Totais NMP.100mL ⁻¹			
	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente Ultravioleta	2,98.10 ⁵	2,42.10 ⁶	9,21. 10 ³	7,29. 10 ⁵
Efluente Ultravioleta	4,20.10 ³	3,17.10 ⁴	0	9,54. 10 ³
	<i>E.Coli</i> NMP.100mL ⁻¹			
	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
Afluente Ultravioleta	8,73. 10 ⁴	1,30.10 ⁶	2,90. 10 ³	2,86. 10 ⁵
Efluente Ultravioleta	1,63.10 ²	6,20.10 ²	0	2,43. 10 ²

5.5 Enquadramento aos Padrões de Qualidade da Água.

A ausência de legislação específica para disciplinar o reuso da água, restringe o enquadramento dos efluentes tratados às normas que dispõem sobre os padrões dos corpos d'água receptores e seu respectivo lançamento. Segundo a Resolução CONAMA 357/05, águas doces são aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5 %. As águas doces são divididas em quatro classes, com padrões de classificação, conforme demonstrado na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 Parâmetros básicos de classificação dos corpos d'água.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Coliformes termotolerantes (NMP.100mL ⁻¹)	-	200	1.000	4.000
pH	6,5 – 8,5	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
Turbidez (UNT)	-	≤ 40	≤ 100	≤ 100
Temperatura	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40

Fonte: adaptado da Resolução CONAMA 357/05

Comparando os resultados obtidos (Tabela 5.11) de remoção de bactérias do grupo *E. Coli* com a Resolução CONAMA 357/05, pode-se afirmar que, segundo este parâmetro, o efluente do sistema de desinfecção solar (SODIS) poderia ser reutilizado somente para usos menos exigentes dentro das classes 3 e 4 de padrões de qualidade da água, tais como irrigação de espécies arbóreas. De maneira análoga, após passagem pelo reator ultravioleta, o efluente poderia ser enquadrado nos padrões de classe 2, enquanto a cloração atenderia usos menos nobres da classe 1.

Tabela 5.11 Valores médios obtidos nas unidades de desinfecção.

Parâmetro	Afluente	UV	SODIS	CLORAÇÃO
pH	7,29	-	7,51	7,27
Temperatura (°C)	25,96	-	39,43	23,84
Turbidez (UNT)	4,91	-	4,68	3,29
Coliformes Totais (NMP.100mL-1)	2,98.10 ⁵	4,2.10 ³	3,56 .10 ⁴	9,32.10 ²
<i>E. Coli</i> (NMP.100mL-1)	8,73.10 ⁴	1,63.10 ²	3,65.10 ³	0

Cabe ressaltar que, analisando o parâmetro referente à temperatura, caso a temperatura interna do reator SODIS se mantivesse no nível desejado (acima de 50° C), haveria necessidade de resfriar o efluente para o devido atendimento à referida Resolução.

5.6 Sistema de Controle e Aquisição de Dados

Estão apresentados a seguir os resultados obtidos com o desenvolvimento do programa de aquisição e controle através do aplicativo Lab View 7.1..

5.6.1 Sistema de controle

A Figura 5.10 apresenta o painel frontal do software, no qual são colocadas todas as informações necessárias para a representação visual da interface entre o aplicativo e a estrutura física do sistema.

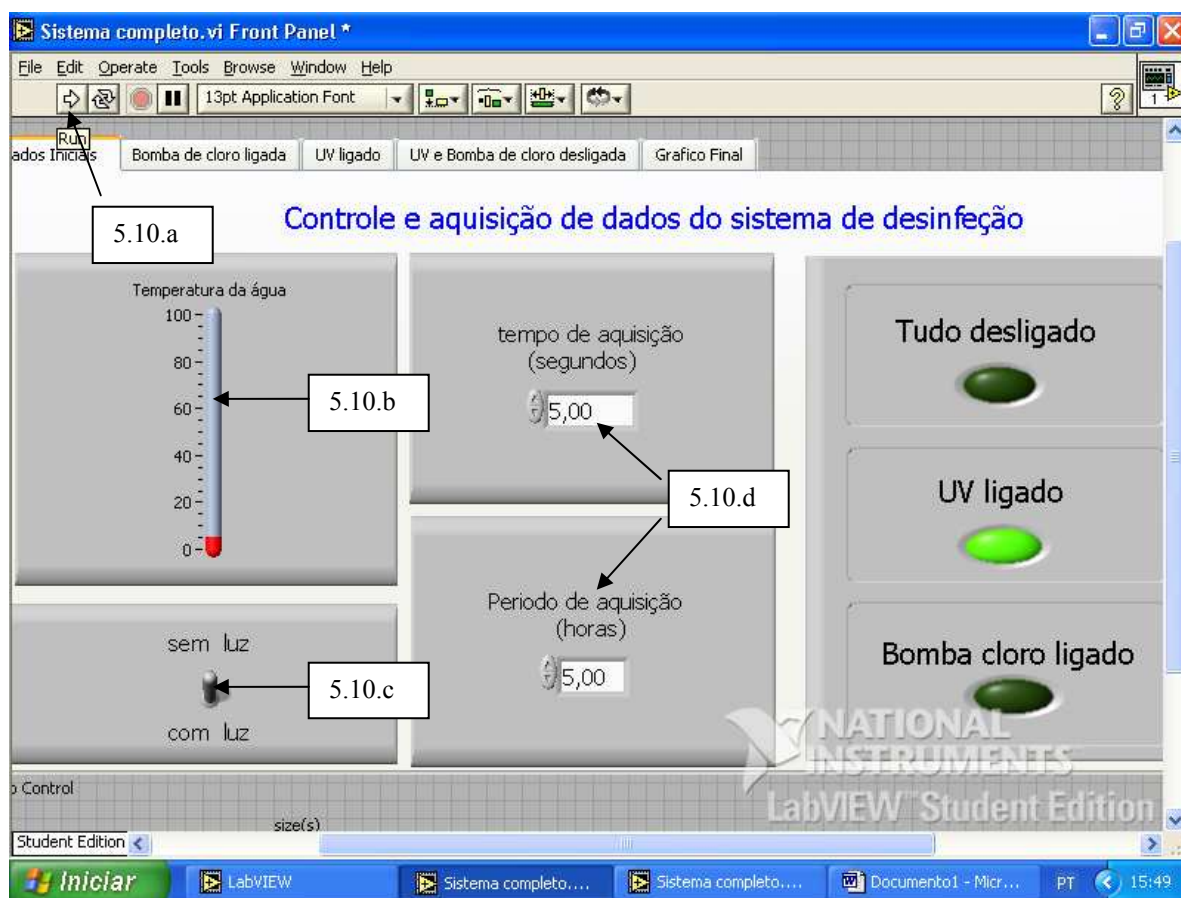


Figura 5.10. Painel frontal

Ainda na Figura 5.10, pode-se observar as seguintes ferramentas:

5.10.a Inicia o programa

5.10.b Entrada de dados da variável “temperatura”

5.10.c Campos que permitem inserção de tempo de aquisição dos pontos de amostragem e período de aquisição dos dados.

5.10.d Entrada de dados da variável “presença ou ausência de luz”

Na Figura 5.11 apresenta-se o diagrama de blocos, que contém a expressão da estrutura lógica do sistema de controle de acionamento e desligamento da bomba dosadora de cloro e do reator ultravioleta, conforme a entrada de informações sobre a temperatura da água no reator SODIS e luz solar.

O centro da estrutura lógica foi elaborado através dos fundamentos da álgebra booleana, porém, como o problema inicial derivava de três tipos de combinações, as saídas únicas: “verdadeira” e “falsa” não seriam suficientes para os três tipos de resposta necessários: acionamento da bomba cloro e desligamento do reator uv, acionamento do reator uv e desligamento da bomba cloro e desligamento de ambos os equipamentos. Deste modo, os “cases” foram dispostos um dentro do outro, gerando todas as respostas necessárias.

Na condição falsa, ou seja, temperatura menor que 50° C, o programa, automaticamente, avalia também a condição verdadeira ou falsa para a variável “luz”.

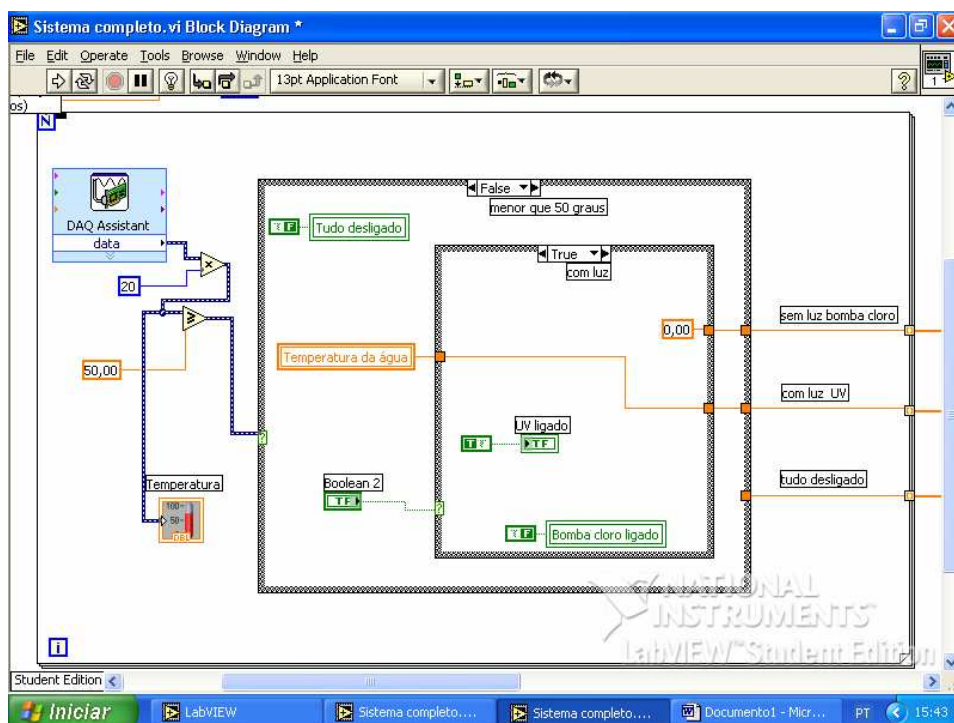


Figura 5.11. Diagrama de blocos

Então, se houver luz, será acionada a bomba cloro, o que aparecerá no painel frontal, conforme Figura 5.12.

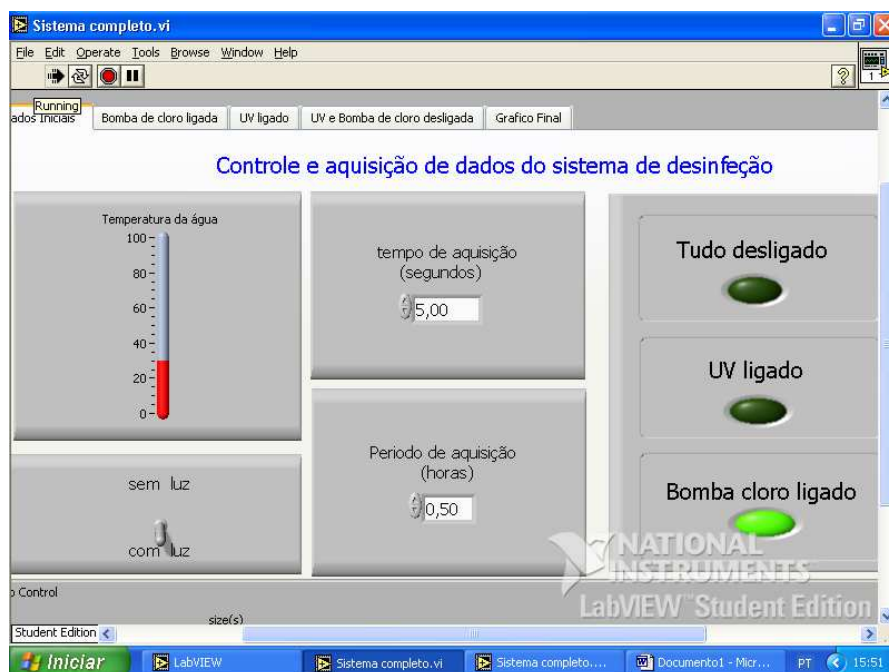


Figura 5.12. Painel frontal – condição temperatura menor que 50° C e com luz

Então, se não houver luz, será acionado o reator ultravioleta, o que aparecerá no painel frontal, conforme Figura 5.13.

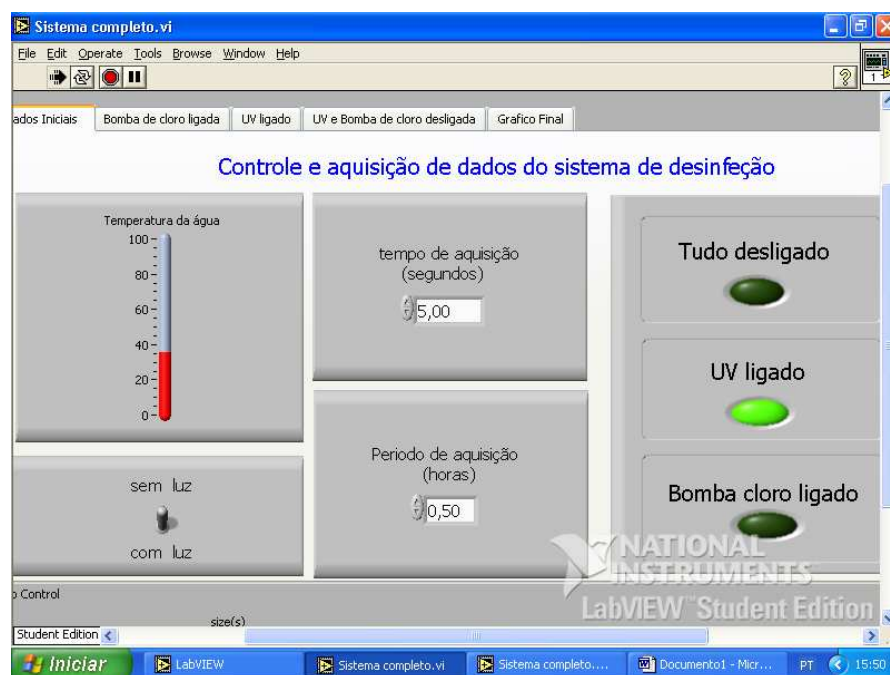


Figura 5.13. Painel frontal – condição temperatura menor que 50° C e sem luz

Na condição verdadeira (FIGURA 5.14), ou seja, temperatura maior que 50° C, o programa, automaticamente, desligará todos os equipamentos (FIGURA 5.15).

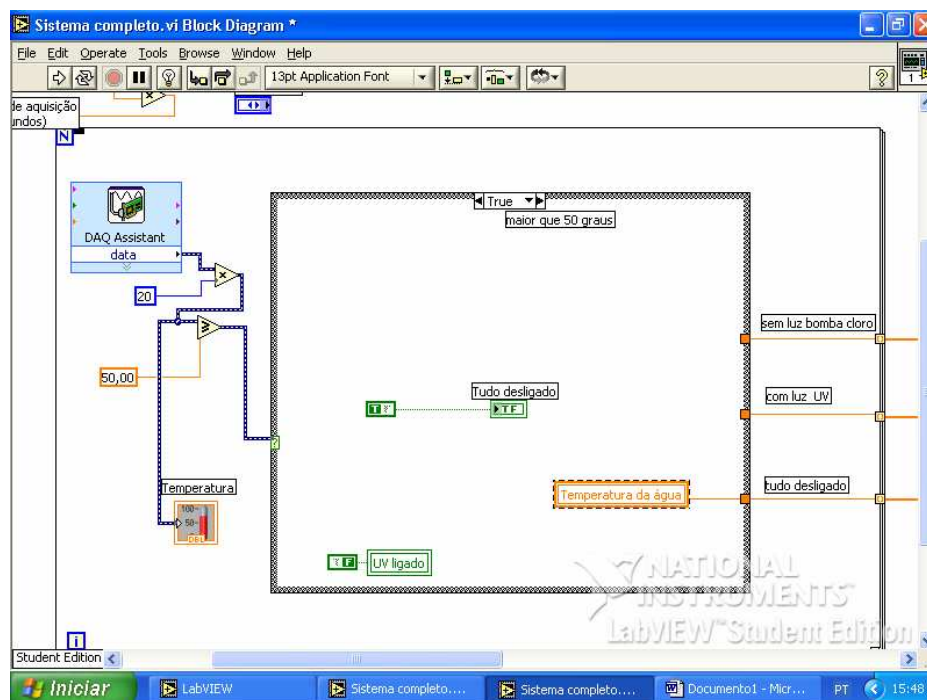


Figura 5.14. Diagrama de blocos – condição verdadeira / temperatura maior que 50° C

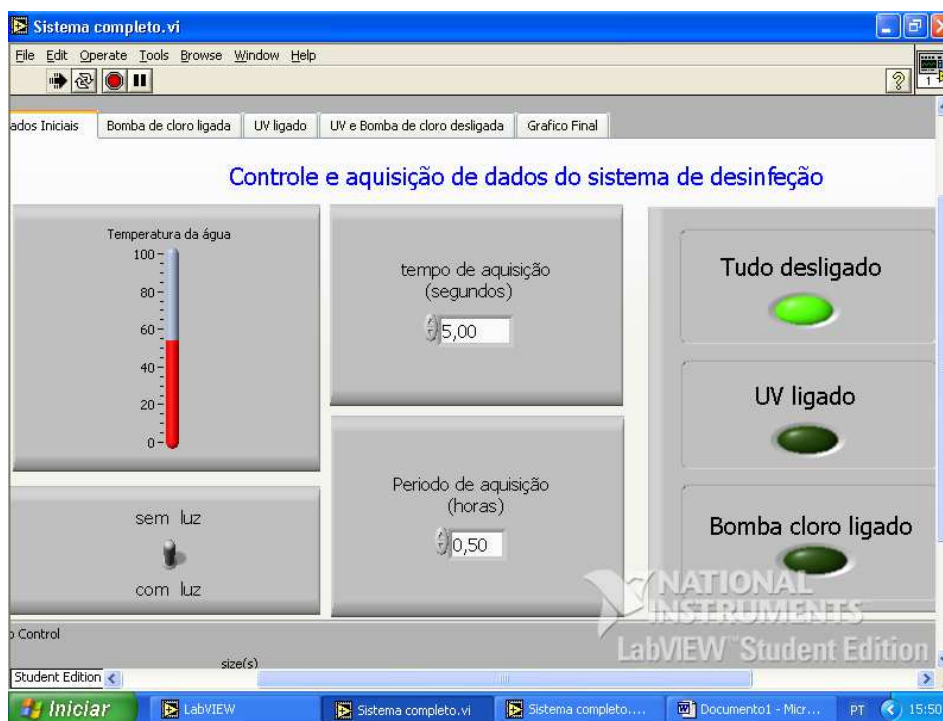


Figura 5.15. Painel frontal – condição temperatura maior que 50° C

A entrada de dados de temperatura é feita por um assistente de aquisição de dados (FIGURA 5.16), que transmite as informações externas – ligadas à placa, a critério do usuário. Estas informações podem variar conforme as especificações dos equipamentos externos. Neste caso, foi escolhido o sinal de voltagem, pois a temperatura foi simulada por um potenciômetro (0 a 5 volts). A presença de luz foi controlada manualmente no indicador do painel frontal.

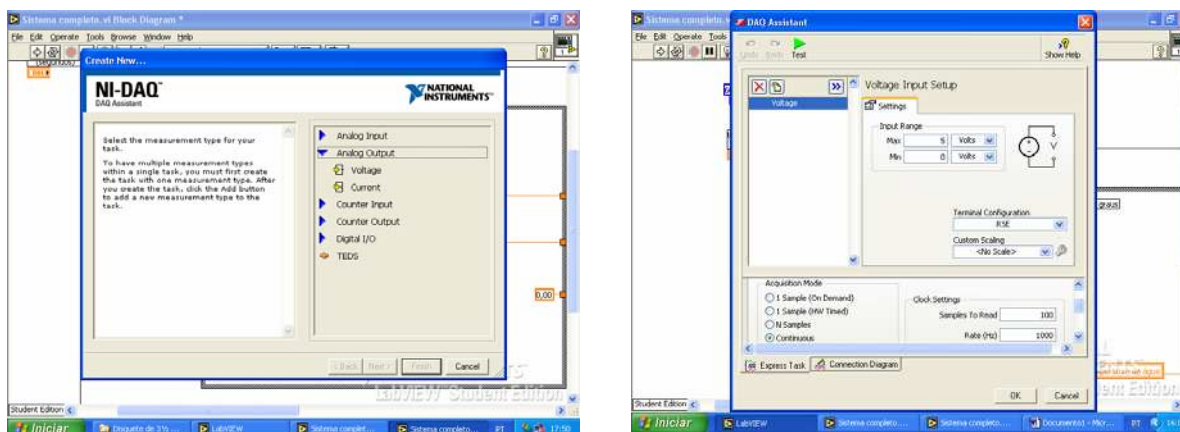


Figura 5.16. Caracterização da entrada de dados na placa

Como o sinal de entrada variava de 0 a 5 Volts, foram inseridos os dados de conversão para atingir a escala de 0 a 100 graus de temperatura e a condição principal de 50°C (FIGURA 5.17).

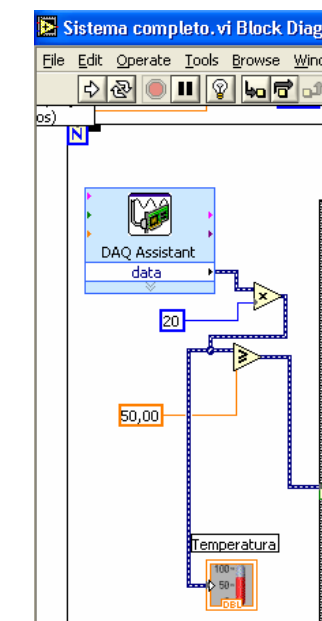


Figura 5.17. Assistente de aquisição de dados

5.6.2 Sistema de aquisição de dados

5.6.2.1 Programação

Toda inserção de dados temporais no sistema foi feita em segundos, com as respectivas escalas para atender as necessidades de tempo real em horas (FIGURA 5.18).

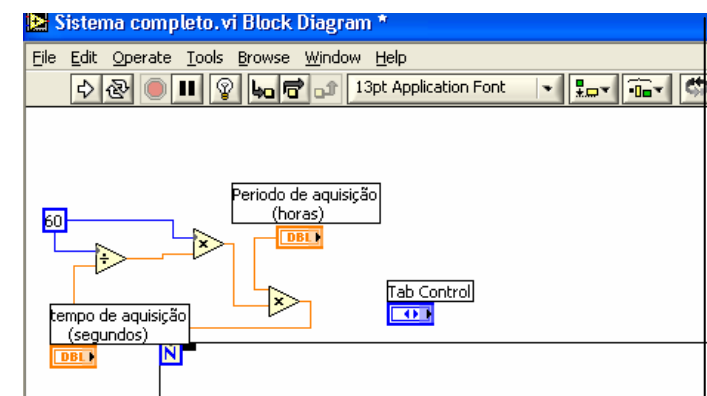


Figura 5.18. Inserção de dados temporais para aquisição

A Figura 5.19 representa a saída dos dados em forma vetorial, que é decomposta por ferramentas do sistema para impressão dos gráficos resultantes no painel frontal.

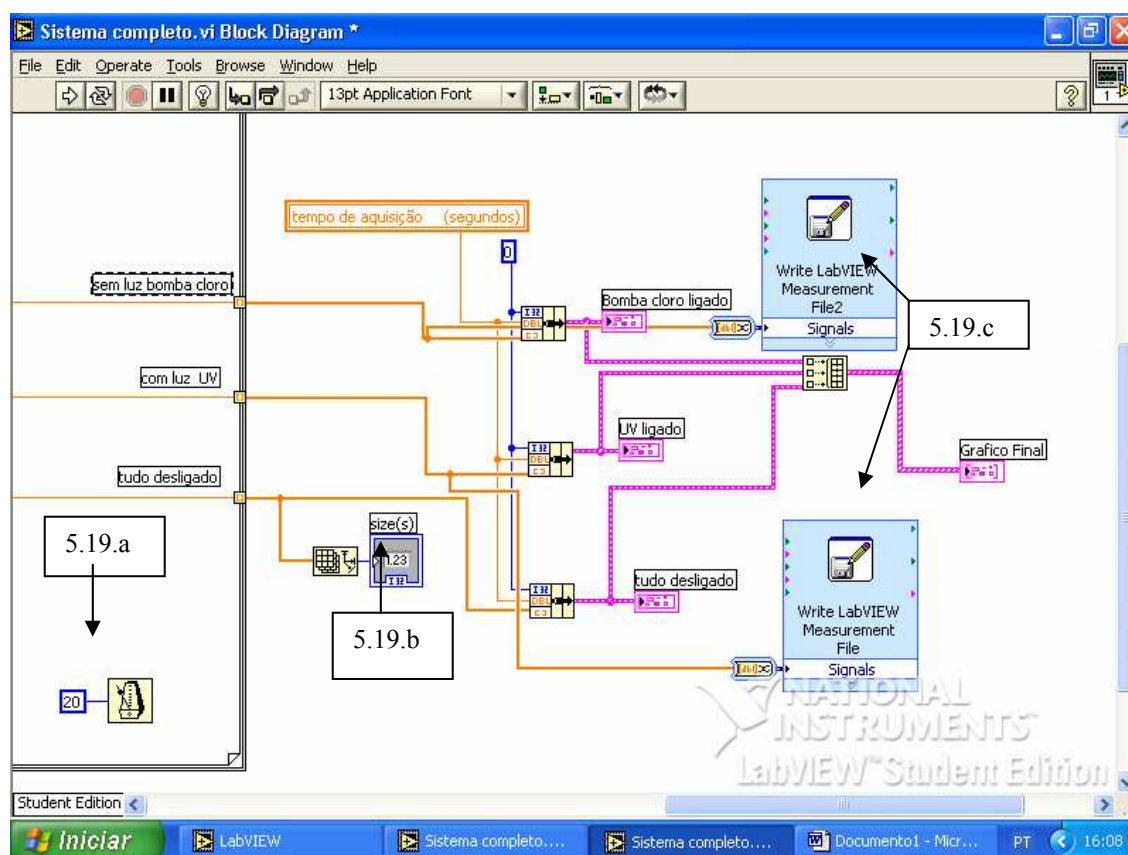


Figura 5.19. Saída dos dados e montagem dos gráficos

Ainda sobre a Figura 5.19, podemos destacar as seguintes ferramentas:

- 5.19.a Temporizador do sistema em milisegundos.
- 5.19.b Tamanho do vetor de pontos aquisitados.
- 5.19.c Registro dos dados em arquivo

O registro de dados pode ser acessado no Excell. (FIGURA 5.20)

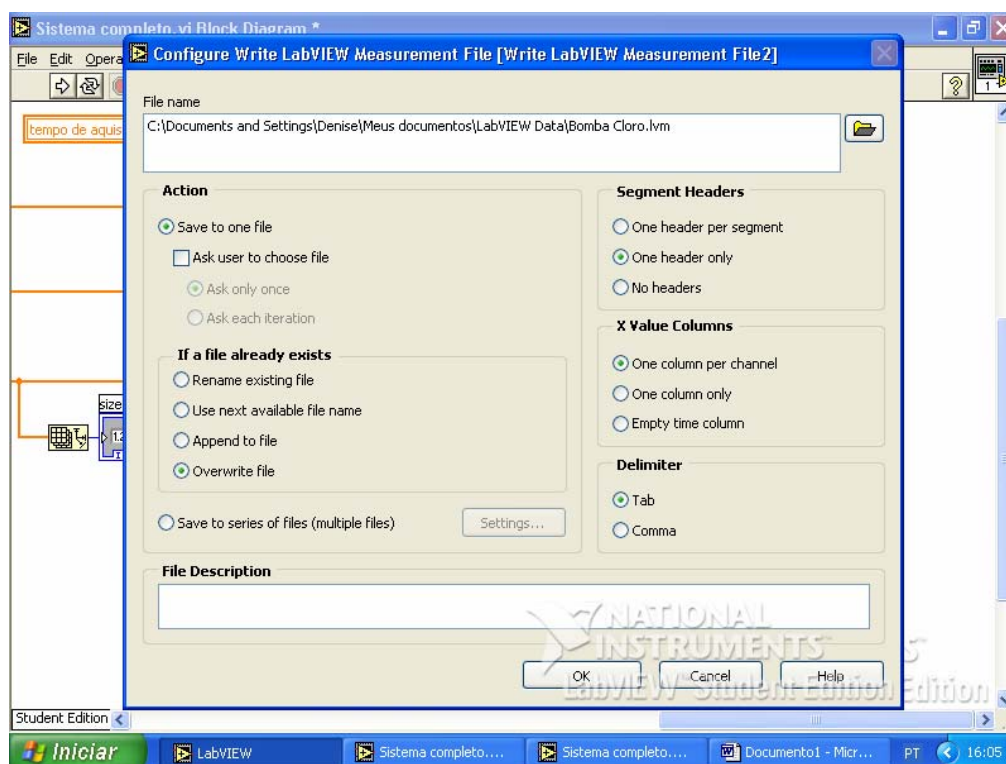


Figura 5.20. Endereço do arquivo para registro

A visualização gráfica dos resultados correspondentes ao período de aquisição, foi definida para as respostas individuais e para o conjunto, conforme demonstrado nas Figuras 5.21, 5.22, 5.23 e 5.24.



Figura 5.21. Gráfico do acionamento da bomba cloro.

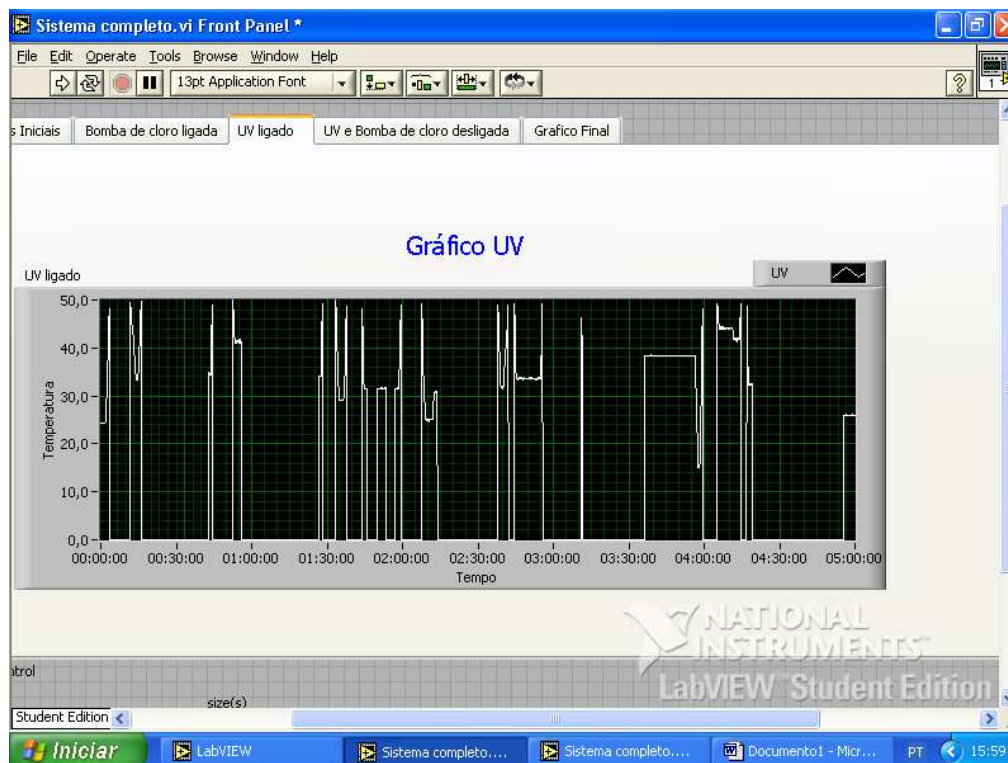


Figura 5.22. Gráfico do acionamento do reator ultravioleta.

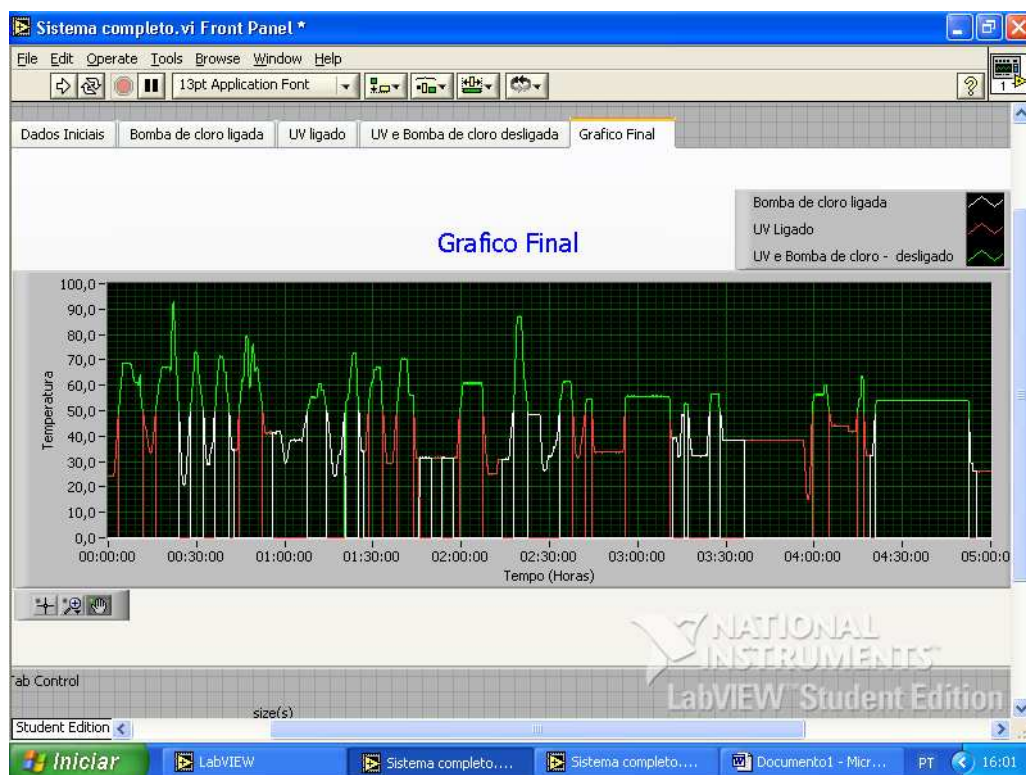


Figura 5.23 Gráfico final para um período de 5 horas de aquisição.

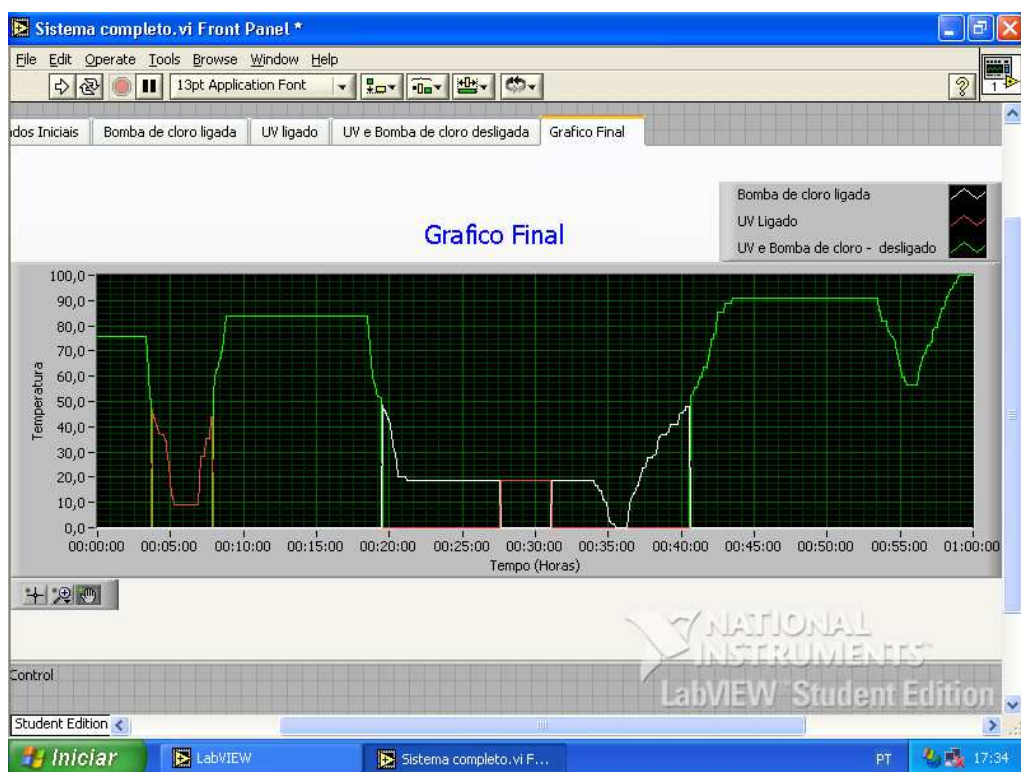


Figura 5.24 Gráfico final para um período de 1 hora de aquisição.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho realizado, conclui-se que:

Em média, as características de turbidez e cor aparente do afluente, limitantes à desinfecção solar da água, permaneceram em níveis satisfatórios ao longo dos ensaios.

Embora a temperatura da água no reator SODIS tenha ultrapassado 50° C em apenas um dos ensaios realizados, o sistema atingiu eficiência satisfatória para comprovar o potencial deste método em fluxo contínuo.

Os resultados obtidos demonstraram que o sistema de desinfecção solar da água atinge resultados significativos de inativação de microrganismos, porém, inferiores aos de cloração e radiação ultravioleta.

A eficiência média atingida pelo SODIS na inativação foi de 86,60% para Coliformes Totais e 89,55% para E. Coli.

A eficiência média da cloração na remoção de Coliformes Totais e E.Coli foi de 99,41% e 100%, respectivamente.

Na inativação por radiação ultravioleta, a eficiência média obtida foi de 91,91% e 98,98%, na remoção de Coliformes totais e E.Coli, respectivamente.

A exposição do reator à luz solar promove a rápida proliferação de algas em seu interior, aumentando os níveis de cor aparente do efluente.

Embora tenha ocorrido o pré-aquecimento do afluente por meio do trocador de calor, faltou a este equipamento o dimensionamento adequado para alcançar melhores resultados.

Considerar o redimensionamento do reator SODIS para um tempo de detenção que garanta o tempo de acréscimo da temperatura e permanência desta durante o período necessário à inativação dos microrganismos, é uma sugestão para futuras pesquisas.

Considerando a ausência de uma norma para classificação das águas de reuso, os resultados obtidos foram comparados à classificação dada pela Resolução CONAMA 357/05 quanto aos usos preponderantes definidos conforme as classes de corpos d'água. Nesta análise, meramente sugestiva, o efluente do sistema de desinfecção solar poderia ser enquadrado somente para usos menos exigentes dentro das classes 3 e 4 de padrões de qualidade da água, como irrigação de espécies arbóreas.

O equipamento de aquisição de dados atendeu às necessidades iniciais de controle dos equipamentos e armazenamento de dados. Considerando a capacidade de controle e armazenamento de dados do software utilizado, novos estudos que contemplem a elaboração de um sistema de automatização para a estação de tratamento como um todo seriam viáveis.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICALIL, M. T. **A Atual situação dos serviços de água e esgotos no Brasil**, Brasília, Fevereiro, 2001.

AISSE, M. M. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, ABES, 2000.

ANDRADE NETO, C.O. de, **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários: Experiência Brasileira**, Rio de Janeiro, ABES, 1997.

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

ARAFA, 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.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**, Prentice Hall, São Paulo, 2002.

BROCK, K. H.; DOERR, C. L.; MOORE, M.M. **Mutagenicity of three disinfection byproducts: di- and trichloroacetic acid chloralhydrate in mouse lymphoma cells**. USA: Elsevier Science, 1998. p. 265-276.

CAMPOS, J.R. et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro, ABES, 1999.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo (1977). **Sistemas de esgotos sanitários**. 2 ed., São Paulo. 467 p.

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.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**, vols. 1 e 2, ABES, Rio de Janeiro, 1993.

EAWAG / SANDEC – Swiss Federal Institute for Environmental Science & Technology, **SODIS NEWS**, Suíça, n. 4, 18 p., Maio / 1999

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

FERRAZ, C.F. **Influência da redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento**. Dissertação de Mestrado, FEC/UNICAMP, março/2001.

FERENCE JR., LEMOM, H.B., STEPHENSON, R.J., **Curso de Física: Ondas (som e luz)**, São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda, 224p., 1968

GRIFFIN, P. e UPTON, J. **Constructed wetlands: A strategy for sustainable wastewater treatment at small treatment works**. J. Chart. Inst. Water 13: (6) 441-446. 1999.

HESPANHOL, I. (1979) - **Investigação sobre o Comportamento e Aplicabilidade de Filtros Lentos do Brasil**. São Paulo, 163p. Tese (doutorado em higiene e saúde pública), Faculdade de Higiene e Saúde Pública – USP.

HESPANHOL, I. **Reúso de Água**, Cap. 3, São Paulo, Manole, 2003.

HUISMAN, L. **Research and Demonstration Project on Slow Sand Filtration**. Reprinted for the AIDIS Congress Health in Panama. 1982, 105p.

KATO, M.T., ANDRADE NETO, C.O., CHERNICHARO, C.A.L. de, FORESTI, E., CYBIS, L.F., **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Cap.3, Rio de Janeiro, ABES, 1999.

KEHOE, S.C., JOYCE, T.M., IBRAHIM, P., GILLESPIE, J.B., SHAHAR, R.A. AND MCGUIGAN, K.G. **Effect of Agitation, Turbidity, Aluminium Foil Reflectors and Volume on Inactivation Efficiency of Batch-Process Solar Desinfectors**. Water Research, vol. 35, n.4, p. 1061-1065, 2004.

KUUSEMETS, V e MANDER, U. **Ecotechnological measures to control nutrient losses from catchments**. Water Science And Technology N. 23 Pg. 8 Vol. 40 IS 10, 1999.

JORDÃO, E.P., PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro, ABES, 1995

LONDE, L.R. **Eficiência da Filtração Lenta no Tratamento de Efluentes de Leitos Cultivados**. Dissertação de Mestrado, FEAGRI – UNICAMP, Campinas, Abril/2002.

MANCUSO, P.C.S. e SANTOS, H.F. dos, **Reúso de Água**, São Paulo, Manole, 2003.

MANSOR, M.T.C., **Uso de leito de macrófitas no tratamento de águas residuárias**, Dissertação de Mestrado, Campinas, SP, 1998.

METCALF&EDDY, *Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse*. 3ª Edição. Singapore: Mc-Graw-Hill International Editions, 1991.

MEYER, Sheila T.. **O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública**. Cad. Saúde Pública., Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, 1994.

MOTTA MARQUES, D. da, **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Cap.15, Rio de Janeiro, ABES, 1999.

NBR 7229 (1993). **Projeto, Construção e Operação de Tanques Sépticos**. Rio de Janeiro, ABNT.

NBR 13.969 (1997). **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, ABNT.

NEWMAN, J.M., CLAUSEN, J.C., NEAFSEY, J.A. **Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut Ecological Engineering.**

N. 74, p. 18, Vol. 14, 2000.

NOUR, E. A. A. **Tratamento de esgoto sanitário empregando-se reator anaeróbio compartimentado.** São Carlos: EESC, USP, 1996. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996, 148p.

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.

LUTTENBARCK, B.B., COSTA T.C.R., **Água, Saúde e Desinfecção**, Série Manuais, n.13, CETESB, São Paulo, 59p., 1994.

OPAS (Organización Panamericana de la Salud), 1987. **Guias para la Calidad del Agua Potable.** Volumes I, II e III. Genebra: Opas.

PATERNIANI, J. E. S. **Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento.** Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, 1991.

PATERNIANI, J. E. S. ; CONCEIÇÃO, C. H. Z. da. **Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades.** Engenharia Ambiental Pesquisa e Tecnologia, Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 1, n. 1, p. 17-24, 2004.

PIRES, M.R. **Desinfecção de Esgotos com Radiação Ultravioleta: Influência da Qualidade do Efluente e da Fotorreativação**, Tese de Doutorado, FEC/Unicamp, 2002.

PORTARIA MS Nº 518, de 25 de março de 2004, <http://www.saude.gov.br>, junho 2004.

REIFF, F.M. e WITT, V.M. **Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección dela agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe**. Division de Saud y Ambiente, Série Técnica No. 30, OPAS/OMS, Washington, EUA, 227p, 1995.

RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005, www.mma.gov.br, junho 2004.

RICHTER, C.A., AZEVEDO NETO, J.M., **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada**. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 332p, 1991.

SAITOH, T.S., EL-GHETANY, H.H. **Pilot Solar Water Desinfection System: Performance Analysis and Testing**. *Solar Energy*, vol. 72, nº 3, p. 261-269, 2002.

SOMMER, B. **An emerging water treatment process**, *Journal do Water Suply: Research and Technology – Aqua*, v. 46, n3, p. 127-137, 1997.

SILVA, M.J.M. da, **Desinfecção de água utilizando energia solar (SODIS)**. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 2004.

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

TARDIFF, R. G. **Health effects of organics: risk and hazard assessment of ingest chloroform**. 1979.

VILLANUEVA, C. M.; KOGERVINAS, M.; GRIMALT, J. O. Cloración del agua potable em Espanã y cáncr de vejiga. **Gaceta Sanitaria**, Barcelona, p. 48-53, 2000.

SOUZA, J. T.; ARAÚJO, H.W.C.; CATUNDA, P.F.C. - **Reuso de Esgotos Sanitários para a Agricultura**. PROSAB, CCT/UFPB, Campina Grande , PB, 1999.

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.

U.S.E.P.A. Design Manual on Constructed Wetlands and aquatic plant systems for Municipal wastewater Treatment. EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati – OH/USA, 1988, 83 p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996.

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

WESTERHOFF(1984) apud BREGA FILHO (2003), **Reúso de Água**, São Paulo, Manole, 2003.

WOOD, R.B. e McATAMNEY,C.F. **Constructed Wetlands for Wastewater treatment: the use of laterite in the bed medium in phosphorus and heavy metal removal**. Hidrobiologia, vol. 340, 1996, p. 323-331.

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

_____; **Climatic Conditions: Solar Radiation**, Technical Note #5, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; <http://www.ni.com/labview/> junho/2004

_____; **Materials: Ageing Effects on PET Bottles**, Technical Note #3, <http://www.sodis.ch> junho /2004

_____; **Materials: Bottles vs. Bags**, Technical Note #4, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **Materials: Plastic versus Glass Bottles**, Technical Note #2, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; http://www.finep.gov.br/Prosab/4_consumo_unicamp.htm

_____; **SODIS Efficiency: Covered Sky Conditions**, Technical Note #11, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS Efficiency: Influence of Turbidity**, Technical Note #10, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS Efficiency: Laboratory versus Field Conditions**, Technical Note #12, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS Efficiency: The Process**, Technical Note #9, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS in Brief**, Technical Note #1, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS Use: Acceptance**, Technical Note #15, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS Use: Application Procedure**, Technical Note #13, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS Use: Costs**, Technical Note #16, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS Use: SODIS Bags and Temperature Sensors**, Technical Note #17, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **SODIS Use: Guideliness to Increase Efficiency**, Technical Note #14, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **Water Quality: Oxygen Concentration**, Technical Note #8, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

_____; **Water Quality: Turbidity and Water Depth**, Technical Note #7, <http://www.sodis.ch>, junho /2004

APÊNDICE

**RESULTADOS DE PH, TURBIDEZ E COR APARENTE DO EFLUENTE DA
FILTRAÇÃO LENTA (FL)**

Data	Turbidez (UNT)	pH	Cor aparente mg([Pt-Co].L-1)
7/fev	2	7,12	50
8/fev	2	7,32	43
9/fev	1	7,25	41
10/fev	2	7,2	53
13/fev	4	7,21	56
14/fev	2	7,02	51
15/fev	1	7,2	43
17/fev	2	7,17	66
20/fev	5	7,33	86
21/fev	8	7,33	90
22/fev	1	7,39	61
23/fev	2	7,4	66
6/mar	1	7,44	42
7/mar	2	7,41	49
8/mar	1	7,37	36
9/mar	3	7,43	64
13/mar	2	7,41	62
14/mar	4	7,1	82
15/mar	12	7,45	95
16/mar	3	7,43	44
21/mar	3	7,46	73
27/mar	2	7	63
28/mar	4	6,96	81
3/abr	2	7,32	67
4/abr	4	7,17	88
5/abr	6	7,3	88
19/abr	4	7,18	71
25/abr	1	7,31	81
26/abr	15	7,19	90
2/mai	3	7,46	45
3/mai	2	7,33	63
4/mai	4	7,36	54
11/mai	5	7,26	51
Máxima	15	7,46	95
Média	3,48	7,2865	63,48
Mínima	1	6,96	45
D.Padrão	3,06	0,1391	17,22

**RESULTADOS DE TURBIDEZ (UNT) E pH
DO EFLUENTE DO REATOR SODIS**

Turbidez		
	Afluente SODIS	Efluente SODIS
13/mar	2	4
14/mar	1	3
15/mar	2	2
16/mar	2	2
20/mar	5	2
21/mar	8	2
27/mar	1	2
28/mar	2	1
18/abr	3	13
19/abr	2	4
25/abr	4	4
26/abr	12	8
3/mai	3	6
4/mai	3	15
29/mai	4	3
30/mai	6	5
31/mai	12	8
20/jun	4	3
23/jun	1	2
MÁXIMA	12	13
MÉDIA	4,45	5,10
MINIMA	1	1
Desvio Padrão	3,32	3,84

Ph SODIS		
Data	Afluente Sodis	Efluente Sodis
08/fev	7,32	7,6
09/fev	7,25	7,57
10/fev	7,2	7,46
17/fev	7,17	7,28
20/fev	7,33	7,58
21/fev	7,33	7,54
22/fev	7,39	7,66
23/fev	7,4	7,69
09/mar	7,43	7,71
13/mar	7,41	7,75
14/mar	7,1	7,49
15/mar	7,45	7,85
16/mar	7,43	7,69
21/mar	7,46	7,49
28/mar	6,96	7,46
17/abril	7,18	6,61
19/abril	7,31	7,29
25/abril	7,19	7,46
26/abril	7,46	7,58
17/maio	7,45	7,45
MÁXIMA	7,46	7,85
MÉDIA	7,31	7,51
MÍNIMA	6,96	6,61
Desvio Padrão	0,14	0,26

RESULTADOS DE COR APARENTE DO EFLUENTE DO REATOR SODIS
Cor aparente mg([Pt-Co].L-1)

Data	Afluente SODIS	Efluente SODIS
13/mar	43	40
14/mar	41	58
15/mar	53	48
16/mar	66	69
20/mar	86	64
21/mar	90	57
27/mar	61	64
28/mar	66	57
18/abr	64	127
19/abr	62	86
25/abr	82	60
3/mai	95	113
4/mai	73	146
29/mai	81	92
30/mai	71	74
31/mai	81	85
20/jun	45	57
Máxima	95	146
Média	69,72	80,17
Mínima	41	40
Desvio Padrão	16,43	28,93

RESULTADOS DO TROCADOR DE CALOR

Temperatura da água ° C			
Data	Saída FL	Saída Trocador Calor	Saída SODIS
13/mar	26,80	30,10	39,40
14/mar	27,00	33,00	47,00
15/mar	27,30	36,50	52,50
16/mar	24,60	30,00	42,00
21/mar	26,00	29,20	45,40
27/mar	23,70	27,60	42,10
28/mar	26,30	29,30	43,20
3/abr	22,30	25,80	38,00
19/abr	22,70	25,50	28,20
26/abr	23,50	28,50	34,20
2/mai	16,40	21,50	25,20
4/mai	25,00	28,50	34,20
11/mai	20,90	26,50	33,60
17/mai	19,90	20,40	30,60
Máxima	26,80	36,50	52,50
Média	23,74	28,03	38,26
Mínima	16,40	20,40	25,20
Desvio Padrão	3,12	4,14	7,70

LEITURA DA TEMPERATURA DA ÁGUA E DADOS DE RADIAÇÃO INCIDENTE

Data	Temp. da água °C		Temp. ar °C	Rad i. KW/m2
	Ent SODIS	Saída SODIS		
13/mar	32,1	39,4	31,5	361,6
14/mar	33	47	32,4	375,2
15/mar	36,5	52,5	31,5	349,7
16/mar	30	42	30,7	299,3
20/mar	29,2		31,5	308,9
21/mar	27,6	45,4	30,2	320
27/mar	29,3	43,2	31,5	316,4
28/mar	22,3	42,1	30,2	348,4
18/abr				
19/abr	22,7	25,2		
25/abr	21,5	43,2	30,4	281,4
26/abr	28,5	38	29,2	250
3/mai	15		23,4	274,5
4/mai	20,9	42	23,3	271,3
29/mai	19,9		20,7	
30/mai			24,0	
31/mai	26,5	33,6	20,1	229,9
20/jun	20,4	30,6	20,7	133,3
20/jun			24,0	
27/jun			20,7	
Máxima	36,5	52,5	32,4	375,2
Média	25,96	40,32	24,4	294,28
Mínima	15	25,2	20,1	133,3

RESULTADOS DE PH, TEMPERATURA E TURBIDEZ DO EFLUENTE DA CLORAÇÃO

	pH Cloração	Turbidez (UNT)
Data		
07/fev	6,69	5
08/fev	7,24	2
09/fev	7,14	2
10/fev	7,45	3
13/fev	7,38	3
14/fev	6,95	3
15/fev	6,74	2
17/fev	7,06	3
20/fev	7,34	4
21/fev	7,13	4
22/fev	7,01	3
23/fev	7,01	3
06/mar	7,42	6
07/mar	7,36	2
08/mar	7,46	1
09/mar	7,55	3
13/mar	7,09	2
14/mar	7,21	5
15/mar	7,29	8
16/mar	7,41	3
21/mar	7,42	4
27/mar	7,03	3
28/mar	6,8	5
03/abril	6,9	2
04/abril	7,09	5
05/abril	7,1	3
17/abril	6,4	4
19/abril	7,23	4
25/abril	7,16	3
02/maio	7,22	2
03/maio	12,4	2
04/maio	6,02	3
11/maio	6,58	3
17/maio	7,89	2
Média	7,27	3,29
Máxima	7,89	8
Mínima	6,02	1
Desvio Padrão	0,97	1,40

Resultados das análises microbiológicas								
Data	Coliformes Totais				E. Coli			
	Efluente Filtro Lento	Efluente cloração	Saída SODIS	Efluente UV	Efluente Filtro Lento	Efluente cloração	Saída SODIS	Efluente UV
	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL
13/mar	9,21E+03	0,00E+00	2,61E+03		5,17E+03	0,00E+00	1,14E+03	
14/mar	1,99E+05	1,87E+02	1,79E+03		6,87E+04	0,00E+00	1,65E+03	
15/mar	2,42E+06	0,00E+00	2,40E+05		2,65E+04	0,00E+00	1,79E+03	
16/mar	2,76E+05	3,33E+03	2,16E+04		9,80E+03	0,00E+00	1,87E+02	
20/mar	2,42E+06	0,00E+00			1,30E+06	0,00E+00		
21/mar	1,36E+05	8,60E+03	5,01E+04		8,30E+04	0,00E+00	2,22E+03	
27/mar	1,50E+04	0,00E+00			1,86E+04	0,00E+00		
28/mar	9,09E+04	0,00E+00	9,13E+03		9,21E+03	0,00E+00	8,30E+03	
18/abr	4,2E+04	0,00E+00		1,87E+02	2,9E+03	0,00E+00		0,00E+00
19/abr	2,16E+04	0,00E+00		1,0E+03	2,98E+03	0,00E+00		6,2E+02
25/abr	1,19E+04	0,00E+00	3,41E+03	0,00E+00	8,60E+03	0,00E+00	3,09E+03	0,00E+00
26/abr	1,99E+04		1,55E+03	1,14E+02	9,21E+03		1,79E+03	0,00E+00
3/mai	3,10E+04			3,17E+04	2,00E+04			0,00E+00
4/mai	2,16E+04		0,00E+00	0,00E+00	1,73E+04		0,00E+00	0,00E+00
29/mai	3,26E+04			0,00E+00	1,53E+04			0,00E+00
30/mai	4,10E+04		2,04E+04	0,00E+00	3,26E+04		0,00E+00	0,00E+00
31/mai	5,20E+04		4,10E+04	1,4E+04	3,16E+04		2,00E+04	3,0E+02
20/jun	4,88E+04			1,0E+03	3,45E+04			6,2E+02
20/jun	5,79E+04			6,30E+02	3,65E+04			1,00E+02
27/jun	2,48E+04			1,48E+03	1,38E+04			3,10E+02
Máxima	2,42E+06	8,60E+03	2,40E+05	3,17E+04	1,30E+06	0,00E+00	2,00E+04	6,20E+02
Média	2,98E+05	1,10E+03	3,56E+04	4,20E+03	8,73E+04	0,00E+00	3,65E+03	1,63E+02
Mínima	9,21E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,9E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Desvio Padrão	7,29E+05	2,68E+03	6,99E+04	9,54E+03	2,86E+05	0,00E+00	5,89E+03	2,43E+02

ANEXOS

Descrição dos dados distribuídos nos Arrays

Estação Sinótica

111 - Dados a cada 10 minutos

333 - Dados Sinóticos. 7, 9, 14, 15 e 21 horas

265 - Dados das 7 as 7 horas

222 - Dados diários

	Dados de 10 minutos		Dados diários		Dados sinóticos		Dados de chuva
A	111	A	222	A	333	A	265
B	Ano	B	Ano	B	Ano	B	Ano
C	Dia Juliano	C	Dia Juliano	C	Dia Juliano	C	Dia Juliano
D	Hora - minuto	D	Hora - minuto	D	Hora - minuto	D	Hora - minuto
E	Veloc. Instantânea do Vento a 5 metros (m/s)	E	Veloc. máxima do Vento a 5 metros (m/s)	E	Veloc. Instantânea do Vento a 5 metros (m/s)	E	Chuva das 7 h as 7 h
F	Veloc. Instantânea do Vento a 2 metros (m/s)	F	Veloc. máxima do Vento a 2 metros (m/s)	F	Veloc. Instantânea do Vento a 2 metros (m/s)	F	Temperatura do Ar máxima do dia °C
G	Direção do Vento no instante da aquisição (°)	G	Direção do Vento no instante da veloc. Máx.(°)	G	Direção do Vento no instantânea (°)	G	Horário de ocorrência da Temp. Ar máxima
H	Radiação Incidente total de 10 leituras (KW/m2)	H	Horário de ocorrência vr máx. veloc. do vento	H	Umidade relativa Instantânea (%)	H	Temperatura do Ar Mínima do dia (°C)
I	Radiação Refletida Total de 10 leituras (KW/m2)	I	Radiação Incidente Total do dia (KW/m2)	I	Temperatura do Ar Instantânea (°C)	I	Horário de ocorrência da Temp. Ar mínima
J	Fluxo Positivo de calor no solo total de 10 leituras (W/m2)	J	Radiação Refletida Total do dia (KW/m2)	J	Pressão	J	Umidade máxima
K	Fluxo negativo de calor no solo . total de 10 leituras (W/m2)	K	Fluxo positivo de calor no solo Total do dia (KW/m2)			K	Hora
L	Umidade relativa Média (%)	L	Fluxo Negativo de calor no solo. Total do dia (KW/m2)			L	Umidade mínima
M	Temperatura do Ar Média (°C)	M	Temperatura do Ar Máxima do dia (°C)			M	Hora
N	Temperatura do solo 1 Média (°C)	N	Horário de ocorrência da Temp. Ar Máxima(°C)				
O	Temperatura do solo 2 Média (°C)	O	Temperatura do Ar Mínima do dia (°C)				
P	Temperatura do solo 3 Média (°C)	P	Horário de ocorrência da Temp. Ar Mínima				
Q	Pressão	Q	Temperatura do Solo 1 Máxima do dia (°C)				
R	Chuva total do período (mm)	R	Horário de ocorrência da Temp. Solo 1 Máxima.				
		S	Temperatura do Solo 1 Mínima do dia (°C)				
		T	Horário de ocorrência da Temp. Solo 1 mínima				
		U	Chuva total do dia (mm)				

CEPAGRI/UNICAMP –ESTAÇÃO METEOROLÓGICA - MÊS - MARÇO 2006 - HORÁRIO 24 HORAS - TIPO DE DADO -222																		
dia	Dia	V5	V2	Dir.	hora	rad.i.	rad.r.	cal.+	cal.-	tmax	hora	tmin	hora	tsolo+	hora	tsolo-	hora	chuva
1	60	6,463	5,168	135	1927	384,1	48,23	26,49	-20,3	33,8	1506	20,8	442	32,53	1513	24,48	658	11,9
2	61	3,795	3,05	199	1525	389,8	49,88	26,55	-17,5	33,5	1514	19,8	551	33,73	1500	24,74	711	0,3
3	62	8,89	7,09	141	2041	372,5	51,04	23,49	-19	34,1	1441	20,5	505	33,59	1542	25,72	705	9,4
4	63	4,619	3,638	231	2037	339,6	43,78	20,74	-21,3	34,4	1527	20,3	2349	33,11	1453	25,22	2346	36,3
5	64	4,658	3,481	199	1632	293,8	36,23	13,53	-14,5	29,7	1438	19,9	406	30,24	1508	25,02	620	0,5
6	65	6,227	5,286	147	1725	256,2	29,4	10,93	-16,2	30,9	1525	19,7	2351	30,24	1544	25,72	2352	13,7
7	66	4,501	3,913	250	117	225	24,98	10,62	-17	27,8	1711	17,5	616	28,09	1648	22,48	155	40,6
8	67	4,619	3,717	252	1329	396,3	67,3	22,23	-15,3	31,8	1447	18,6	608	31,64	1523	23,54	711	0,0
9	68	3,874	3,285	294	1407	367,1	62,51	20,35	-16,9	32,9	1457	18,0	611	31,87	1514	24,18	708	0,0
10	69	8,89	6,659	163	1412	285,9	42,46	12,56	-20,6	31,7	1312	20,1	2024	31,44	1333	25,11	2356	11,9
11	70	6,659	5,874	152	2031	391,3	69,14	13,61	-20,7	29,4	1500	19,1	617	29,83	1454	23,35	736	0,5
12	71	6,267	5,129	151	1806	366,9	63,92	14,49	-20	29,5	1515	18,9	501	30,03	1438	23,07	713	0,0
13	72	5,325	4,266	144	1800	361,6	66,72	17,91	-18,6	31,5	1459	17,4	557	30,66	1526	23,13	738	0,0
14	73	4,619	3,874	123	2158	375,2	68,11	20,96	-18,6	32,4	1557	18,5	614	31,83	1531	23,29	654	1,0
15	74	3,521	2,736	315	1329	349,7	64,9	19,9	-15,3	31,5	1444	20,0	556	32,09	1446	24,21	620	0,0
16	75	3,874	2,736	1,37	1103	299,3	50,26	14,61	-13,5	30,7	1638	21,1	312	31,05	1427	25,58	643	0,3
17	76	3,442	2,344	313	1426	345,3	62,94	19,93	-18,5	31,9	1524	20,0	348	31,7	1502	24,5	712	0,3
18	77	4,344	3,521	147	1819	329,1	59,25	19,09	-19	31,8	1618	20,0	628	31,48	1404	25,01	640	0,0
19	78	3,874	3,324	360	1522	352,5	66,29	21,59	-19,4	31,6	1455	19,0	617	32,19	1500	24,67	651	0,0
20	79	4,384	3,168	337	1156	308,9	53,03	18,11	-18,4	31,5	1553	19,0	2333	31,55	1529	21,18	2313	49,0
21	80	3,403	3,05	133	1933	320	55,8	25,39	-15,6	30,2	1520	19,0	40	30,89	1503	21,66	1	5,1
22	81	4,972	3,795	266	1240	241,6	35,77	13,02	-23	31,6	1158	21,0	2011	30,77	1232	24,7	642	2,3
23	82	5,05	4,031	275	1503	319,5	53,94	21,18	-17,3	31,3	1408	20,0	501	31,38	1423	24,13	710	0,0
24	83	4,776	3,285	301	1630	262,2	39,16	13,15	-17,6	31,5	1338	19,8	601	29,94	1347	24,67	638	2,8
25	84	4,148	3,285	301	1242	293,8	49,78	18,76	-19,7	31,2	1534	19,7	2347	30,79	1518	24,48	2347	20,1
26	85	6,384	5,56	123	1532	264,5	44,11	6,95	-23	26,4	1239	19,4	318	27,61	1533	23,86	2346	0,3
27	86	5,05	4,031	163	1224	316,4	58,73	16,82	-20,1	29,8	1447	19,4	528	29,38	1523	22,85	715	0,0
28	87	3,638	2,697	309	1303	348,4	69,91	24,66	-18,3	32,0	1502	19,8	613	31,42	1504	23,37	715	0,3
29	88	8,07	5,757	302	1223	128,2	4,931	0,534	-24,1	23,8	919	18,3	1221	26,18	9	22,11	1346	55,1
30	89	5,09	4,933	112	1148	284,5	49,35	16,06	-18,9	28,1	1429	18,9	606	28,7	1437	22,35	715	0,5
31	90	6,541	5,521	133	1842	339,3	67,9	20,57	-25,9	29,7	1458	18,1	607	29,6	1427	21,55	658	0,0
	Média	5,16	4,14	209	1520	319,6	51,9	17,57	-18,8	30,9	xx	19,4	xx	30,8	xx	23,9	xx	262,1
	Máx.	8,89	7,09	360	2158	396,3	69,9	26,55	-13,5	34,4	1711	21,1	2351	33,7	1648	25,7	2356	55,1
	Mín.	3,40	2,34	1,37	117	128,2	4,9	0,534	-25,9	23,8	919	17,4	xx	26,2	9	21,2	1	0,0

CEPAGRI/UNICAMP –ESTAÇÃO METEOROLÓGICA - MÊS - ABRIL 2006 - HORÁRIO 24 HORAS - TIPO DE DADO -222																		
dia	Dia	V5	V2	Dir.	hora	rad.i.	rad.r.	cal.+	cal.-	tmax	hora	tmin	hora	tsolo+	hora	tsolo-	hora	chuva
1	91	6,07	5,247	12,6	2201	343,1	70,1	22,12	-24,9	30,2	1520	17,3	546	30,1	1450	21,7	724	0,0
2	92	4,854	4,501	145	2247	306,8	57,25	19,17	-22,7	30,7	1346	19,3	310	30,6	1435	22,5	701	0,0
3	93	5,757	5,129	143	1744	303,1	56,97	14,79	-26,9	28,8	1342	17,5	2344	28,6	1348	22,2	719	0,0
4	94	5,05	4,541	89,2	2102	307,8	60,74	17,34	-28,3	28,6	1435	15,9	540	28,5	1443	20,9	639	0,0
5	95	3,521	2,854	12,6	9	258	45,73	15,91	-20,5	28,0	1401	17,0	338	28,0	1430	21,4	719	0,0
6	96	3,246	2,736	193	1452	196,3	25,49	10,82	-16,5	28,3	1227	19,0	2354	27,7	1259	22,8	713	6,1
7	97	2,893	1,912	34,8	1100	200,4	24,5	12,26	-15,5	26,7	1522	17,2	627	27,1	1535	22,2	702	0,0
8	98	5,168	3,834	251	1446	221,5	33,95	13,33	-16,8	27,7	1405	17,8	647	27,3	1421	22,1	708	0,0
9	99	4,501	3,403	162	2227	298,7	58,21	24,1	-20,7	31,2	1534	17,9	529	30,0	1524	22,1	724	11,9
10	100	4,187	3,128	203	1309	297,6	58,6	21,23	-21,1	29,1	1329	16,3	613	29,2	1412	22,0	722	0,0
11	101	5,639	3,952	256	1442	280,6	51,56	15,02	-19,9	28,2	1413	18,7	550	28,5	1435	23,2	632	0,0
12	102	4,187	3,599	314	1355	313,3	64,2	22,18	-23	29,5	1556	15,5	614	29,4	1447	21,6	718	0,0
13	103	3,991	2,579	284	1416	309,2	63,87	22,27	-25,5	29,6	1415	15,6	636	29,6	1414	21,6	726	0,0
14	104	3,677	2,108	275	1243	310,8	64,29	22,07	-25,5	29,9	1621	16,7	721	29,5	1447	20,5	722	0,0
15	105	3,834	3,285	63,9	2219	257,3	47,02	17,04	-22,5	29,9	1440	17,3	715	29,0	1749	20,8	715	0,0
16	106	4,737	4,305	119	2025	137	6,114	1,747	-19,8	26,4	630	18,8	1430	28,9	631	21,6	730	7,4
17	107	7,56	6,07	140	1427	187,1	19,88	1,312	-24,3	25,8	650	18,5	805	28,2	637	20,2	806	0,5
25	115	3,874	3,324	52,7	124	281,4	56,13	-202	-17,9	30,4	1416	18,0	607	28,6	1434	20,7	706	0,0
26	116	5,286	4,697	255	1315	250	47,18	-239	-19,7	29,2	1334	17,3	631	27,6	1501	21,3	652	0,0
27	117	5,207	4,619	144	1037	268,6	49,91	-325	-24,7	26,9	1355	16,6	2400	27,4	1403	20,4	735	0,0
28	118	5,05	4,619	122	849	281,6	57,31	-307	-27,2	26,8	1437	14,4	559	26,7	1458	19,1	724	0,0
29	119	3,913	3,089	153	38	261,2	48,54	-250	-22,3	28,4	1419	15,4	613	27,4	1424	19,4	715	0,0
30	120	4,07	3,168	231	1304	263,5	51,08	-322	-22,5	27,4	1435	15,9	512	27,1	1426	20,0	733	0,0
	Média	4,62	3,77	159	1375	266,7	48,6	-59,6	-22,1	28,6	xx	17,1	xx	28,5	xx	21,3	xx	25,9
	Máx.	7,56	6,07	314	2247	343,1	70,1	24,1	-15,5	31,2	1621	19,3	2400	30,6	1749	23,2	806	11,9
	Mín.	2,89	1,91	12,6	9	137	6,1	-325	-28,3	25,8	630	14,4	310	26,7	631	19,1	632	0,0

CEPAGRI/UNICAMP –ESTAÇÃO METEOROLÓGICA - MÊS - MAIO 2006 - HORÁRIO 24 HORAS - TIPO DE DADO -222																		
dia	Dia	V5	V2	Dir.	hora	rad.i.	rad.r.	cal.+	cal.-	tmax	hora	tmin	hora	tsolo+	hora	tsolo-	hora	chuva
1	121	2,854	2,422	333	1413	265,7	50,93	-164	-23,9	28,0	1409	13,2	655	27,16	1420	18,81	712	0
2	122	5,325	4,031	284	1406	253,3	44,36	-384	-23,4	27,9	1415	15,7	2400	26,77	1418	20,27	704	0
3	123	4,462	3,364	261	1406	274,5	55,44	-426	-37,1	23,4	1420	9,3	541	24,88	1422	17,22	704	0
4	124	3,364	2,854	235	1342	271,3	53,52	-374	-36,2	23,3	1407	7,9	417	24,12	1404	15,67	733	0
5	125	5,247	4,227	132	1218	263,6	51,59	-327	-29,4	23,1	1414	11,1	705	24,24	1510	16,05	726	0
6	126	5,09	4,541	109	2222	266,2	51,14	-312	-26,5	25,5	1416	13,1	619	24,7	1418	15,95	557	0
7	127	5,678	5,207	150	1616	219,9	32,08	-247	-24,2	24,8	1237	13,7	623	23,9	1506	17	736	0
8	128	4,894	3,834	152	1029	202,9	25,65	-249	-19,8	24,1	1406	15,4	245	23,54	1417	17,96	708	0
9	129	4,344	3,756	131	2240	240,6	39,56	-261	-23,9	25,3	1426	12,7	634	24,69	1455	16,96	705	0
10	130	4,423	3,677	293	1356	229,9	32,99	-311	-21,4	24,8	1354	13,6	608	24,72	1450	17,35	642	0
11	131	5,05	4,07	144	1947	244,5	43,24	-312	-28,8	23,1	1246	10,2	612	23,73	1418	16,32	709	0
12	132	3,756	2,932	148	1609	140,6	2,227	-409	-27,4	20,0	1358	11,4	151	21,65	1420	16,36	2357	0
13	133	5,09	4,109	133	1947	241,9	32,72	-464	-39,3	23,0	1357	11,2	609	24,31	1433	14,32	737	0
14	134	4,58	3,638	44,2	2249	253,2	37,59	-438	-37,6	25,5	1434	12,1	213	25,54	1456	14,41	722	0
15	135	4,697	3,991	83,6	2345	244,9	35,57	-441	-36	26,0	1414	12,9	654	26,1	1500	15,33	731	0
16	136	4,776	4,266	128	1810	247,2	36,72	-446	-36,4	25,6	1414	13,5	703	26,54	1444	15,66	724	0
17	137	3,952	3,56	148	126	240,9	35,29	-404	-35,9	25,7	1405	13,0	611	26,55	1441	15,85	656	0
18	138	3,324	2,971	232	1311	236	33,58	-353	-35,9	26,7	1408	11,5	604	26,31	1451	15,7	738	0
19	139	4,815	3,599	358	1346	229,9	31,18	-374	-36,5	26,6	1414	10,6	649	25,61	1429	15,52	721	0
20	140	3,56	2,775	342	1526	133,3	0,688	-188	-29,3	20,7	1403	12,4	355	20,57	1419	16,04	649	0
21	141	2,854	2,03	324	1106	183,9	15,3	-203	-14,7	24,0	1121	14,9	209	24,15	1342	17,11	721	0
22	142	3,991	3,128	146	1600	114,1	0,407	-198	-18	20,1	1044	16,7	515	20,92	1542	18,16	644	0,254
	Média	4,37	3,59	196	1553	227,2	33,7	-331	-29,2	24,4	1360	12,5	606	24,6	1441,6	16,5	xx	0,3
	Máx.	5,68	5,21	358	2345	274,5	55,4	-164	-14,7	28,0	1434	16,7	2400	27,2	1542	20,3	2357	0,3
	Mín.	2,85	2,03	44,2	126	114,1	0,4	-464	-39,3	20,0	1044	7,9	151	20,6	1342	14,3	557	0,0

CEPAGRI/UNICAMP –ESTAÇÃO METEOROLÓGICA - MÊS - JUNHO 2006 - HORÁRIO 24 HORAS - TIPO DE DADO -222																		
dia	Dia	V5	V2	Dir.	hora	rad.i.	rad.r.	cal.+	cal.-	tmax	hora	tmin	hora	tsolo+	hora	tsolo-	hora	chuva
2	153	5,05	4,266	63,72	1939	231,4	26,96	-401,6	-36,74	24,5	1428	12,5	650	24,9	1444	15,36	808	0,0
3	154	3,481	2,854	160,9	1416	215,5	21,51	-370,9	-31,94	26,2	1349	12,9	533	25,2	1438	15,42	728	0,0
4	155	3,599	3,128	290,1	1047	221,6	24,18	-362	-34,81	25,9	1446	11,0	501	24,76	1501	14,85	713	0,0
5	156	2,854	2,422	266,3	1343	175,1	6,909	-180,6	-24,43	23,1	1313	12,0	624	22,63	1324	15,52	708	0,0
6	157	3,285	2,932	127,5	1026	204	19,4	-309,3	-25,14	26,2	1346	14,3	708	25,56	1433	16,41	743	0,0
7	158	3,795	3,207	169,6	1502	212,7	21,72	-382	-30,15	26,8	1419	12,8	602	25,34	1437	15,94	702	0,0
8	159	3,05	1,951	340,4	1459	217,1	23,21	-421,6	-32,86	27,1	1450	13,5	2325	25,69	1446	15,87	803	0,0
9	160	5,168	3,364	359,7	1451	213,7	22,52	-361,2	-34,14	26,3	1507	10,8	717	24,3	1513	15,03	745	0,0
10	161	5,011	3,717	316,3	1509	211,4	21,29	-328,6	-28,3	26,7	1340	12,3	329	24,86	1356	15,72	646	0,0
11	162	3,795	2,697	125,9	2251	171,9	6,595	-276,6	-25,77	26,6	1515	12,5	652	23,94	1559	15,69	712	0,0
12	163	4,933	4,305	135,1	1017	207,1	19,03	-348,2	-26,15	24,9	1434	15,4	637	24,5	1442	16,53	701	0,0
13	164	3,834	3,364	140	33	214,9	22,48	-325,1	-29,58	27,0	1416	13,9	608	25,58	1445	15,76	733	0,0
14	165	3,481	2,893	211,8	1442	215,4	22,77	-430,5	-32,93	26,1	1408	11,7	609	25,14	1434	15,52	726	0,0
15	166	3,05	2,736	246,4	1317	216,4	23,37	-433,5	-39,23	26,0	1404	8,6	658	24,4	1426	13,92	732	0,0
16	167	5,639	4,697	124	1830	215,2	23,08	-367,8	-35,82	24,4	1508	9,0	709	23,55	1456	13,8	737	0,0
17	168	4,658	4,07	108,6	2209	205,8	19,79	-304	-29,03	24,8	1517	12,8	631	23,73	1422	14,79	737	0,0
18	169	3,717	3,403	122,5	28	206,7	20,62	-303,2	-26,93	26,7	1400	12,6	700	25,11	1434	15,48	724	0,0
19	170	3,364	2,501	286,3	1311	213,1	21,89	-405,5	-30,05	26,8	1424	13,0	735	25,1	1509	15,54	739	0,0
20	171	4,266	3,285	1,606	1135	209	21,24	-386,2	-34,32	26,1	1423	10,9	723	24,07	1350	14,59	744	0,0
21	172	5,247	4,384	305,7	1328	215	22,82	-383,2	-33,91	26,7	1420	10,6	718	24,25	1425	14,37	719	0,0
22	173	3,285	2,461	15,75	1503	212	21,78	-331,7	-33,54	28,4	1443	10,8	719	24,74	1447	14,28	733	0,0
23	174	4,148	3,011	23,54	1242	201,9	19,37	-303,5	-24,91	27,5	1503	13,2	725	25,28	1526	15,82	732	0,0
24	175	3,168	2,383	321,7	1518	215	23,06	-390,9	-28,29	27,1	1442	14,9	729	26,11	1454	16,58	754	0,0
25	176	5,717	3,874	312,8	1332	211,2	21,8	-214,4	-23,95	27,2	1431	12,8	647	25,2	1359	15,9	655	0,0
26	177	6,659	4,933	232,3	926	118	0,244	-206	-26,16	19,3	1633	14,2	1036	19,78	1533	16,58	1216	22,6
27	178	5,129	4,227	113,6	2149	224	24,63	-584,8	-44,67	18,9	1404	10,5	2400	21,56	1419	13,88	2349	0,3
28	179	6,306	5,639	130,1	1304	230,8	27,95	-456,8	-47,23	18,9	1433	8,7	645	19,84	1501	11,51	731	0,0
29	180	4,266	3,56	128,3	1831	223,2	25,09	-373,6	-34,65	22,8	1346	9,9	621	21,82	1424	11,84	646	0,0
30	181	4,737	3,364	81,6	2305	215,8	24,2	-328,6	-32,62	25,2	1418	10,1	552	23,12	1430	13,17	737	0,0
	Média	4,30	3,44	181,45	xx	208,44	20,67	-354,20	-31,66	25,3	xx	12,0	xx	24,14	xx	15,02	xx	22,9
	Máx.	6,66	5,64	359,70	2305	231,40	27,95	-180,60	-23,95	28,4	1633	15,4	2400	26,11	1559	16,58	2349	22,6
	Mín.	2,85	1,95	1,61	28	118,00	0,24	-584,80	-47,23	18,9	1313	8,6	329	19,78	1324	11,51	646	0,0