

CONFERIDO

PROC. N° 012.201571 00

TUB 12/09/14

BPG 12/09/14

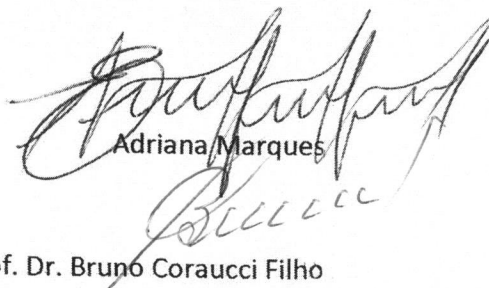
ERRATA

Eu, Adriana Marques, ex-aluna do curso de Engenharia Civil, nível: Mestrado, informo que deve-se considerar a seguinte errata em folhas i, iii e v:

Onde se lê: Anaeróbica

Leia-se: Anaeróbia

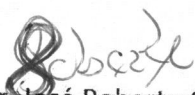
Sem mais.



Adriana Marques

Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

Orientador



Prof. Dr. José Roberto Guimarães

Coordenador Geral dos Cursos Pós-graduação - FEC



ADRIANA MARQUES

**Desinfecção de Efluentes Provenientes de Lagoa
Anaeróbica com o Uso de Ultravioleta e Peróxido
de Hidrogênio**

**CAMPINAS
2003**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

ADRIANA MARQUES

Desinfecção de Efluentes Provenientes de Lagoa Anaeróbica com o Uso de Ultravioleta e Peróxido de Hidrogênio

Orientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA
ALUNA Adriana Marques E ORIENTADA PELO
PROF. DR. BRUNO CORAUCCI FILHO

.....
ASSINATURA DO ORIENTADOR

**CAMPINAS
2003**

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

M348d Marques, Adriana
Desinfecção de efluentes provenientes de lagoa anaeróbia com o uso de ultravioleta e peróxido de hidrogênio / Marques, Adriana –Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Bruno Coraucci Filho

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Tratamento de efluentes. 2. Desinfecção. 3. Processos oxidativos avançados. I. Coraucci Filho, Bruno. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Effluent disinfection from anaerobic lagoon: with ultraviolet and hydrogenic peroxide

Palavras-chave em Inglês: Effluent treatment, Disinfection, Advantage oxidation process

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Rogério Stacciarini, José Euclides Stipp Paterniani

Data da defesa: 26-08-2003

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL. ARQUITETURA E URBANISMO**

**DESINFECÇÃO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE LAGOA
ANAERÓBICA COM USO DE ULTRAVIOLETA E PERÓXIDO DE
HIDROGÊNIO**

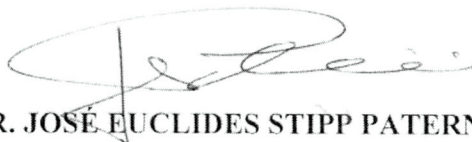
Adriana Marques

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**PROF. DR. BRUNO CORAUCCI FILHO
(Presidente-Orientador)**

UNICAMP



PROF. DR. JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI

UNICAMP



PROF. DR. ROGÉRIO STACCIARINI

UNIUBE

Campinas, 26 de agosto de 2003

Resumo

MARQUES, A. **Desinfecção de efluentes provenientes de lagoas anaeróbias: comparação entre processos, 2003. 90 p.** Dissertação (Mestrado Eng. Civil na área de concentração em Saneamento e Ambiente) – Curso e Pós-graduação em Engenharia Civil. UNICAMP.

Pesquisas de métodos de desinfecção alternativos à cloração vêm sendo desenvolvidas e dentre elas destacam-se a radiação ultravioleta e os processos oxidativos envolvendo geração do radical hidroxila $\cdot\text{OH}$, por meio da fotólise com uso do peróxido de hidrogênio, as quais foram investigadas neste trabalho. Utilizou-se um fotoreator linear com uma lâmpada germicida e o efluente foi bombeado com fluxo contínuo por meio de passagem única e coletado na saída para as análises físicas químicas e bacteriológicas. Os micro-organismos indicadores foram coliformes totais e fecais provenientes dos efluentes da lagoa anaeróbia. Os parâmetros monitorados nos ensaios fotolíticos e nos ensaios de mistura completa do peróxido de hidrogênio foram cor, turbidez, alcalinidade, sólidos em suspensão, pH e DQO. Os parâmetros de controle de desinfecção UV e UV/H₂O₂ foram a dose de radiação UV, carga bacteriana pré e pós – desinfecção, tempo de contato e volume e concentração do peróxido de hidrogênio. Os resultados demonstraram que os processos apresentaram eficiência de desinfecção bastantes significativos. No processo utilizando H₂O₂ com dose de 10 mg/L e tempo de contato de 45 minutos, atingiu-se remoções significantes mas não totais de E.coli e coliformes fecais; enquanto que no processo fotolítico com dose de cerca de 25 mW.s/cm² combinado com o H₂O₂ a remoção alcançou 99,99% para o referido parâmetro. O processo UV/H₂O₂ demonstrou ser o mais eficiente em comparação a UV e H₂O₂ permite a diminuição do volume utilizado de peróxido e do tempo de contato para uma dose de UV relativamente baixa variando de 20 a 35 mW.s/cm² obtendo uma remoção superior a 4 ordens de magnitude.

Palavras-chaves: tratamento de efluentes, desinfecção, processos oxidativos avançados.

Abstract

MARQUES, A. **Effluent disinfection from anaerobic lagoon: comparison among processes, 2003. 90 p.** Dissertation (Master Environmental Sanitation) Civil Engineering Faculty. UNICAMP.

Some alternative disinfection methods to chlorination have been developing recently, and among these, the UV irradiation and oxidation processes involving generation of OH. The use of hydrogen peroxide (H_2O_2), had deserved special attention, and were investigated in this work. For this purpose, it was utilized inline UV-reactor with a germicide lamp. The effluent was mixed with hydrogen peroxide and was conducted through the channel of the reactor by a continue flow. The faecal micro-organisms E.coli and total coliformes were utilized as a pollution indicator combed through the entrance by a continue flow the process to be analysed.

The parameters monitored in these process were colour, turbidity, alkalinity, COD and faecal coliformes. The control parameters of UV and H_2O_2 . The results shown that both disinfection processes were efficient for anaerobic lagoon treatment. In the H_2O_2 process with 10 mg/L and 45 minutes. It was necessary to remove of 3 orders of magnitude faecal and total coliformes. The results shown also that the combined processes are more efficient in the micro-organisms inactivation, and whereas for the low doses as 20-35 mWs/cm² are able to remove 4 magnitude orders remove 4 orders of magnitude.

Key Words: effluent treatment, disinfection, advantage oxidation process.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1. Microrganismos indicadores de contaminação.....	4
2.1.1. Indicadores de contaminação utilizados na pesquisa: Coliformes totais.....	7
2.1.2. Indicadores de contaminação utilizados na pesquisa: Escherichia Coli.....	7
2.2. Lagoa anaeróbia.....	8
2.3. Processos de desinfecção	9
2.4. Processos Oxidativos Avançados - POA.....	9
2.4.1. Radical hidróxila	10
2.4.2. O Peróxido de Hidrogênio.....	11
2.5. A Radiação ultravioleta (UV).....	14
2.5.1. Espectro da radiação ultravioleta	15
2.5.2. Lâmpadas germicidas	15
2.5.3. Dose de radiação ultravioleta	17
2.5.4. Inativação dos microrganismos	19
2.6. A combinação H ₂ O ₂ /UV	21
3. MODELAGEM TEÓRICA.....	23
3.1. Fundamentos.....	23
3.2. Equipamentos	24
3.3. A Origem e a Caracterização do Efluente	24
3.3.1. Breve Histórico do Saneamento em Limeira.....	25
3.4. Parâmetro de Controle para Desinfecção Utilizando Radiação UV	26
3.4.1. Numero de microrganismos pré e pós desinfecção	27
3.4.2. Eficiência da desinfecção	27
3.4.3. Tempo de detenção ou tempo de residência.....	27
3.5. Parâmetros monitorados nos ensaios de desinfecção	28
3.5.1. Determinação de Coliformes Totais.....	28
3.5.2. Determinação da cor verdadeira e aparente.....	28
3.5.3. Determinação do pH.....	29
3.5.4. Determinação da turbidez.....	29
3.5.5. Determinação da concentração de H ₂ O ₂	29
3.5.6. Determinação dos Sólidos Suspensos	30
3.5.7. Determinação da DQO	31
3.6. Aparato experimental	32
3.6.1. Reator fotolítico UV.....	33
3.6.2. Reator de mistura completa de H ₂ O ₂	35
3.7. Métodos	36
3.8. Procedimento Experimental	40
3.9. Cronograma das análises	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1. Resultados por parâmetros.....	44

4.1.1.	Valores de pH.....	47
4.1.2.	Valores de alcalinidade	48
4.1.3.	Valores de DQO (demanda química de oxigênio)	50
4.1.4.	Sólidos em suspensão.....	54
4.2.	Resultados das etapas	55
4.2.1.	Processo com H_2O_2	55
4.2.2.	Processo com H_2O_2 /UV	56
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	58
	Referências	60

Página de Dedicatória

“O ser humano é mortal por seus temores e imortal por seus desejos.”

(Pitágoras)

“Digno de admiração é aquele que tendo tropeçado
ao dar o primeiro passo, levanta-se e segue em frente.”

(Carlos Fox)

Agradecimentos

Agradeço em primeira instancia a Deus e ao meu orientador Bruno, pela oportunidade, confiança e apoio fatores que impulsionaram meu desenvolvimento mesmo frente a tanta dificuldades.

À Maria Lúcia Galves que sem o apoio e a confiança eu não teria alcançado mais este degrau de crescimento profissional e intelectual.

À Patricia Mazzante que teve papel muito importante como amiga e como incentivadora da minha caminhada, a todos os funcionários e professores da FEC e FEAGRI, em especial ao Prof. Dr. José Roberto Guimaraes, Prof. Dr. Edson Nour, Prof. Dra. Ana Lydia Sawaya e a Prof. Dra. Emilia Rutkowski; Carolina Farah, Marta e Marco, Enelton, as bolsistas do laboratório, Dra. Luciana Vivo da Tayuyna, Silvia e funcionários da Ecolab, Elsio da Acqua Domini, José Buda, Sandra Rodrigues, a Rosemere e todos os funcionários da BAE.

À Claudia Cipriano, Gustavo Lassala, Eduardo Resende, e a Hilda Figueiredo, grandes amigos, e a todos os profissionais do Senai Theobaldo de Nigris.

À Nadia e Cristiano, Alma e Antonio, Paolo e Paola, Massimo Bartoli e Stephano Lombardi, Lydia e Gean Felice, Julia Marton-Lefèvre que mesmo com a distância territorial foram pessoas presentes e sempre tiveram posição de destaque na vida acadêmica.

Aos meus pais, aos meus alunos do Senai e do Projeto Geracao XXI e a todas as pessoas que direta ou indiretamente se fizeram presentes na minha vida.

Lista de Figuras

Figura 1. Molécula de H_2O_2	12
Figura 2. Espectro eletromagnético	15
Figura 3. Bulbos das lâmpadas bactericida	16
Figura 4. Declínio da potencia da lâmpada UV ao longo da vida útil.....	17
Figura 5. Intensidade durante o período de exposição	18
Figura 6. Mecanismo de inativação no DNA por UV	20
Figura 7. Lagoa anaeróbica-ETE Graminha Limeira	25
Figura 8. Distribuição dos sólidos em função ao tamanho da particular.....	30
Figura 9. Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto (concentração)	31
Figura 10. Sistema de desinfecção combinado H_2O_2 /UV	33
Figura 11. Reator fotolítico com uma lâmpada de UV	34
Figura 12. Foto de reator fotolítico com uma lâmpada de UV.....	34
Figura 13. Representação esquemática em corte, referente a passagem do fluxo do efluente no Reator fotolítico.....	35
Figura 14. Reator mistura completa	35
Figura 15. Esquema das etapas da desinfecção por POA.....	40
Figura 16. Ponto A saída da lagoa anaeróbia	44

Lista de gráficos

Gráfico 1. Coletas ao longo dos meses.....	42
Gráfico 2. Valores de pH para os processos ao longo do tempo	47
Gráfico 3. Alcalinidade H_2O_2 ao longo do tempo	49
Gráfico 4. Alcalinidade H_2O_2 /UV ao longo do tempo	50
Gráfico 5. DQO-ao longo do tempo	51
Gráfico 6. Eficiência de remoção de DQO ao longo do tempo	52
Gráfico 7. Eficiência de remoção de DQO ao longo do tempo	53
Gráfico 8. Sólidos em suspensão ao longo do tempo.....	55

Lista de Quadros

Quadro 1. Principais indicadores nacionais de saneamento.....	1
Quadro 2. Divisão dos processos oxidativos avançados	10
Quadro 3. Dissociações iônicas e não iônicas	14
Quadro 4. Esquema de procedimentos experimentais.....	23
Quadro 5. Equipamentos e acessórios	24
Quadro 6. Descrição das fases 1 e 2 realizadas na Etapa 1 da pesquisa.....	39
Quadro 7. Descrição das fases 1 e 2 realizadas na Etapa 2 da pesquisa.....	40
Quadro 8. Parâmetros e frequência das análises	41

Lista de Tabelas

Tabela 1. Características do efluente irradiado por UV	45
Tabela 2. Doses e eficiência do efluente com 10mg/L H ₂ O ₂ irradiado por UV por meio da quantificação de Coliformes totais (NMP/100 ml)	45
Tabela 3. Doses e eficiência do efluente com 30 mg/L H ₂ O ₂ irradiado por UV	46
Tabela 4. Doses e eficiência do efluente com 30 mg/L H ₂ O ₂ irradiado por UV	46
Tabela 5. Valores médios da alcalinidade para H ₂ O ₂ e UV/H ₂ O ₂ para as análises (efluentes após aplicação tratamento UV).....	48
Tabela 6. Valores médios da porcentagem de remoção de DQO para cinco amostras ao longo do processo: no efluente da lagoa anaeróbia	52
Tabela 7. Valores dos sólidos em suspensão para desinfecção após H ₂ O ₂	54
Tabela 8. Resultados dos experimentos: concentração 30mg/L de H ₂ O ₂	55
Tabela 9. Resultados dos experimentos: concentração 10mg/LH ₂ O ₂	56
Tabela 10. Resultados para as análises: concentração de H ₂ O ₂ de 10 mg/L.....	57

Lista de Fluxogramas

Fluxograma 1. Resumo dos experimentos	37
Fluxograma 2. Resumo dos experimentos	37

Lista de Abreviaturas e Siglas

APHA	American Public Health Association
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Aq	Aquoso
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
°C	graus centígrados
cal	caloria
cm	centímetro
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
eq	Equação
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ΔH°	Entalpia
ΔF°	Calor de formação
g	grama
h	horas
hν	fótons emitidos pela fonte luminosa
Kcal	kilocaloria
L	litro
Log.	logaritmo
min.	Minuto
ml	Minuto
m	metro
μm	micro metro
MG/l	miligrama por litro
mm	milímetro

mm Hg	milímetro de mercúrio
m³/s	metro cúbico por segundo
mW	miliwatt
MMA	Ministério de Meio Ambiente
POA	Processo de Oxidação Avançada
PROSAB	Programa Nacional de Saneamento Básico
RNA	Ácido Ribonucleico
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
uA	unidade de absorbância
US	ultra-som
USA-EPA	Agência de Proteção Ambiental Norte Americana
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
Uv	ultravioleta
VMP	valor mais provável
THM	trialometano
W	watt

SIMBOLOS

α	alfa
Δ	delta
ε	epsílon
Φ	fi
Ω	omega
μ	mi

1. INTRODUÇÃO

A consciência da finitude dos recursos naturais disponíveis e do estado de degradação dos recursos hídricos do planeta, resultante de sua exploração inadequada, determinam a emergência de se repensar o modelo de produção industrial, as práticas para o consumo de água e até mesmo os processos de tratamento do esgoto.

No Brasil, os dados do sistema nacional de informação em saneamento revelam a precariedade dos serviços de saneamento básico. No quadro 1 poder-se-á observar os principais indicadores do abastecimento de água nacional e o esgotamento sanitário, fatores que explicitam a elevada persistência de epidemias transmitidas por veiculação hídrica que são consequências do consumo ou contato com água não tratada.

Quadro 1. Principais indicadores nacionais de saneamento

Principais indicadores	
Abastecimento de água:	Índice médio nacional é de 92,4%
Esgotamento Sanitário:	<u>Coleta de esgotos:</u> índice médio nacional é de apenas 50,9% sendo 38,3% prestado por companhias estaduais e 77,4% o índice dos serviços locais. <u>Tratamento de esgotos gerados:</u> média nacional é de apenas 25,6%. Operadores regionais tratam 29,8% do esgoto gerado e os locais, apenas 17%.

Fonte: Revista brasileira de saneamento ambiental e meio ambiente (2003).

Segundo Noceras e Zweifel (1998), o problema das epidemias, que assolou vários países europeus durante séculos, impulsionou a busca por medidas técnicas sanitárias, as quais foram possibilitadas pela revolução científica e tecnológica. Assim, a visão higienista tornou-se dominante no século XIX e início do século XX, porém outras correntes de pensamento, no campo da medicina e administração pública, passaram a entrar em cena a partir das novas descobertas científicas, colocando em questão o modelo sanitário adotado até esta época.

O cloro assume papel importante como o desinfetante mais utilizado no Brasil e no mundo, por sua eficiência, custo e por assegurar uma boa qualidade da água até o ponto de consumo, entretanto, um dos grandes problemas da utilização dos compostos de cloro é o fato deste reagir

com matérias orgânicas presentes na água podendo formar compostos organoclorados como os trihalometanos (THM), com certo potencial cancerígeno (BELLUTI, 1999).

A portaria número 1469 de dezembro de 2000 do Ministério da Saúde restringiu a utilização do cloro livre apenas para água proveniente de lençol freático ou água tratada que apresentem teor de carbono orgânico total bastante reduzido, afim de atender a fixação de VMP 0,1mg/l de THM, para que não haja a formação de subprodutos de desinfecção.

Surge então a necessidade de métodos alternativos que minimizem a formação de subprodutos decorrentes da cloração. Uma nova tecnologia que vem sendo bastante difundida são os processos oxidativos avançados - POA que podem ser a grosso modo divididos em dois sistemas:

- Homogêneos - uma única fase, em meio líquido (com ou sem irradiação) e
 - Heterogêneos - duas fases, meio líquido e um catalisador sólido (com ou sem irradiação).
- (EPA, 1998)

A degradação da matéria orgânica mediada por fotólise com radiação UV é utilizada como alternativa de desinfecção, nesta ocorre a interação da radiação luminosa com as moléculas, provocando a ruptura de suas ligações químicas e a fragmentação das estruturas celulares, entretanto a maioria dos estudos são feitos no sentido de verificar qual a contribuição da fotólise em processos de degradação como H_2O_2/UV , O_3/UV , $H_2O_2 / O_3 / UV$, pois a geração de radical hidróxila é um agente oxidante extremamente importante, de vida curta, mas capaz de oxidar compostos orgânicos levando-os à total mineralização e transformando-os em dióxido de carbono e água (EPA, 1998).

A destruição dos microrganismos dependerá da dose média de radiação absorvida pela sua estrutura celular e o baixo custo poderá ser determinado pela utilização de lâmpadas de baixa e média pressão e reatores com sessões de canais abertos (LAZAROVA et al., 1999).

Neste estudo foi avaliado o desempenho dos sistemas - radiação UV (fotólise) e do H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) isolados e combinados, para a determinação da melhor capacidade de inativação de bactérias somado ao menor custo, utilizando para tal, como microrganismos indicadores os coliformes totais e *Escherichia Coli*.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a desinfecção dos efluentes provenientes da lagoa anaeróbia por diferentes processos - radiação ultravioleta, H₂O₂ e UV peróxido de hidrogênio com base na inativação de microrganismos patogênicos. Neste estudo será avaliado o desempenho dos sistemas – radiação UV (fotólise) e do H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) isolados e combinados para a determinação da melhor capacidade de inativação de baterias somado ao menor custo, utilizado para tal, como microorganismos indicadores Coliformes Totais e E.coli.

Para se atingir este objetivo, o trabalho explorou as seguintes atividades:

- avaliação da eficiência do processo de desinfecção por UV;
- avaliação da eficiência do processo de desinfecção por H₂O₂;
- avaliação da eficiência do processo de desinfecção por H₂O₂ / UV;
- estudo do decaimento dos parâmetros cor, turbidez, DQO, alcalinidade, pH, coliformes totais e *Escherichia Coli* ao longo do período de desenvolvimento de dezoito meses.
- estudo de uma proposta de delineamento estatístico dos dados obtidos no decorrer da pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A presente revisão ilustrará aspectos relevantes à compreensão da pesquisa que foi desenvolvida para identificação do desempenho da desinfecção de efluentes proveniente de lagoa anaeróbia.

É crescente a necessidade de métodos alternativos para desinfecção de águas residuárias, devido ao fato das principais fontes de poluição microbiológicas serem os esgotos urbanos e as drenagens rurais que, por meio de chuva, conduzem fezes de animais, que podem contaminar os homens (MMA, 2002).

A Lei Ambiental Federal 9.605/98, que trata de crimes ambientais, é um exemplo bastante claro que empresas e órgãos públicos inevitavelmente terão que se adequar às normas e padrões de controle ambiental.

A Portaria número 1.469 de dezembro de 2000 do Ministério da Saúde estabeleceu o controle epidemiológico e o gerenciamento de riscos à saúde que permeiam a nova legislação, além da amplitude da responsabilidade dos gestores responsáveis pelo controle e pela vigilância da qualidade e da potabilidade da água para o consumo humano. Isso tem possibilitado e estimulado o desenvolvimento de novas tecnologias, além de tecnologias mais limpas (T+L) para que ocorra, não somente, o tratamento dos efluentes como também a minimização da formação de subprodutos.

2.1. Microrganismos indicadores de contaminação

A padronização dos métodos biológicos é de suma importância para a determinação da eficiência do reator escolhido para o estudo, cuja a finalidade é a inativação de microorganismos.

São vários os microrganismos indicadores de contaminação dos efluentes da lagoa anaeróbia. Os mais encontrados e conhecidos são as bactérias de origem fecal. As bactérias de origem fecal estão presentes no intestino delgado (CURTIS, 1994).

Bactérias são seres vivos constituídos por uma única célula bastante simples com tamanho aproximado entre 0,1 μm e 10 μm , não possuem clorofila, assemelham-se as algas mais simples, algumas são providas de filamentos ou flagelos para locomoção na água. Certas bactérias necessitam de oxigênio e recebem a denominação de bactérias aeróbias, enquanto que as anaeróbias não necessitam de oxigênio e realizam um tipo de respiração chamado de fermentação (CURTIS, 1994).

Metcalf e Eddy (1991) observam que a maioria das bactérias se reproduz por fissão binária, onde um microrganismo divide-se formando dois novos microrganismos com as mesmas características genéticas, na maioria das vezes, iguais ao do organismo gerador. Dependendo do tipo de bactéria, o tempo para ocorrer essa divisão pode variar de menos de 20 minutos até alguns dias.

Segundo Donaire (2001), para que uma bactéria seja indicadora de uma poluição fecal, esta deve reunir as seguintes características:

- estar presente sempre em maior quantidade que os patógenos;
- ser de origem exclusivamente fecal;
- ser mais resistente ao processos de desinfecção que os patógenos;
- não se reproduzir fora do intestino;
- ter sobrevivência paralela aos patógenos mais resistentes;
- ter análise laboratorial rápida;

- ser de fácil detecção e quantificação;
- não ser patogênica.

Porém, não existe nenhum organismo que possua todas essas características ao mesmo tempo, existindo apenas alguns grupos que cumprem parte desses requisitos (DONAIRE, 2001).

Os principais grupos são:

- *Bacteriófago* que são vírus que infectam as células de várias bactérias e estão constituídos de uma molécula de ácido nucleico envolta por um revestimento proteico;
- *Clostridium perfringens* que são bactérias anaeróbias, gram-positivo com produção de esporos resistentes ao meio ambiente aquático;
- Coliformes: totais que englobam os microrganismos aeróbios ou anaeróbios, gram-negativos e em forma de bastonetes - *Citrobacter*, *Serratia*, *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia Coli* e *Klebsiella pneumoniae* e fecais: que são essencialmente representados pelas *Escherichia Coli* e *Klebsiella pneumoniae* que são a forma termotolerante dos coliformes totais com a capacidade de fermentar a lactose em temperatura entre 40 e 45°C em 24 horas;
- *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia* são protozoários originalmente de zonas tropicais e subtropicais;
- *Escherichia Coli* é a espécie mais representativa dos coliformes fecais e facilmente distinguível por fluorescência;
- *Streptococcus faecalis* compreendem organismos de interesse humano (*S. faecalis*) e animal de sangue quente (*S. bovis*, *S. equinus*, *S. avium*) podendo, quando encontrados, fornecer uma correlação entre o homem e os animais de sangue quente.
- *Vírus* são agentes infecciosos com tamanho entre 20 nm e 300 nm de diâmetro com genoma constituído de uma ou várias moléculas de ácido nucleico (DNA ou RNA), as quais possuem a forma de fita simples ou dupla. Os ácidos nucleicos dos vírus geralmente apresentam-se revestidos por um envoltório proteico formado por uma ou várias proteínas, o qual pode ainda ser revestido por um complexo envelope formado por uma bicamada lipídica.

um dos indicadores mais complexos e pouco utilizado no Brasil (AMATI; GAINOTTI; MODELLI, 1989).

Os mecanismos para inativação das bactérias são: a destruição das estruturas celulares atacando a constituição da célula principal e a destruição da parede celular ou a permeabilidade das membranas, interferindo no metabolismo enzimático, na biossíntese, no crescimento, na formação das proteínas e nos ácidos nucleicos (PILLAI *et al.*, 1996).

2.1.1. Indicadores de contaminação utilizados na pesquisa: Coliformes totais

Os coliformes são definidos como bacilos Gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, que fermentam lactose com produção de gás e constituem-se por espécies comensais (não patogênicas). Os coliformes podem indicar a presença de bactérias patogênicas, mas não de vírus (CHERNICARO, 2001).

Os coliformes totais são formados pelos coliformes fecais ou termotolerantes, que representam 96,4% dos coliformes encontrados em fezes humanas, sendo diferenciados pela capacidade de crescer em temperaturas elevadas, como $45 \pm 0,5$ °C. A ausência dos coliformes totais é a indicativa da eficiência do tratamento que foi utilizado (NEVES; BASTOS, 1998, 2001).

2.1.2. Indicadores de contaminação utilizados na pesquisa: Escherichia Coli

A *Escherichia Coli* pertence ao grupo dos coliformes. É uma bactéria baciliforme, gram-negativa, aeróbia, não formadora de esporos, oxidase-negativa, capaz de crescer em sais biliares e outros compostos ativos de superfície surfactantes, fermentadora e lactose com produção de ácidos e gás entre 35 a 44°C, sendo a temperatura ótima de 37°C. É habitante normal do trato intestinal de humanos e outros animais de sangue quente e representa 90% de todos os coliformes presentes. É reconhecidamente o indicador mais preciso de contaminação fecal recente, sendo a

sua presença indicativa da provável ocorrência de microorganismos patogênicos de origem exclusivamente fecal (MEDENA, 1997).

A bactéria *E.coli* é utilizada como um microorganismo bioindicador de qualidade da água para consumo humano porque satisfaz a maior parte das exigências de um indicador ideal de poluição. Apresenta porém alguns inconvenientes como, multiplicação no exterior do corpo hospedeiro, desde que fornecidas as condições apropriadas, e resistência esporádica menor do que determinados patógenos (MEDENA, 1997).

2.2. Lagoa anaeróbia

Von Sperling (1996) observa que nas lagoas anaeróbias a estabilização ocorre sem a presença de oxigênio dissolvido; as bactérias retiram o oxigênio dos compostos orgânicos transformando-os em compostos mais simples, principalmente ácidos. Esta fase é chamada de “digestão ácida” e os fenômenos observados são a produção de compostos intermediários de odores desagradáveis (H_2S), a redução de pH para valores entre 6 e 5 e reprodução celular.

Em seguida ocorre a fase de fermentação alcalina, na qual outras bactérias (estritamente anaeróbias) atuam transformando os ácidos orgânicos formados em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), o pH nesta fase aumenta para valores entre 7,2 a 7,5, a temperatura deve permanecer acima de $15^{\circ}C$. e os maus odores desaparecem pois há formação de espuma de cor cinzenta, essa camada é extremamente benéfica pois impede o desprendimento dos gases principalmente H_2S que é o maior responsável pelos problemas de odores; além disso protege a lagoa contra a radiação solar, que favorece a proliferação de algas que produzem O_2 conserva e uniformiza a temperatura no meio líquido evitando choques térmicos (VON SPERLING, 1996).

É evidente que outros elementos podem estar presentes na carga orgânica, formando além dos produtos mostrados outros como NH_3 , H_2S etc. (VON SPERLING, 1996).

Pode-se afirmar que a fase responsável pela diminuição brusca de matéria orgânica é a fermentação alcalina, em lagoas com boa eficiência essa redução atinge de 50 a 60% em análises de DBO. A eficiência poderá ser mensurada sendo controlado alguns parâmetros como: o tempo de detenção, as taxas de aplicação de carga orgânica, a profundidade da lagoa e a distribuição uniforme de esgoto afluyente (VON SPERLING, 1996).

Estas lagoas são utilizadas como grandes vantagens para águas residuárias com elevada concentração orgânica e alto teor de sólidos, sendo empregadas como primeiro estágio de tratamento biológico (CAMPOS, 1999).

Em condições satisfatórias o lodo acumulado no fundo da lagoa foi removido a cada 3 anos em média, tempo que varia em função das condições da ETE referida e do esgoto afluyente (VON SPERLING, 1996).

2.3. Processos de desinfecção

A desinfecção utilizando o cloro como oxidante é conhecida por ser o método mais comum utilizado mundialmente. Na América do Norte, o emprego do cloro e seus compostos como os primeiros desinfetantes, praticamente sobrepõe o histórico do processo de desinfecção à própria evolução do emprego deste gás (HAAS, 1999). Entretanto, a facilidade de que o cloro apresenta em reagir com a matéria orgânica e formar compostos organoclorados que prejudicam a saúde humana abriu margem então, para que se buscasse outras alternativas para a desinfecção de efluentes como os processos oxidativos avançados (GUIMARÃES, 2001).

2.4. Processos Oxidativos Avançados - POA

Os processos oxidativos avançados geralmente envolvem a geração e o uso de poderosos oxidantes como o radical $\bullet\text{OH}$, a presença de radiação também é um importante agente para os processos oxidativos. No caso da utilização de radiação para a formação de radicais hidróxilas é

possível verificar a utilização de radiação UV com faixa de 100nm a 400nm para a produção destes radicais. A maioria dos contaminantes reagem cerca de 1 milhão a 1 bilhão de vezes mais rápido com o radical $\bullet\text{OH}$ que com o O_3 em uma oxidação convencional (DUSSERT; DANIEL, 1997, 2001).

Para os processos oxidativos avançados divididos em dois grandes grupos diferenciados com relação as suas fases - homogêneo ou heterogêneo e com relação a - presença ou ausência de luz, os mais conhecidos são os apresentados no quadro 2 (EPA, 1998).

Quadro 2. Divisão dos processos oxidativos avançados

Sistemas Homogêneos		Sistemas Heterogêneos	
Com Irradiação	Sem irradiação	Com Irradiação	Sem irradiação
O_3/UV	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{TiO}_2/\text{O}_3/\text{UV}$	Elétron-fenton
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$	$\text{O}_3/\text{OH}^\cdot$	$\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$	Oxalato-fotofenton
Feixe de elétrons			
Ultra-som (US)			
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{US}$			
US/UV			

Fonte: Handbook of advanced photochemical oxidation processes - EPA (1998).

2.4.1. Radical hidróxila

O radical livre hidróxila $\bullet\text{OH}$ possui constante de velocidade de reação entre 10^9 a $10^{12} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$, caracterizando uma reação muito rápida. Os radicais hidróxila não são seletivos e reagem com a maioria dos compostos orgânicos aparecendo com exceção apenas as acetonas (EPA, 1999).

O radical hidróxila é duas vezes mais oxidante que o cloro, com um potencial de oxidação entre o oxigênio atômico +1,78 V e o flúor +2,23 V. Entretanto, a principal desvantagem de todos os processos de degradação oxidativa baseada na realidade dos radicais hídricos é que, sequestradores desses radicais, tais como HCO_3^- e CO_3^{2-} quando presentes em solução, diminuem a eficiência do processo (DONAIRE, 2001).

2.4.2. O Peróxido de Hidrogênio

Devido à necessidade de novas tecnologias para o tratamento de efluentes houve uma busca por reagentes e processos que não liberassem resíduos inorgânicos após a reação com o poluente orgânico já contido no afluente. Surge então o peróxido de hidrogênio como alternativa na proteção ambiental e com base em uma tecnologia mais limpa em oposição a formação de resíduos líquidos (BIRCHER, 1997).

O peróxido de hidrogênio foi identificado a mais de 185 anos e a sua produção comercial data de 1879. Posteriormente, em 1909, o processo baseado na eletrólise de soluções de ácido sulfúrico e subsequentemente hidrólise do ácido peroxidissulfúrico para a produção de H_2O_2 e ácido sulfúrico, proporcionou a produção comercial de uma forma relativamente estável e pura do composto (BIRCHER, 1997).

2.4.2.1. A importância econômica do peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio é comercialmente disponível na forma de solução aquosa, numa ampla faixa de concentrações, variando de 3 a 98% de produto ativo. Industrialmente, o processo de produção do peróxido de hidrogênio é de auto-oxidação da antraquinona. Depois que o catalisador é removido, as hidroquinonas são oxidadas para quinona com oxigênio (normalmente ar) com formação quantitativa de H_2O_2 (BIRCHER, 1997).

O peróxido de hidrogênio é extraído com água, e as quinonas são retomadas ao hidrogerador para uma completa circulação. O processo, portanto, leva à formação de H_2O_2 a partir do hidrogênio gasoso e oxigênio (BIRCHER, 1997).

2.4.2.2. Propriedades do peróxido de hidrogênio

Os peróxidos são óxidos que reagem com a água ou com ácidos diluídos, produzindo água oxigenada (H_2O_2). A água oxigenada como é conhecida comercialmente, é um líquido claro e incolor. É líquido em temperaturas normais; seu ponto de fusão de $-0,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ e ponto de ebulição de $150,2^{\circ}\text{C}$. a 760 mm de Hg (BIRCHER, 1997).

Estruturalmente, sabe-se que os quatro átomos na molécula do peróxido de hidrogênio que podem ser vistos na figura 1 são ligados por ligações covalentes simples, H-O-O-H na forma não polar.

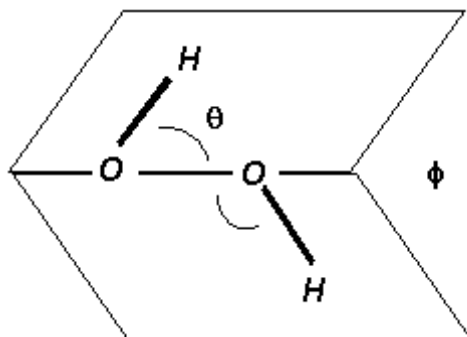


Figura 1. Molécula de H_2O_2

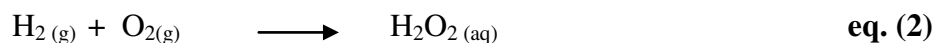
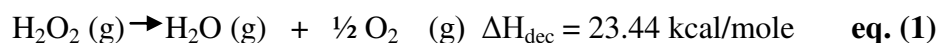
A nomenclatura é feita com a própria palavra peróxido (BIRCHER, 1997).

$Na_2 O_2$ – peróxido de sódio
 $H_2 O_2$ – peróxido de hidrogênio

Os peróxidos mais comuns são:

- peróxido de hidrogênio: H_2O_2 (quando em solução aquosa chama-se água oxigenada);
- peróxido dos metais alcalinos: K_2O_2 , Na_2O_2 , etc.;
- peróxido dos metais alcalinos-terrosos : Ba_2O_2 .

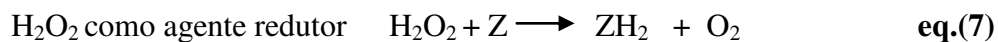
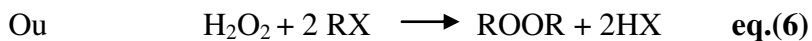
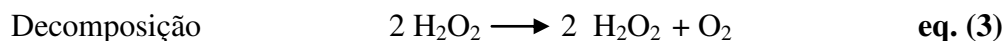
O H_2O_2 é líquido e molecular, enquanto que os demais peróxidos são sólidos iônicos e neles encontra-se o ânion O_2^{2-} . A água oxigenada se decompõe com o passar do tempo, e principalmente sob a ação da luz (daí a necessidade de guardá-la em frascos escuros). A capacidade térmica média para uma faixa de 25 a 60 °C para o H_2O_2 a 100% é de 0,628 cal/g. °C. O calor de formação do H_2O_2 para a reação: (BIRCHER, 1997).



A energia livre de formação do H_2O_2 anidro líquido vale, a 25°C, -28,78 Kcal/mol. O calor de decomposição para água oxigenada a 25°C do H_2O_2 puro líquido é de -23,44 Kcal/mole. O calor de dissociação do H_2O_2 vapor para dois radicais OH a 25°C é 52,66 Kcal/mol. A condutância específica do H_2O_2 100% é aproximadamente $4.10^{-7} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ a 25°C (EPA, 1999).

O peróxido de hidrogênio é fracamente ácido, com uma constante de dissociação de $1,5 \times 10^{-12}$. Portanto, soluções aquosas puras têm valores de pH abaixo de 7,0. Quanto a corrosão, soluções contendo acima de 8% de H_2O_2 em massa são classificadas como líquidos corrosivos, sendo que aqueles que apresentam até 52% devem ser armazenadas em reservatórios de alumínio ou polietileno. Acima desses valores, devem ser transportadas em tanques com dupla camada de alumínio. (BIRCHER, 1997). O conhecimento das reações químicas envolvendo os peróxidos de hidrogênio são fundamentais para as pesquisas.

Essas reações de peróxido de hidrogênio são importantes, pois todas as suas aplicações baseiam-se na decomposição, na adição ou na substituição conforme citadas a seguir:



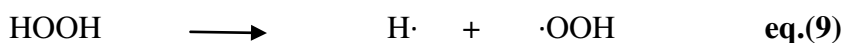
A maioria das reações podem ser simplificadas como mostra o quadro 3.

Quadro 3. Dissociações iônicas e não iônicas

	ΔH^0	ΔF^0 (kcal/mole)
Não iônicas		
$H_2O_2 (g) = H_2O (g) + O(g)$	+ 33.90	+ 25.60
$H_2O_2 (g) = 2H (g) + O_2 (g)$	+ 136.72	+ 122.41
$H_2O_2 (g) = H_2 (g) + 2O (g)$	+ 150.86	+ 135.23
$H_2O_2 (g) = 2H (g) + 2O (g)$	+ 255.04	+ 232.39
$H_2O_2 (g) = H (g) + O_2H (g)$	+ 90.	
$O_2H (g) = H (g) + O_2 (g)$	+ 46.	
Iônicas		
$H_2O_2 (aq) = H^+ + O_2H^-$	+ 8.2	+ 15.89

Fonte: h202 (2003).

Através dessas reações verifica-se que o peróxido de hidrogênio pode reagir como uma molécula ou primeiro ionizar ou ser dissociado em radicais livres, pela quebra das ligações H-O ou O-O conforme as reações: (EPA, 1999).



Os mecanismos de decomposição dependem de fatores tais como o pH, a temperatura e catalisadores que podem estar presentes ou não nas reações (EPA, 1999).

2.5. A Radiação ultravioleta (UV)

Superados os problemas técnicos de confiabilidade segurança, e econômicos entre outros, a desinfecção através da radiação ultravioleta tem demonstrado ser uma boa alternativa para a desinfecção. A radiação ultravioleta tem alto grau de inativação de microrganismos patogênicos em curto tempo de contato, e não produz resíduos tóxicos que afetam o meio aquático ou os sistemas de distribuição de água de abastecimento (WHITBY e PALMATEER, 1993).

A desinfecção por este sistema é feita com lâmpadas especiais de baixa pressão de mercúrio que emitem radiação em comprimento de onda aos microrganismos. Isto ocorre em reatores, que

são denominados de reatores fotoquímicos, construídos de material refletor para aumentar a eficiência dos mesmos. Muitos trabalhos vem sendo desenvolvidos comparando os custos do sistema de radiação ultravioleta com outros sistemas de desinfecção, em especial, a cloração. Neste capítulo foi apresentada a teoria envolvida neste sistema de desinfecção.

2.5.1. Espectro da radiação ultravioleta

Os raios de ultravioleta pertencem ao espectro eletromagnético, figura 2.2, e estão situados na faixa de 40 a 400 nm de comprimento de onda, entre os raios -X e a luz visível. A divisão aceita da radiação ultravioleta, em geral, é vácuo (40 a 200 nm), UV-C (200 a 280 nm), UV-B (280 a 315 nm) e UV-A (315 a 400nm) (SOBOTKA, 1993).

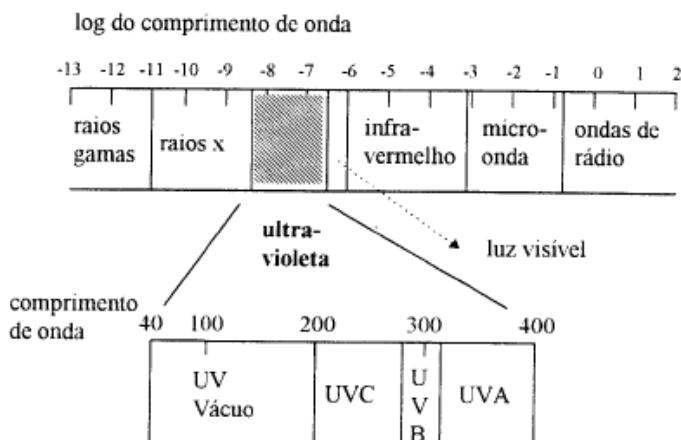


Figura 2. Espectro eletromagnético

Fonte: WOLFE (1990); Di BERNARDO (1993).

2.5.2. Lâmpadas germicidas

Para desinfecção de águas são aplicadas fontes artificiais de radiação ultravioleta baseado no uso de descarga elétrica nos átomos de mercúrio que se encontram na forma de vapor. As lâmpadas de radiação ultravioleta são divididas geralmente em dois tipos: alta-pressão e baixa-pressão. Entre as lâmpadas de alta-pressão, destaca-se a lâmpada com argônio/mercúrio e eletrodos epoxidados (fios de tungstênio envolvidos com estrôncio e carbonato de bário), com comprimento de ondas máximo na faixa de 365 a 366,3 (SOBOTKA, 1993).

As lâmpadas bactericidas ou germicidas, como são conhecidas comercialmente, de baixa-pressão são construídas com tubos de descarga feitos em vidro especial, como mostra a figura 3. A radiação aparece na lâmpada como resultado da descarga dos vapores de mercúrio em baixa-pressão (aproximadamente 0,001 nm). A potência das lâmpadas esta entre 15 e 60 W (SOBOTKA, 1993).

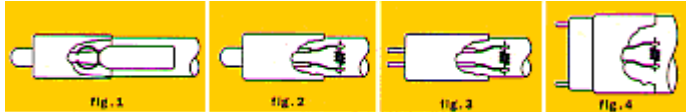


Figura 3. Bulbos das lâmpadas bactericida

Nestas lâmpadas aproximadamente 70% de toda potência emitida são de raios ultravioleta 60% desses raios em comprimento de onda de 253,7 nm, que é o comprimento de maior efeito bactericida ou germicida (SOBOTKA, 1993). Apesar da potência dessas lâmpadas ser baixa, estas são as mais usadas devido a sua alta durabilidade e economia (SOBOTKA, 1993).

Wolfe (1990) classifica as lâmpadas em baixa e média pressão; as lâmpadas de baixa pressão produzem uma faixa estreita de luz ultravioleta em que o pico está próximo do comprimento da onda de 254 nm. As lâmpadas de média pressão produzem uma faixa longa de luz ultravioleta. Tanto as lâmpadas de baixa pressão como as de média pressão tem ação de inativação equiparável. O tempo de vida das lâmpadas de baixa-pressão, em geral, é de 5000 a 10000 horas (WOLFE, 1990), considerando que as lâmpadas estejam ligadas por pelo menos 8 horas sem interrupção. Porém, ao longo do tempo de vida útil, ocorre a redução da potência emitida pela lâmpada, como mostra a figura 4.

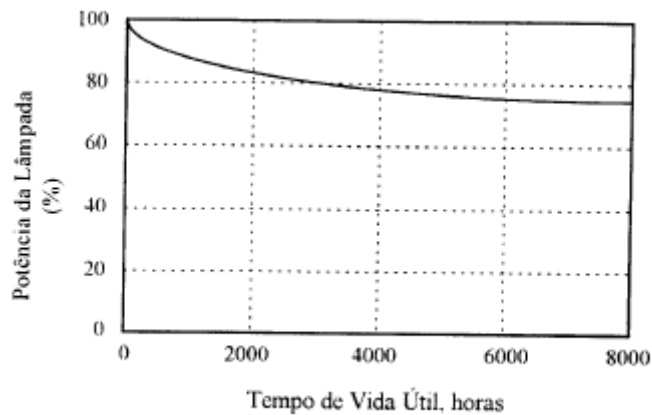


Figura 4. Declínio da potencia da lâmpada UV ao longo da vida útil
 Fonte: LOGE et al, (1996a,1996b).

2.5.3. Dose de radiação ultravioleta

Para os desinfetantes químicos, a dose é dada pela concentração em mg/l, entretanto a dose de radiação ultravioleta é o produto da intensidade de radiação bactericida (mW/cm^2) pelo tempo de exposição, como mostra a equação (QUALLS et al., 1983).

$$D = I \cdot t \quad \text{eq.(11)}$$

onde:

D: dose de radiação ultravioleta ($\text{mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$);

I: intensidade de radiação bactericida (mW/cm^2);

t : tempo de exposição (s);

A fração de sobrevivência $\frac{N}{N_0}$ é:

$$\frac{N}{N_0} = f(dose) \quad \text{eq.(12)}$$

Onde N_0 e N são respectivamente, quantidade de microrganismos antes e depois da radiação ultravioleta, e f (dose) representa a função da dose. As equações (17) e (18) sugerem que

a intensidade e o tempo de exposição possam ser variados reciprocamente para obtenção da mesma fração de sobrevivência (PIRES, 1997).

A partir de uma população homogênea de microrganismos juntamente com a cinética de “alvo-único” (“single-hit”), o log da fração de sobrevivência pode ser um função linear da dose recebida pelos microrganismos (Chick, 1998, Jagger, 1967, apud QUALLS e JONHSON, 1985). Entretanto, as curvas de log de sobrevivência pela dose para coliformes em afluentes secundários, demonstram-se não-lineares, em parte devido a natureza heterogênea da população e a presença de bactérias protegidas pela inclusão em partículas (PIRES, 1997) .

Em um sistema de fluxo contínuo - “flow-through” uma partícula pode ser submetida à variação de níveis de intensidade durante o período de exposição como mostra a figura 5.

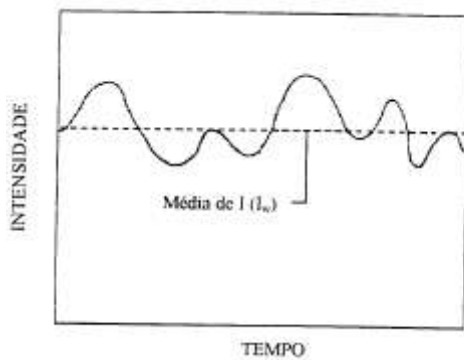


Figura 5. Intensidade durante o período de exposição
 Fonte: QUALLS e JONHSON (1985).

A dose que uma partícula recebe durante um pequeno intervalo de tempo $I dt$ e para um período determinado é :

$$D = \int_0^t I_w dt \quad \text{eq.(13)}$$

Onde o índice w , refere-se a fração de distribuição de intensidade médias sobre o tempo de exposição. Assim, a dose que uma partícula é submetida pode ser expressa pela média da variação da intensidade durante o tempo de exposição, multiplicado pelo tempo que a partícula gasta dentro da unidade, para um sistema de fluxo contínuo. No caso de um sistema tipo batelada

onde o sistema é fechado, a dose, como o produto da intensidade pelo tempo de exposição é facilmente entendida (PIRES, 1997).

A inativação de microrganismos é uma função exponencial com respeito a dose de exposição, em que parte da energia emitida pela fonte de radiação é absorvida por substâncias presentes na água como matérias dissolvidas, partículas em suspensão, e pela própria água. Esta absorção segue a lei de beer-Lambert (SOBOTKA, 1993).

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad \text{eq.(14)}$$

Onde:

I: intensidade e radiação que passa através da camada de água (W/cm²);

I₀: intensidade da radiação emitida pela fonte (W/cm²);

x: espessura da camada de água exposta à radiação (cm);

α: coeficiente de absorção ou absorbância (cm⁻¹).

O coeficiente de absorção α é dado em função da qualidade da água, principalmente em relação à turbidez e cor. (SOBOTKA, 1993).

2.5.4. Inativação dos microrganismos

2.5.4.1. Cinética de lesões únicas em alvos únicos

A inativação dos microrganismos através da radiação ultravioleta tem sua melhor eficiência em comprimento de onda entre 250 e 260 nm, sendo que a máxima eficiência ocorre no comprimento de onda de 253,7 nm. Os microrganismos atingidos pela radiação sofrem alterações no DNA, RNA ou em ambos, inativando-os como mostra a figura 6 abaixo (PIRES, 1997).

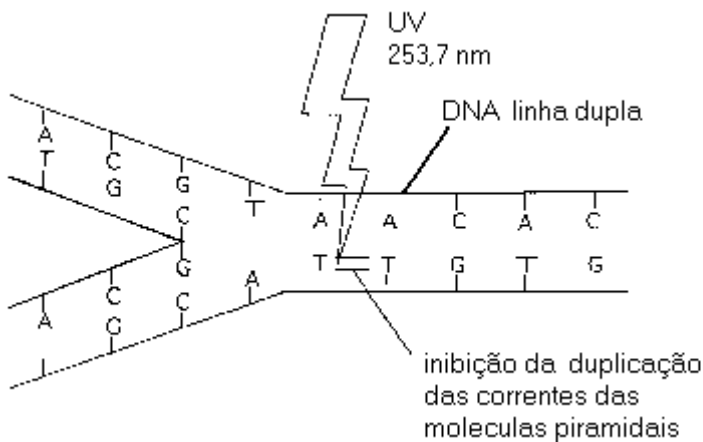


Figura 6. Mecanismo de inativação no DNA por UV

A inativação é dada pela função exponencial em relação à dose (SEVERIN, 1980).

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kIt} \quad \text{eq.(15)}$$

ou

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kIt \quad \text{eq. (16)}$$

onde:

N: microrganismos sobreviventes (UFC/ml);

N_0 : microrganismos iniciais (UFC/ml);

k: taxa constante de inativação (W s/cm^2)⁻¹;

I: intensidade de energia germicida (W/cm^2);

t: tempo de exposição (s);

A relação $\ln (N/N_0)$ da equação (16) é também conhecida por taxa de sobrevivência ou log de sobrevivência. Observa-se claramente que as relações anteriores, assemelham-se em muito com a lei de Chick, que relaciona a destruição de microrganismos com o tempo de contato para um desinfetante qualquer (PIRES, 1997).

Daniel (1993), baseado em observações empíricas (SEVERIN, 1980). Determina que as citadas equações (15) (16) tem como hipóteses básicas:

- A intensidade da radiação é constante através da camada líquida, a absorção pelo meio em suspensão é desprezível e o regime de escoamento é uniforme ou a câmara de desinfecção opera como um reator tipo batelada;
- A inativação é função da dosagem de ultravioleta (SEVERIN, 1980, HARM, 1980);
- Uma única lesão é suficiente para inativar microrganismos (HARM, 1980), e;
- A população é homogênea quanto à sensibilidade dos microrganismos à radiação ultravioleta (HARM, 1980).

2.5.4.2. Mecanismo de inativação do peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio atinge 99 por cento de inativação de vírus com dose de 3.000 mg/L com tempo de contato de 360 minutos ou 15.000 mg/L para 24 minutos (WOLFE et al., 1990).

O peróxido de hidrogênio por possuir um pH de 3 a 4 e ser corrosivo é responsável pela destruição das células das bactéria por corrosão das membranas celulares são destruídas, ocorre também a alteração na formação do DNA e RNA das bactérias (WOLFE et al., 1990).

2.6. A combinação H₂O₂/UV

Segundo Domènch e Jardim et al. (1999), a quebra da molécula de H₂O₂ é superior a da união O - O e tem um rendimento quântico quase unitário ($\phi \bullet\text{OH} = 0,98$ a 254nm) e produz quase quantitativamente $\bullet\text{OH}$ para cada molécula de H₂O₂.



A fotólise de H₂O₂ realiza-se quase sempre utilizando lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa ou média pressão. Cerca de 50% do consumo energético se perde em forma de calor ou de

emissões de baixa 185nm, que são absorvidas pela camisa de quartzo. Geralmente utilizam-se lâmpadas de 254nm, no entanto, visto que a absorção de H_2O_2 é máxima a 220nm, seria mais conveniente o uso de lâmpadas de Xe/Hg mais caras porém que trabalham entre 210-240nm (DOMÈNCH; JARDIM et al., 1999).

O processo fotoquímico é mais eficiente em meio alcalino já que a base conjugada de peróxido de hidrogênio tem maior absorbância para $\epsilon_{254} = 240 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ e em condições de fluxo turbulento para que a solução esteja sempre sendo misturada ao efluente e renovada (DOMÈNCH; JARDIM et al., 1999).

A utilização de UV/ H_2O_2 oferece muitas vantagens pelo fato do oxidante ser acessível, possuir baixo custo e ser termicamente estável, ser de fácil armazenamento e ser também infinitamente solúvel em água (DOMÈNCH; JARDIM et al., 1999).

O método UV/ H_2O_2 é um dos mais antigos processos de oxidação avançada e vem sendo utilizado com êxito não apenas para tratamento de efluentes domésticos mas também para tratamento de efluentes industriais para remoção de organoclorados alifáticos, aromáticos, fenóis clorados e pesticidas agrícolas (DOMÈNCH; JARDIM et al., 1999)

Segundo Polezi (2003) no caso de utilização de POA com o método UV/ H_2O_2 para degradação do BETX (benzeno, etilbenzeno, tolueno e xileno) pode-se observar uma degradação do BETX com redução de até 97%.

3. MODELAGEM TEÓRICA

3.1. Fundamentos

O estudo experimental foi composto de 3 etapas. Na primeira etapa foram realizados estudos preliminares com o peróxido de hidrogênio para que fosse possível determinar melhor concentração a ser utilizada e melhor tempo de contato com o propósito de obter dados para o esquema experimental da etapa seguinte.

Na segunda etapa foram realizados estudos com o sistema de radiação ultravioleta para verificar a eficiência bactericida do sistema e determinar as melhores doses para inativação dos microrganismos. Na terceira etapa foram realizados experimentos combinando a primeira e a segunda etapa.

O esquema de trabalho pode ser visto no quadro 4.

Quadro 4. Esquema de procedimentos experimentais

Etapa	Experimento
I	Estudos preliminares (H_2O_2)
II	Estudos preliminares UV e inativação de microrganismos
III	Processo combinado UV/ H_2O_2 eficiência do processo

3.2. Equipamentos

No quadro 5 foram descritos os equipamentos e acessórios necessários aos ensaios de desinfecção e metodologias de análises.

Quadro 5. Equipamentos e acessórios

Item	Equipamento e acessórios
01	Agitador mecânico
02	Autoclave
03	Bloco digestor
03	Bomba
04	DR – 4000
05	Espectrofotometro
06	Estufa de cultura bacteriológica
07	Geladeira
08	Incubadora bacteriológica
09	Lâmpada de UV
10	Leitor UV
11	Phmetro
12	Seladora quanti-tray
13	Turbidímetro

3.3. A Origem e a Caracterização do Efluente

O efluente a ser utilizado é de origem doméstica proveniente da lagoa anaeróbia, que pode ser vista na figura 7 abaixo, que esta situada na estação de tratamento de esgoto do bairro de Graminha, Município de Limeira - SP, Brasil, cedida pela concessionária do sistema de águas e esgotos do município, Águas de Limeira S.A. na ETE - Graminha.



Figura 7. Lagoa anaeróbica-ETE Graminha Limeira

Fonte: Foto retirada em fevereiro de 2003

3.3.1. Breve Histórico do Saneamento em Limeira

O departamento de águas em Limeira foi criado em 1900 e teve as suas primeiras redes em 1908 e as primeiras captações eram sem tratamento. A Fundação do SAAE iniciou seus trabalhos em abril de 1966 com a instalação da primeira ETA – Aliança para o progresso em 1967 (PREFEITURA DE LIMEIRA, 2003).

No final de 1980 ocorreu a descaracterização do SAAE com isso todo o serviço de drenagem urbana foi reestruturado, houve a transferência da receita e a perda da capacidade de contratação de financiamento. Somente em 1994 que Limeira passa a ter um novo sistema de saneamento com bons resultados com relação ao abastecimento de água, entretanto ainda enfrentando vários problemas operacionais e problemas no sistema de esgoto (PREFEITURA DE LIMEIRA, 2003).

O saneamento básico em Limeira de 1994 até 2001 adquiriu as seguintes caracterizações:

- 98% dos domicílios com ligação de esgoto, significando 54.981 imóveis
- Apenas 2% dos esgotos tratados: Limeira responsável por 20% da poluição da Bacia do Piracicaba

- Sistema de abastecimento de água em 100% dos domicílios
- Tratamento físico-químico convencional
- Investimentos abandonados e inacabados
- Alto índice de inadimplência
- Perdas físicas de 20%
- Empregados: grande quantidade, baixos níveis salariais, pouca motivação e falta de treinamento (PREFEITURA DE LIMEIRA, 2003).

3.4. Parâmetro de Controle para Desinfecção Utilizando Radiação UV

A eficiência do processo de desinfecção utilizando radiação UV depende diretamente da dose de radiação UV que efetivamente atinge os microrganismos presentes no efluente. Portanto, o cálculo correto da dose de radiação UV é um parâmetro imprescindível. Para tal, faz-se necessário a obtenção do tempo de detenção do efluente no interior do reator e a intensidade da radiação UV emitida pela lâmpada.

A avaliação do desempenho foi encontrada pelo monitoramento do efluente que passará pelos sistemas de desinfecção propostos no trabalho, onde foi verificado para cada ensaio os parâmetros já citados a fim de parametrizar doses médias e eficiência de cada processo de desinfecção.

3.4.1. Numero de microrganismos pré e pós desinfecção

O monitoramento do numero de microrganismos pré e pós desinfecção, respectivamente N_0 e N , foi necessário visto que a relação entre eles é diretamente proporcional à eficiência da desinfecção do sistema proposto.

3.4.2. Eficiência da desinfecção

A eficiência de desinfecção do sistema foi determinada por meio da equação (21)

$$E = - (\log N/N_0) \quad \text{eq. (18)}$$

onde:

E = eficiência

N_0 = numero de microrganismos vivos antes da desinfecção

N = numero de microrganismos vivos depois da desinfecção

3.4.3. Tempo de detenção ou tempo de residência

O tempo de detenção hidráulico ou tempo de residência é obtido por meio da variação de vazão do sistema. A relação existente entre vazão, volume e tempo de residência é dada pela seguinte equação valida para escoamento uniforme.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{eq. (19)}$$

onde:

Q = vazão (L/min)

V = volume do reator (L)

t = tempo de residência ou de detenção hidráulica (min)

Para o cálculo do tempo de residência foi utilizado um cronômetro para marcar o tempo necessário para completar um volume de 500 ml de água e então a partir daí, encontrar a vazão real.

3.5. Parâmetros monitorados nos ensaios de desinfecção

3.5.1. Determinação de Coliformes Totais

A quantificação de coliformes totais foi realizada por meio da determinação do NMP/100ml, utilizando o método de tubos múltiplos com auxílio esporádico de análises de Colilert que utiliza uma tecnologia denominada DST[®] - (Defined Substrate Technology) para analisar simultaneamente coliformes totais e *E. coli* e o método de tubos múltiplos utilizado seguiu padrão do Standard Method. As análises pelo método de Colilert foram utilizadas esporadicamente para comparativo entre elas e os dados obtidos por tubos múltiplos e foi verificado as variações de dados obtidos para posterior interpretações e replicadas para verificação final. É sabido com base nas literaturas que as análises podem diferir em resultados devido a grande manipulação de amostras e ensaios que os tubos múltiplos requerem e a porcentagem de erro por parte do operador.

O monitoramento do número de microrganismos foi pré e pós cada etapa da desinfecção, respectivamente N_0 e N , dada a importância da relação entre eles. A eficiência do sistema de desinfecção foi determinado por meio da eq. (18) já citada anteriormente.

3.5.2. Determinação da cor verdadeira e aparente

O termo usado é aqui para indicar a “cor verdadeira”, isto é, a cor da água na qual a turbidez foi removida. O termo “cor aparente” inclui não somente a cor devido a substâncias em solução, mas também devido à matéria em suspensão. A cor é determinada na amostra sem filtração ou centrifugação, apenas agitação. Essa agitação propicia ao término da análise um residual intitulado sobrenadante que fica presente no fundo dos tubos.

As cores aparente e verdadeira foram determinadas antes do processo de desinfecção e depois de cada fase da desinfecção, por procedimento do espectrofotômetro DR-4000 da marca HACH, onde a unidade de medida baseia-se no método APHA, que utiliza escala Platina-Cobalto como padrão.

3.5.3. Determinação do pH

O pH foi determinado antes e depois de todas as fases do processo de desinfecção, haja visto que é um parâmetro de máxima importância em qualquer meio reacional, pois o pH é capaz de alterar de maneira significativa nas várias reações de caráter físico-químico e atividades metabólicas em microrganismos e organismos superiores. Utilizar-se-á o pHmetro calibrado, modelo Q-400 A .

3.5.4. Determinação da turbidez

A turbidez é de grande importância para a desinfecção por UV pois pode alterar significativamente a eficiência devido a presença de partículas em suspensão que podem atrapalhar a passagem da luz e servir de escudo para os microrganismos. Para a medida da turbidez foi utilizado um turbidímetro da marca HACH, modelo 2100 NA, que correlaciona os resultados segundo determinações nefelométricas, por meio do método APHA do Standard Methods. A calibração do equipamento foi efetuada com soluções padrões de formazina.

3.5.5. Determinação da concentração de H₂O₂

Neste trabalho foi utilizado três concentrações de solução de peróxido de hidrogênio com composição de solução de H₂O₂ a 9,0% ativo, a 6,0% ativo e a 3,0% (massa /volume) de solução aquosa cedido pelo laboratório Tayuyna Ltda. O peróxido de hidrogênio, por si só, já configura-se como tratamento preliminar quando colocado em contato com o esgoto. Esse tratamento é foi avaliado e verificado conforme suas diferentes concentrações empregadas e seus diferentes tempos de contato.

A concentração foi determinada em correlação a mistura homogênea em reator com o efluente em razão de mililitro de efluente por miligrama de solução de H_2O_2 ; para que ao término do estudo fosse possível verificar qual a melhor composição para uma maior eficiência com um menor custo.

3.5.6. Determinação dos Sólidos Suspensos

Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Os sólidos podem ser classificados através das suas características físicas - tamanho, químicas, e quanto à decantabilidade.

Como apresenta a figura 8, as partículas menores capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado, correspondem aos sólidos dissolvidos enquanto que os retirados pelo papel do filtro são os sólidos em suspensão. A rigor os termos sólidos filtráveis e não filtráveis são mais adequados. Em uma faixa intermediária situam-se os sólidos coloidais.

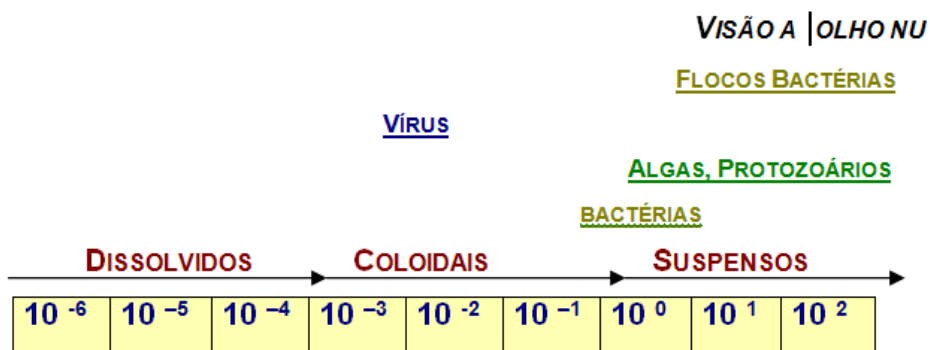


Figura 8. Distribuição dos sólidos em função ao tamanho da particular

Fonte: Adaptada do Ministério da Saúde (1990).

Com relação às características químicas ao submeter as temperaturas acima de $550^{\circ}C$ a fração orgânica é volatilizada sendo encontrados após a combustão apenas a fração inorgânica que podem ser divididas em sólidos voláteis que é uma estimativa de matéria orgânica no solo e os não voláteis é a matéria inorgânica ou mineral.

Quanto à decantabilidade consideram-se sólidos decantáveis aqueles que são capazes de sedimentar no período de 1h.

O valor é expresso em ml/l e a fração que não sedimenta que corresponde aos sólidos não sedimentáveis - normalmente não expressos nos resultados de análise.

A determinação de sólidos suspensos obedece aos padrões estabelecidos de acordo com os padrões da APHA do Standard Methods como explicado na figura 9. A compilação desses dados de referencia e suas respectivas variáveis e sub-variáveis poderão ilustrar uma representação estatística para pesquisas futuras.

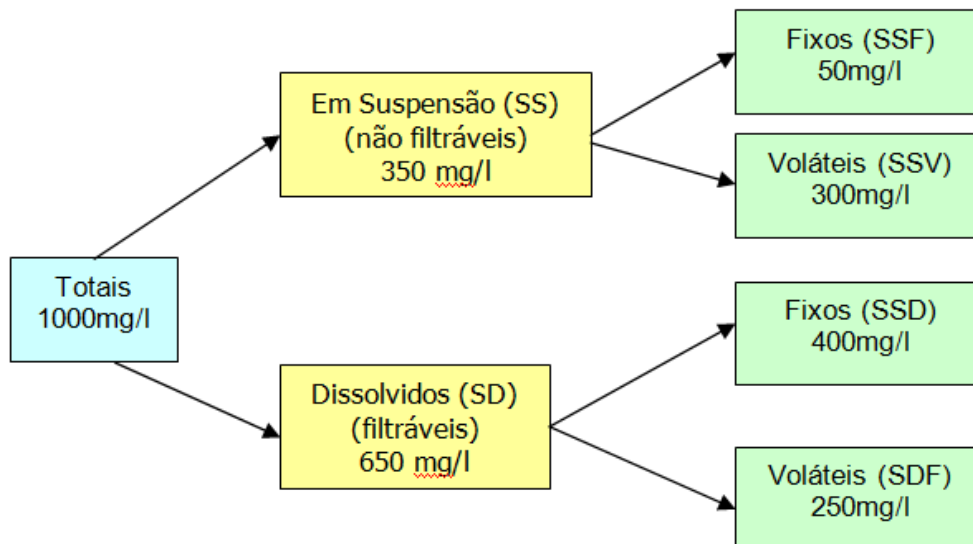


Figura 9. Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto (concentração)

Fonte: Adaptada do Ministério da Saúde (1990).

3.5.7. Determinação da DQO

A demanda química de oxigênio (**DQO**) indica a quantidade de oxigênio que seria consumido através de reações químicas de oxidação de diversos compostos orgânicos presentes, sem a intervenção de microrganismos, indicando de maneira indireta a quantidade de matéria orgânica presente no líquido.

Utiliza-se um composto químico fortemente oxidante, que em meio ácido, reage com a matéria orgânica passível de oxidação, transformando-se em dióxido de carbono e água. Na maioria das amostras, a quantidade de compostos oxidáveis quimicamente é maior que aqueles que podem sofrer oxidação biológica, desta forma a **DQO** é maior que a **DBO** (demanda bioquímica de oxigênio). Para certos resíduos é possível estabelecer uma relação empírica entre estes dois parâmetros.

3.6. Aparato experimental

O aparato experimental consiste em:

- reator fotolítico UV
- reator de mistura completa
- bomba ASKROLL

Na figura 10 abaixo é possível a visualização do sistema completo de desinfecção.

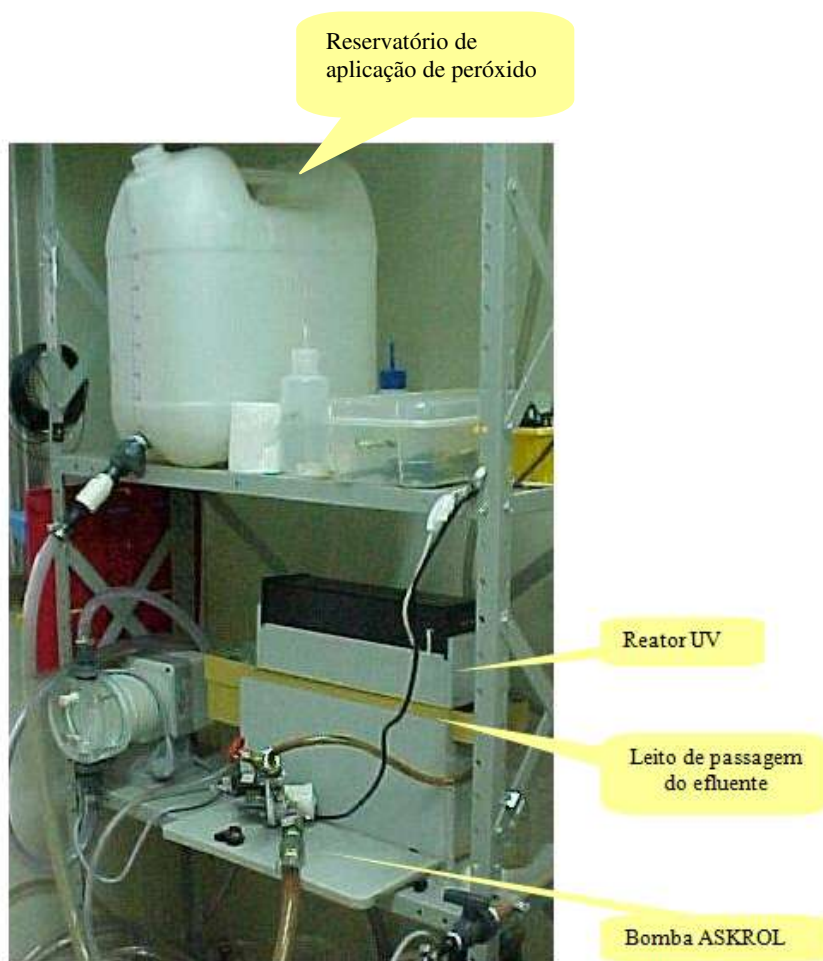


Figura 10. Sistema de desinfecção combinado H_2O_2 /UV

3.6.1. Reator fotolítico UV

O reator fotolítico utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa, está apresentado nas figuras 11 e 12 produzido junto ao laboratório de saneamento, FEC/UNICAMP.

Trata-se de um equipamento de fluxo contínuo, com lâmpada UV de 30W, comprimento de onda com emissão máxima a 254 nm, intensidade de radiação de $11,26\text{mW/cm}^2$ e volume interno útil de 1.15 litros. O leito de passagem do efluente, vivendo a desinfecção, este apresentado na figura 13.

É constituído por um corpo trapezoidal com base retangular de madeira. A base e o leito são revestidos com espelho no seu interior, com 40,0 cm de comprimento e 10,0 cm de largura. O volume útil do reator foi medido em uma proveta.

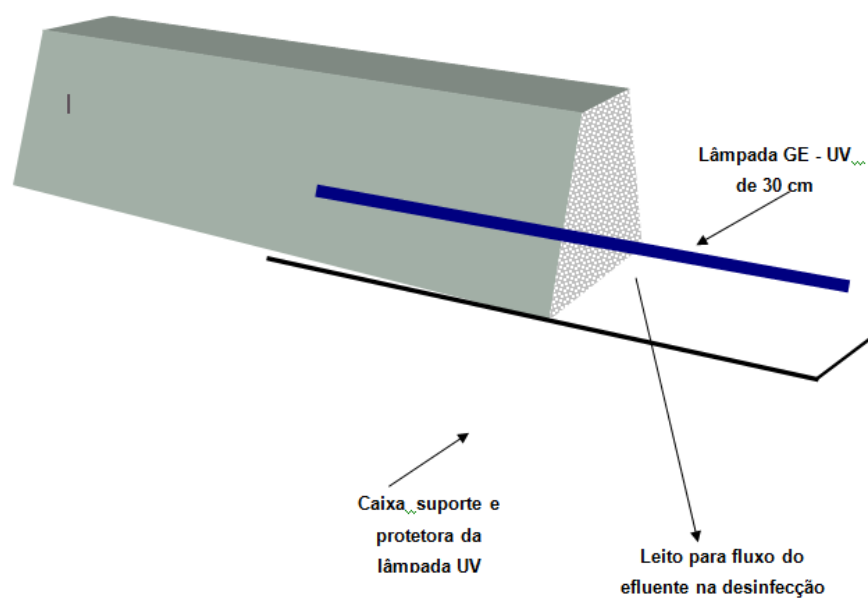


Figura 11. Reator fotolítico com uma lâmpada de UV



Figura 12. Foto de reator fotolítico com uma lâmpada de UV

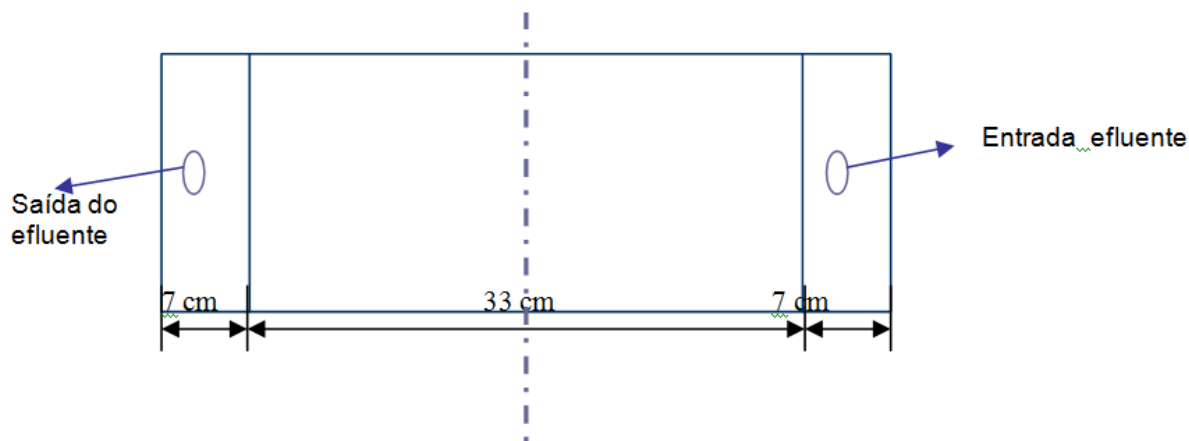


Figura 13. Representação esquemática em corte, referente a passagem do fluxo do efluente no Reator fotolítico

3.6.2. Reator de mistura completa de H_2O_2

O reator de mistura completa, mostrado na figura 14, foi utilizado neste trabalho foi uma adaptação de um tonel de 20 litros produzido comercialmente e ao qual foi adaptado um misturador mecânico.

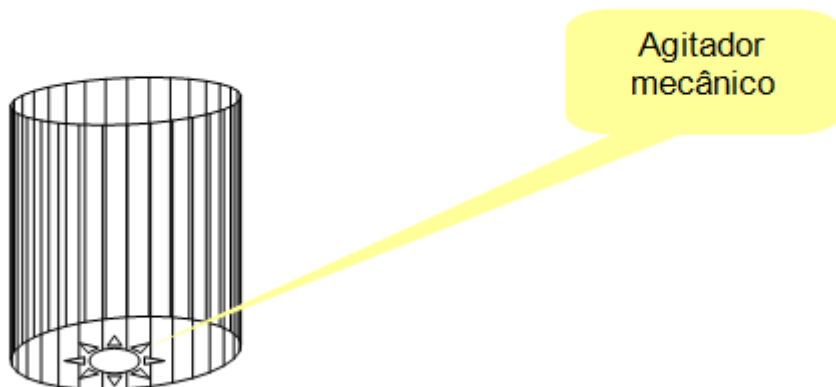


Figura 14. Reator mistura completa

Para as etapas apresentadas na figura 15 foram analisadas as variações: das vazões, do tempo de contato, das doses de exposição a luz ultravioleta e as variações das concentrações do produto químico peróxido de hidrogênio. O esgoto aflrente à unidade proveniente da lagoa anaeróbia que ficou armazenado neste reator de mistura completa, passando por uma tubulação

sendo levado até o reator fotólítico para continuidade do processo de controle de vazão, espessura da lamina, tempo hidráulico, volume de entrada e controle da concentração de entrada para que possibilite fazer o balanço material na saída do reator.

Ao término, analisadas as variações, foi feita a repetição e a linearização dos dados para que o objetivo de determinação do comportamento dos parâmetros indicados para a eficiência dos diferentes tratamentos: UV, H_2O_2 e H_2O_2/UV).

A utilização de reator produzido comercialmente necessitou de adaptações para que as variáveis e parâmetros do experimento não fossem descaracterizados, com isso. O reator de peróxido de hidrogênio, produzido comercialmente, sofreu três adaptações:

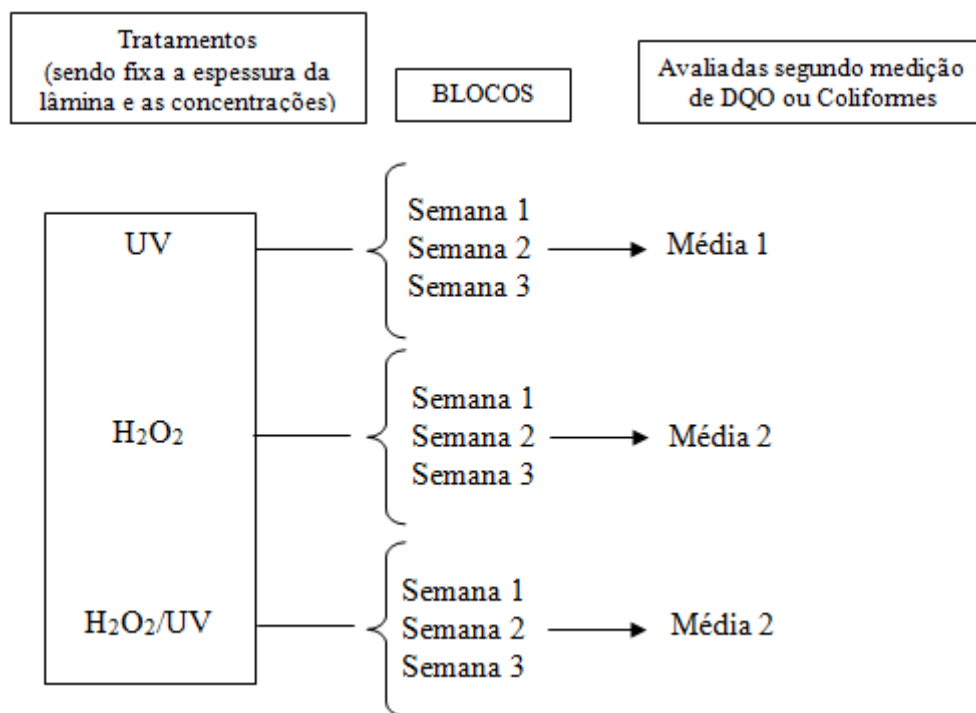
- a) inserção de um misturador mecânico;
- b) inserção de tubulação para saída da mistura, e
- c) adaptação de um registro para coleta de amostra.

O peróxido de hidrogênio utilizado foi doado pela empresa TAYUYNA-ADV® este foi entregue em recipientes de 2 litros. Cada caixa com 10 recipientes e três concentrações distintas: nas concentrações de 0,3%, 0,6% e 0,9% massa, lote 5698/03.

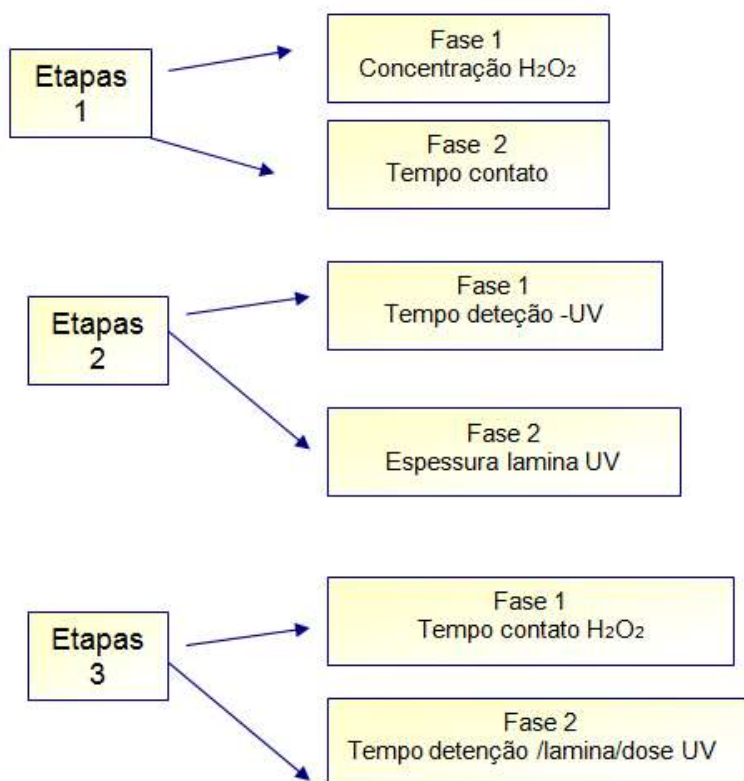
3.7. Métodos

O estudo experimental foi desenvolvido conforme mostram os fluxogramas 1 e 2, onde são valorizadas as etapas avaliadas.

Adequando o planejamento à aplicação de uma interpretação estatística recomendou-se:



Fluxograma 1. Resumo dos experimentos



Fluxograma 2. Resumo dos experimentos

Na etapa 1, fases 1 e 2 o efluente da lagoa anaeróbia foi colocado em contato com as concentrações de peróxido para que fosse possível verificar qual a melhor concentração a ser utilizada e qual o tempo de contato necessário para que a concentração encontrada tivesse capacidade de inativação de 3 ordens de magnitude de Coliformes totais presente no efluente da lagoa anaeróbia e com menor gasto de peróxido.

Para isso, foi necessário 10 mg/L de peróxido de hidrogênio com tempo de contato de 52 minutos, o que fixou três ordens de magnitude de remoção, mas elevou o gasto de energia. Para tal ao longo do experimento o tempo de contato foi reduzido drasticamente, e mesmo assim conseguiu-se eficiência no processo devido ao controle das concentrações de peróxido de hidrogênio aplicadas.

Na etapa 2, fases 1 e 2 o efluente da lagoa anaeróbia passou pelo reator fotólítico para que fosse encontrado o melhor tempo de detenção hidráulico que foi de 2 minutos e a espessura da lamina mais adequados que foi de 2 cm para que os dados encontrados tivessem capacidade de inativação de 2 ordens de magnitude de Coliformes totais presente no efluente da lagoa anaeróbia.

Já na etapa 3, fases 1 e 2 foram combinados os dados da etapa 1 e etapa 2 e o efluente utilizado proveniente da lagoa já recebia a dose e a concentração pré determinada pelas duas etapas anteriores, entretanto foi necessário fazer o ajuste final do tempo de contato do peróxido de hidrogênio que decaiu para 12 min com tempo de detenção hidráulica no reator de UV com $t = 2s$, espessura da lamina de 2 cm e dose de $22,52 \text{ mW. s/cm}^2$. Na etapa três foram combinados os dados e os processos para equivalência de um proposto novo tratamento.

Com esses dados foi possível atingir uma inativação de 3 ordens de magnitude de Coliformes totais e 4 ordens de magnitude de *E. coli*, lembrete que isso varia conforme as características do efluente proveniente da lagoa anaeróbia. Quanto mais elevado a concentração de Coliformes totais maior o decaimento da magnitude de inativação. As ordens de magnitude

para remoção ao longo do experimento variaram conforme as características dos efluentes coletados.

Faz-se necessário entender que quanto mais elevada a concentração de coliformes, maior era o decaimento de inativação e por conseguinte maior a ordem de inativação. O tempo de contato e a espessura da lamina foram parâmetros importantes para a eficiência das reações. A espessura da lamina é de fundamental importância pois quanto menor a espessura mais fácil a degradação e inativação dos coliformes diminuindo assim, a necessidade de um maior tempo de contato ou da recirculação do efluente pelo sistema..

Nos quadros 6 e 7 são mostrados resumidamente os experimentos realizados nas etapas 1 e 2; e na figura 15 são mostrados de forma esquemática a desinfecção.

Quadro 6. Descrição das fases 1 e 2 realizadas na Etapa 1 da pesquisa

Experimento	Tempo de contato (min)	H₂O₂ (mg/L)
1	15	2
2	20	10
3	30	20
4	45	30
5	10	10
6	15	10
7	20	10
8	30	10
9	35	10
10	40	10
11	45	10
12	48	10
13	51	10
14	54	10
15	60	10

O quadro 7, indica a descrição das fases 1 e 2 dos experimentos realizados na etapa 2 da pesquisa. Esse quadro mostra as espessuras das laminas de efluente em relação ao tempo necessário de contato e a vazão utilizada nesse fase.

Quadro 7. Descrição das fases 1 e 2 realizadas na Etapa 2 da pesquisa

Espessura da lamina (cm)	Tempo de detenção (s)	Vazão (L/min)
1	2	0,15
1,5	2	0,25
2,0	2	0,33

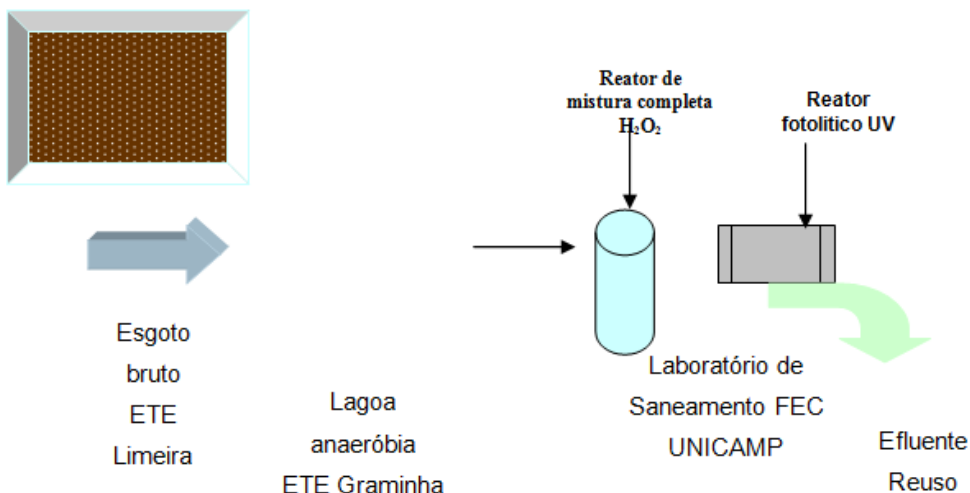


Figura 15. Esquema das etapas da desinfecção por POA

O fluxo contínuo de aplicação de efluentes no reator de UV permite uma melhor utilização da radiação ultravioleta devido a superfície exposta a radiação. A vantagem da continuidade consiste também na não sedimentação de detritos no leito de passagem do efluente. Operação a qual eleva o custo do tratamento significativamente.

3.8. Procedimento Experimental

Os procedimentos analíticos foram realizados junto ao Laboratório de Saneamento do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP.

3.9. Cronograma das análises

Para o cronograma das análises foi realizado o mapa de planejamento com parâmetros, datas de coleta dos efluentes, disponibilidade do laboratório e aplicação das análises a serem realizadas. A implicação desse cronograma foi o período de frequência das análises e da caracterização de todos os tratamentos em correspondência aos parâmetros e períodos. Os parâmetros analisados e a frequência média das análises que foram realizados nos ensaios estão apresentados no quadro 8.

Quadro 8. Parâmetros e frequência das análises

Parâmetros a serem analisados (1)	Frequência das Análises	Efl. Lagoa Anaeróbia	Efl. Após UV	Efl. após H ₂ O ₂	Efl. Após H ₂ O ₂ /UV
Temperatura	Semanal	X	X	X	X
pH	Semanal	X	X	X	X
Turbidez/Cor	Semanal	X	X	X	X
Alcalinidade	Semanal	X	X	X	X
DBO	Trimestral	X			X
DQO	Quinzenal	X	X	X	X
Sólidos Suspensos	Quinzenal	X	X	X	X
Coliformes Totais	Quinzenal	X	X	X	X
Vazão	Semanal	X	X	X	X
Tempo contato	Semanal			X	X
Concentração	Semanal		X		X
Dose de UV	Semanal			X	X

Fonte: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1992), exceto quando especificado outra metodologia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para os diversos parâmetros descritos, estão apresentados sob a forma de quadros e gráficos contendo valores médios obtidos, para as diversas fases de operação, de modo a facilitar a compreensão dos dados. A tabela abaixo e o gráfico 1, mostram as coletas realizadas a longo dos meses, o que elucida de forma clara e objetiva os tratamentos realizados no estudo de pesquisa.

Os quadros seguintes fornecem resultados sobre o comportamento de cada parâmetro, frente a cada processo de desinfecção. Eles foram apresentados neste capítulo, de forma seqüencial, contendo a descrição dos parâmetros relacionados.

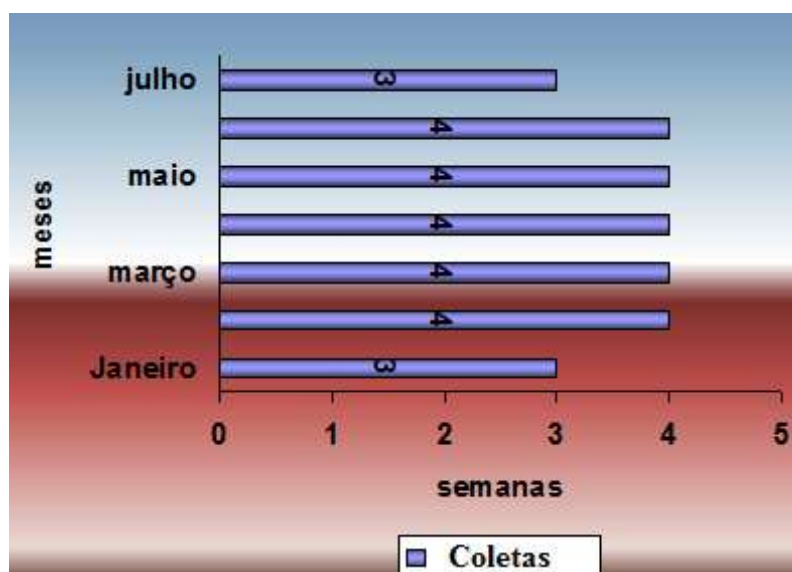


Gráfico 1. Coletas ao longo dos meses

A Estatística Experimental utilizada teve como objetivo o estudo dos experimentos, incluindo o planejamento, execução, análise dos dados e interpretação dos resultados obtidos. O tratamento que designa o método englobou as unidades experimentais que caracterizou cada amostragem de água coletada na ETE de limeira em referência ao período descrito anteriormente. Cada mês foi composto por quatro semanas de coletas com coletas a cada três dias totalizando duas

coletas por semana e oito coletas no mês. Salvo os descartes devido a intempéries e problemas técnicos cada mês contou com 4 blocos de coletas formando assim, o delineamento experimental.

Esse plano determinou como cada tratamento foi distribuído e posteriormente analisado ao longo da pesquisa. No que tange as variáveis em análise, cada parâmetro implicou em uma variável e foram analisados conjuntamente, como por exemplo, a diferença de DBO removida em função da qualidade do efluente obtido após cada tratamento.

Os tratamentos foram realizados conforme os objetivos e em cada etapa individualizada, levando em consideração as dosagens e concentrações do peróxido de hidrogênio e o tempo de contato e o mesmo foi determinado para o peróxido de hidrogênio concomitantemente com o emprego da radiação ultravioleta. A aleatorização da coleta foi feita com base na sequência de coletas de três em três dias e com isso foi designado sempre a primeira e a terceira coleta de cada mês.

A opção em escolher o processo H_2O_2/UV , esta em ser dentre os tipos de POA o que seria de mais fácil operação e menor adição de substâncias químicas.

Como exemplo, pode-se verificar que no processo foto-fenton existe a necessidade de abaixar o valor do pH para aproximadamente 3,0, logo seria inadequado com relação a custos, e tempo, além de ser inadequado para despejo em curso d'água. Quanto a utilização de dióxido de titânio assistido por UV, a tecnologia de aplicação e aderência do dióxido de titânio na parede do reator ainda é complexa, e no caso de misturá-lo ao efluente a remoção do mesmo é mais complexa e custa ainda.

O ponto A de coleta de onde provem o efluente da lagoa anaeróbia esta sendo mostrado na figura 16 logo abaixo.



Figura 16. Ponto A saída da lagoa anaeróbia

Conforme a figura acima apresentada, observamos o ponto A de coleta do efluente para o processo de desinfecção e para as análises físicas e químicas.

4.1. Resultados por parâmetros

Os resultados experimentais obtidos para *E.coli* e coliformes totais nos ensaios utilizando radiação UV – fotólise para o efluente da lagoa anaeróbia, e para o efluente da lagoa anaeróbia acrescido de 10mg/L de peróxido de hidrogênio com suas características físico-química, bacteriológicas e respectivas eficiência da desinfecção estão relacionados nas tabelas 1 e 2, os quais foram discutidos posteriormente.

Tabela 1. Características do efluente irradiado por UV

Ensaio	Turbidez L A (NTU)	Turbidez L A + H ₂ O ₂ (NTU)	Cor Aparente LA (UC)	Cor Aparente LA + H ₂ O ₂ (UC)	Cor Verdadeira LA (UC)	Cor Verdadeira LA + H ₂ O ₂ (UC)	pH LA	pH LA + H ₂ O ₂
1	178	157	> 515	285	485	140	7,21	7,25
2	180	112	>515	225	412	109	7,39	7,7
3	200	80	>515	320	490	250	7,16	7,21
4	165	62	460	187	400	42	7,06	7,14
5	186	55	479	195	415	50	7,09	7,18
6	196	108	460	209	408	66	7,27	7,34
7	215	71	479	286	445	75	7,42	7,44

Observa-se pelos resultados relacionados na tabela 3 que o efluente apresenta variações de cor e turbidez de >515 a 460 UC 215,0 a 165,0 NTU, respectivamente para o efluente da Lagoa e variações de cor e turbidez de 320,0 a 187,0 UC 157,0 a 62,0 NTU para o efluente da lagoa com adição do peróxido de hidrogênio. Com a finalidade de se obter a melhor dose de inativação, o tempo de detenção foi variado de 1 a 2 s (respectivamente 12 a 23,0 mWs/cm²).

O pH foi monitorado antes e após a desinfecção, devido a influência significativa que exerce em diversas reações.

Tabela 2. Doses e eficiência do efluente com 10mg/L H₂O₂ irradiado por UV por meio da quantificação de Coliformes totais (NMP/100 ml)

Ensaio	N (NMP/100ml)	N (NMP/100ml)	Dose (mWs/cm ²)	Eficiência (-log N/N ₀)
1	1,9E05	3,2E02	22,5	2,77
2	9,8E04	1,6E01	22,5	3,78
3	0,6E06	5,6E03	22,5	2,03
4	2,5E05	2,0E02	22,5	3,09
5	0,1E06	3,7E03	22,5	2,56
6	0,9E05	6,4E02	22,5	2,14
7	0,1E04	4,2E01	22,5	2,37
8	1,9E03	0,9E01	22,5	2,08

Tabela 3. Doses e eficiência do efluente com 30 mg/L H₂O₂ irradiado por UV

Ensaio	N (NMP/100ml)	N (NMP/100ml)	Dose (mWs/cm ²)	Eficiência (-log N/N ₀)
1	2,01E05	21	22,5	2
2	3,6E04	9	22,5	2,66
3	8,7E06	3	22,5	3,38
4	7,5E05	1	22,5	3,8
5	1,4E06	<1	22,5	3,44
6	3,0E05	<1	22,5	3,47
7	4,4E04	1	22,5	2,64

Tabela 4. Doses e eficiência do efluente com 30 mg/L H₂O₂ irradiado por UV

Ensaio	N (NMP/100ml)	N (NMP/100ml)	Dose (mWs/cm ²)	Eficiência (-log N/N ₀)
1	2,01E05	21	22,5	2
2	3,6E04	9	22,5	2,66
3	8,7E06	3	22,5	3,38
4	7,5E05	1	22,5	3,8
5	1,4E06	<1	22,5	3,44
6	3,0E05	<1	22,5	3,47
7	4,4E04	1	22,5	2,64

Verificou-se que uma dose de aproximadamente 11,6 mWs/cm² foi suficiente para inativar até 2 ordens de magnitude a qualidade do efluente em termos de efluente, quanto o efluente já com peróxido a dose suficiente para inativar até 3 e 4 ordens de magnitude foi de 20 a 22,5 mWs/cm². As doses tem direta relação com o custo final e a implantação do tratamento proposto. No entanto, far-se-á necessário para futuros trabalhos, um levantamento determinísticos das porcentagens de acréscimo das doses nos custos e uma correlação entre custos e inativações.

A EPA(1999) cita que para remoção de até 2 ordens de magnitude de bactérias e vírus são necessários de 5,0- 25,0 mWs/cm² de dose. Levando-se em conta todos os resultados obtidos para E.coli do efluente da lagoa anaeróbia, resguardando-se inclusive as condições apresentadas quanto ao porte do experimento, pode se afirmar que a dose encontrada condiz com parâmetros já encontrados na literatura.

Cabe-se ressaltar que um dos fatores que se deve levar em conta sempre é o grau de remoção que se deseja ou se necessita atingir e também as condições do efluente a ser tratado.

4.1.1. Valores de pH

O pH é de grande importância para a desinfecção dos efluentes provenientes da lagoa anaeróbia no desenvolvimento dos processos oxidativos avançados (POA) com utilização de peróxido de hidrogênio e UV.

Devido ao fato que, a concentração de íons H^+ pode alterar as reações de caráter físico, químico e nas atividades metabólicas em microrganismos e organismos superiores.

No gráfico 2 são descritas as variações no pH. A média geral e desvio padrão para o pH em todos os processos, incluindo afluente - lagoa anaeróbia e melhor resultado de desinfecção do afluente lagoa anaeróbia foi de $7,9 \pm 0,3$.

O maior valor de pH encontrado foi de 7,7 no efluente da lagoa anaeróbia com peróxido de hidrogênio e o menor também do efluente da lagoa anaeróbia em contato com o peróxido de hidrogênio e a enzima catalase foi de 6,6. A grande maioria dos valores de pH estiveram na faixa de 7,06 a 7,4 durante os três processos, valores estes ótimos para o tratamento de esgoto.

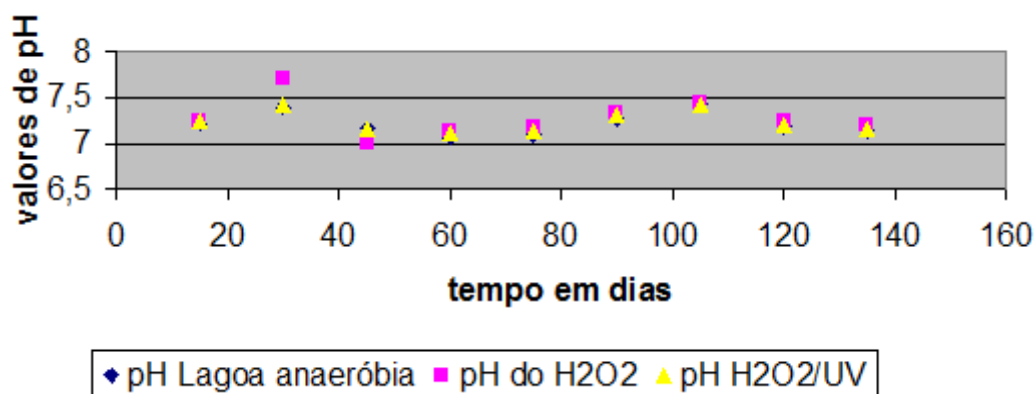


Gráfico 2. Valores de pH para os processos ao longo do tempo

Independentemente do valor da lagoa anaeróbia, o pH após desinfecção também se manteve perto de 7,0 para os três processos.

Visto que a cidade de Limeira tem entre as suas principais atividades econômicas a produção artesanal de bijuterias. Em muitos desses processos, realizados por pequenas empresas caseiras, parte dos produtos químicos utilizados nos processos de confecção das peças é despejada, na rede coletora de esgotos causando quedas abruptas de pH e nem sempre sendo detectada já que as coletas são semanais.

Foi realizada uma coleta no período noturno no horário das 21:00 h e coletas nos domingos no horário das 10h00 nos meses de março e abril de 2003, para que se tentasse detectar descarte de algum tipo de produto que pudesse causar queda ou aumento do pH. Nesses dias os valores de pH ficaram entre 6,7 e 6,9, não tendo nenhuma alteração significativa. Mesmo com a aleatorização da coleta das amostras em datas e horários diferentes ficou determinado os dados apresentados

4.1.2. Valores de alcalinidade

Os resultados contidos na tabela 5 e os gráficos 3 e 4, indicam que os processos de desinfecção não apresentaram grandes alterações no que tange a alcalinidade.

Tabela 5. Valores médios da alcalinidade para H_2O_2 e UV/ H_2O_2 para as análises (efluentes após aplicação tratamento UV)

Tempo em dias	Alcalinidade total lagoa anaeróbia mg $CaCO_3.L^{-1}$	Alcalinidade parcial da lagoa anaeróbia mg $CaCO_3.L^{-1}$	Alcalinidade total após H_2O_2 mg $CaCO_3.L^{-1}$	Alcalinidade parcial após H_2O_2 mg $CaCO_3.L^{-1}$	Alcalinidade total após H_2O_2/UV mg $CaCO_3.L^{-1}$	Alcalinidade Parcial H_2O_2/UV mg $CaCO_3.L^{-1}$
15	312	285	165	103	164	100
30	290	248	175	98	171	95
45	266	195	140	65	141	63
60	213	129	125	57	127	60
75	257	206	156	92	152	88
90	230	188	116	62	118	61
105	299	214	195	121	186	112
120	246	198	190	136	178	130
135	260	179	137	62	130	58

A alcalinidade total depois da desinfecção por peróxido teve uma amplitude de variação de 116,0 a 195,0 mg CaCO₃.L⁻¹, a alcalinidade depois da desinfecção por peróxido e UV teve uma variação de 118,0 a 186,0 mg CaCO₃.L⁻¹.

Não tendo apresentado variações significativas entre os processos. Verificou-se que a alcalinidade parcial teve uma amplitude de variação bastante significativa para os processos em termos de eficiência e em termos de comportamento do sistema, como mostra o quadro acima e as figuras 19 e 20 abaixo.

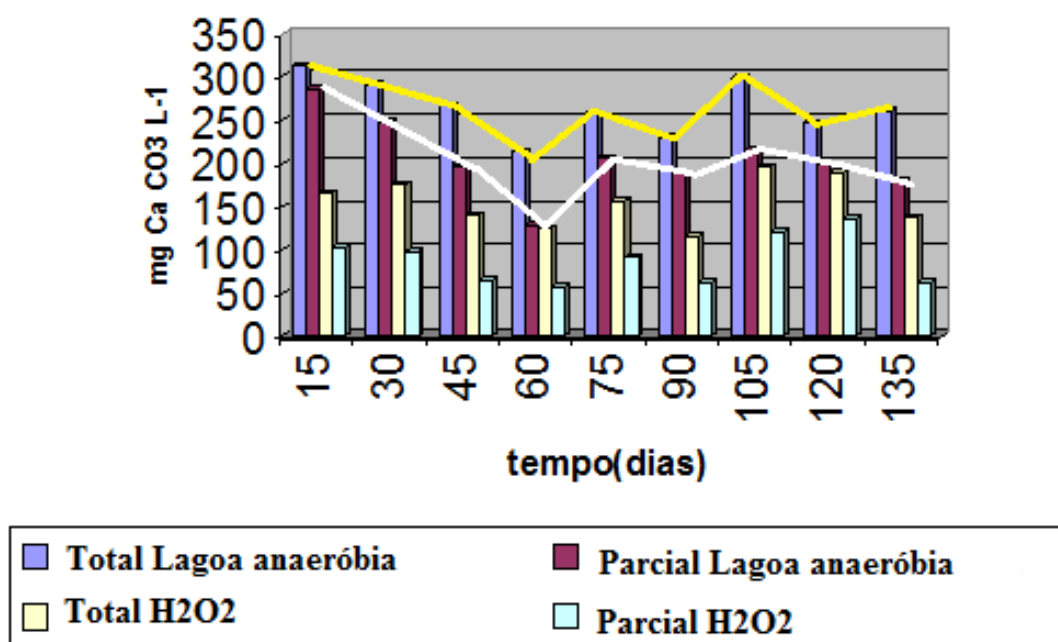


Gráfico 3. Alcalinidade H₂O₂ ao longo do tempo

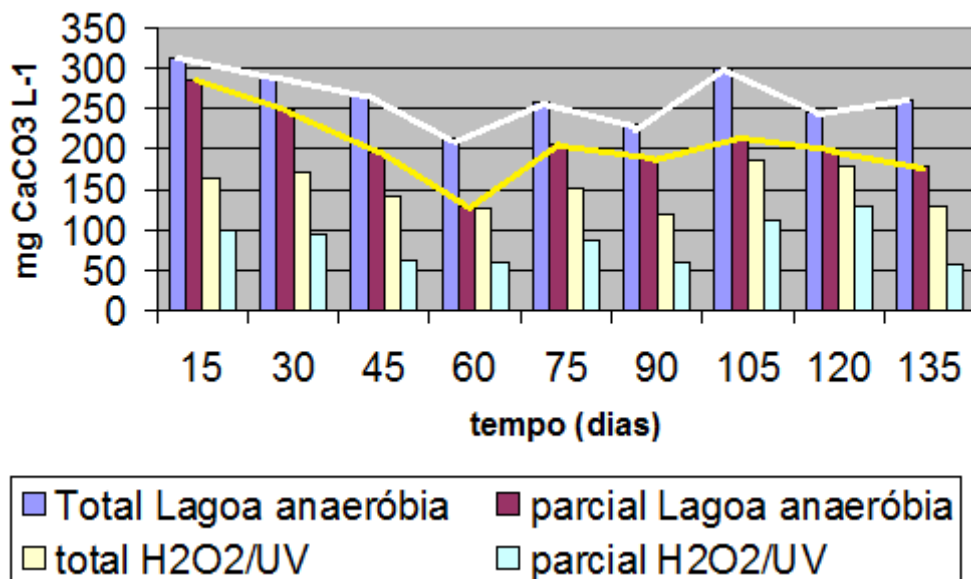


Gráfico 4. Alcalinidade H₂O₂/UV ao longo do tempo

4.1.3. Valores de DQO (demanda química de oxigênio)

De acordo com o gráfico 5 os valores de DQO do afluente da lagoa anaeróbia apresentaram uma grande variação nas amostras, estando a maioria dos valores compreendidos entre 450 a 1000 mg O₂. L⁻¹, estando também à média com os seguintes valores $727,46 \pm 183,00$ mg.O₂.L⁻¹. Os valores de eficiência de remoção parcial, eficiência de remoção de DQO entre a primeira amostra e a 3^a (mudança de mês de coleta da lagoa anaeróbia, alterando com isso a carga do afluente).

Estes valores altos da DQO ocorreram devido ao fato de que ainda não estava sendo empregado a catalase com a finalidade de interromper a reação, e por isso, o peróxido de oxigênio continuava a reagir e quando entrava em contato com os reagentes da DQO os valores ultrapassavam a casa dos 1000 mg para mg O₂. L⁻¹.

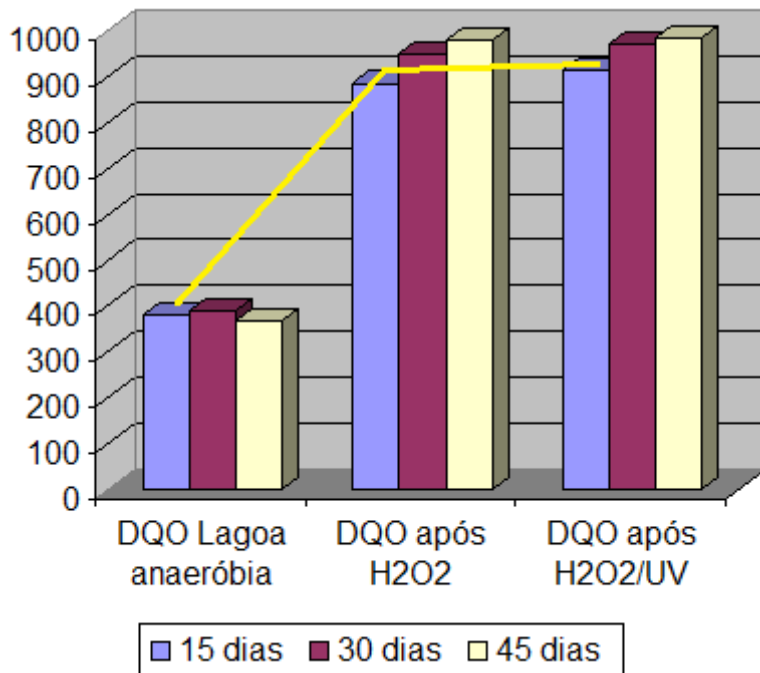


Gráfico 5. DQO-ao longo do tempo

Após resolvido o problema é possível verificar, os valores de remoção de DQO representados na tabela 6 e a eficiência da remoção da DQO ao longo do tempo no gráfico 6 e também na mesma figura é possível verificar alguns picos de eficiência, como no septuagésimo terceiro dia que a porcentagem de remoção da DQO chegou a 92%, isto também está atrelado a carga da lagoa que ao longo do processo apresentou-se bastante variável

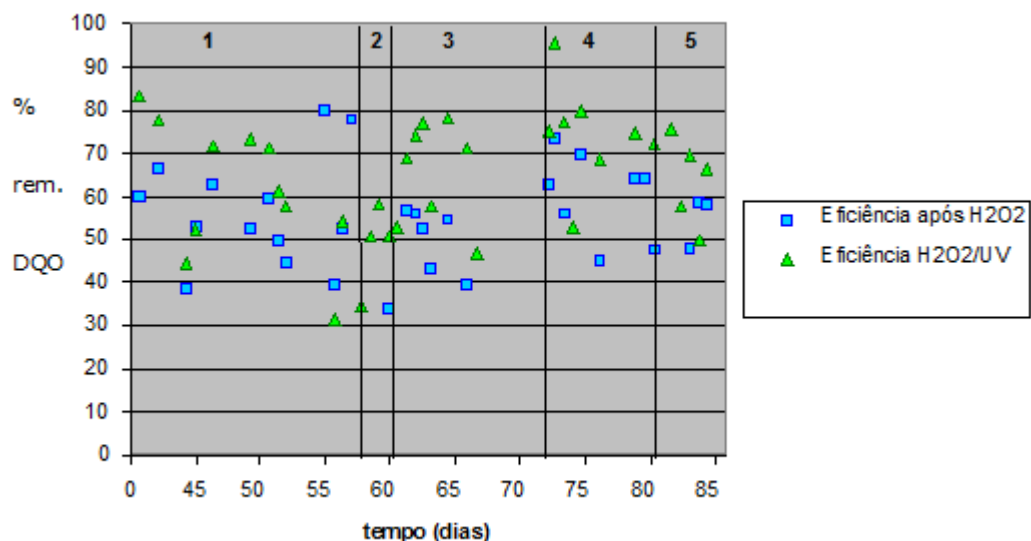


Gráfico 6. Eficiência de remoção de DQO ao longo do tempo

Tabela 6. Valores médios da porcentagem de remoção de DQO para cinco amostras ao longo do processo: no efluente da lagoa anaeróbia

I.	Amostras	Março/Abril H ₂ O ₂	Maió/junho H ₂ O ₂ /UV
1		56%	74%
2		43%	67%
3		48%	62%
4		50%	76%
5		52%	75%

A desinfecção apresentou boa eficiência durante os meses citados e as avaliações estatísticas possibilitaram a clareza das informações.

Vale ressaltar que problemas com a desinfecção utilizando o peróxido de hidrogênio foram encontrados nas análises da DQO antes do emprego catalase, que é a enzima responsável pela interrupção da reação do peróxido de hidrogênio.

Problemas também com a quantidade de catalase a ser pesada pois a quantidade de catalase para a quantidade de amostra era muito pequena e não era possível chegar no peso exato, a solução foi aumentar a quantidade de amostra para que fosse possível utilizar as balanças presentes no laboratório, problemas foram encontrados também com a determinação da dose

exata de peróxido de hidrogênio para a desinfecção, visto que a carga da lagoa anaeróbia apresentou alterações conforme os meses e até conforme o horário da coleta.

Além de problemas com a alteração do peróxido de hidrogênio que necessitou ser armazenado de maneira adequada e sempre que era utilizado sofria processo de re-padronização, para que caso fosse verificado algum tipo de alteração pudesse ser corrigida imediatamente, para que a alteração não interferisse nos processos oxidativos avançados.

As análises realizadas nos meses de maio e junho tiveram maiores cuidados quanto ao controle das doses, a execução das análises microbiológicas e a organização dos processos pelo fato das variações sazonais e as características da região de estudo e população da região atendida. Os meses de junho e julho caracterizam-se como os meses de férias o que determina uma movimentação das populações e uma mudança de hábitos

Sendo controlada todas os problemas citados estas foram as melhores análises obtidas quanto a resultados do decaimento da DQO, veja no gráfico 7 a seguir.

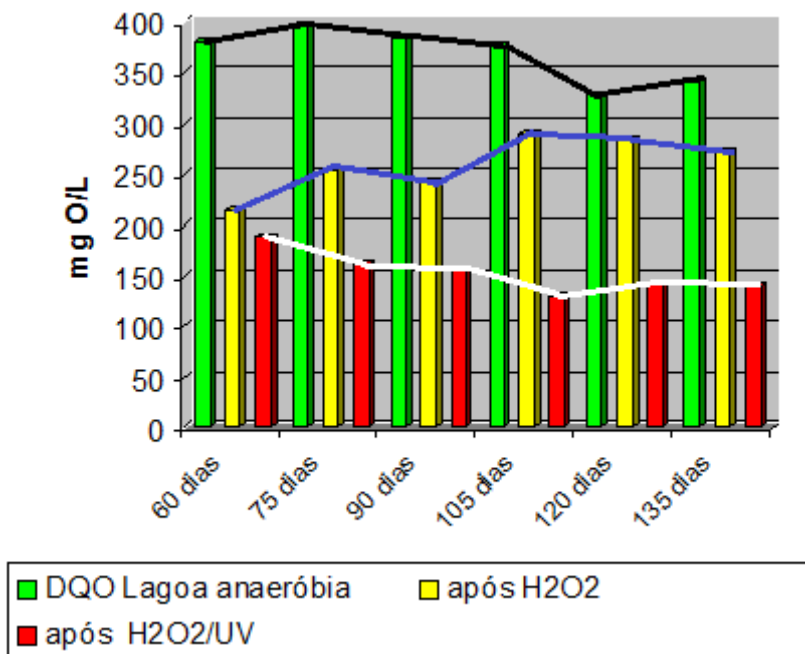


Gráfico 7. Eficiência de remoção de DQO ao longo do tempo

4.1.4. Sólidos em suspensão

Os valores obtidos ao longo dos meses para as Etapas 1,e 3 para sólidos em suspensão podem ser vistos, respectivamente, na tabela 7.

Tabela 7. Valores dos sólidos em suspensão para desinfecção após H₂O₂

Tempo (dias)	SST 1	SSF	SSV 1
15	2,71E-01	9,40E-02	1,77E-01
30	1,88E-01	9,40E-02	9,41E-02
45	1,54E-01	2,17E-02	1,32E-01
60	1,49E-01	9,50E-02	5,39E-02
75	1,39E-01	8,40E-02	5,50E-02
90	1,78E-01	1,59E-02	1,62E-01
105	1,66E-01	1,01E-02	1,56E-01
120	1,31E-01	9,40E-03	1,21E-01
135	1,37E-01	7,80E-03	1,29E-01

A remoção de sólidos em suspensão esteve em todos os processos de desinfecção acima de 70% de remoção. Caracterizando os processos como satisfatórios para a remoção de sólidos, fator este de grande importância para a desinfecção por radiação UV, pois são os sólidos em suspensão que podem formar um escudo de proteção para as bactérias no momento da exposição a radiação.

No gráfico 8 a seguir é possível visualizar a remoção dos sólidos em suspensão ao longo dos meses.

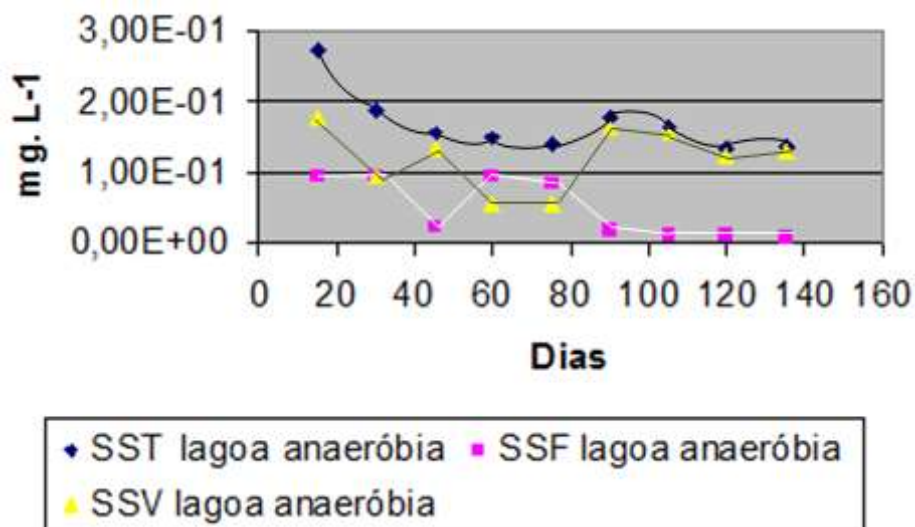


Gráfico 8. Sólidos em suspensão ao longo do tempo

4.2. Resultados das etapas

4.2.1. Processo com H₂O₂

Procede-se conforme descrito no item 4.1, aos resultados dos parâmetros sendo adicionado H₂O₂ ao efluente, para uma concentração de 30 mg/L no quadro 15 e 10mg/L na tabela 8.

Tabela 8. Resultados dos experimentos: concentração 30mg/L de H₂O₂

Parâmetros	Unidade	1	2	3	4	5	6
Vazão	L/min	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Tempo de contato	Min	15	25	35	45	60	65
Cor	Uc	285	238	310	180	192	215
Turbidez	NTU	164	171	141	127	152	118
DQO	mg O/L	215,3	254,2	243,9	290,1	285,0	272,1
PH		7,25	7,01	7,71	7,06	7,18	7,13
SST	mg/l	217	184	161	158	157	160
Coliformes Totais	NMP/100ml	1,9E5	9,8E4	0	0	NA	NA
Coliformes fecais	NMP/100ml	3,2E4	1,8E3	0	0	NA	NA

Nota: NA = Não analisado

Nota-se que as reduções não foram tão significativas com a mudança de tempo de contato, mas que elas existiram mostrando que é possível diminuir a concentração do peróxido de hidrogênio e aumentar o tempo de contato para buscar uma melhor otimização do processo.

Então novas amostras foram analisadas com uma redução de do peróxido de hidrogênio de 30mg/L para 10 mg/L e a verificação das análises para um aumento no tempo de contato. Na tabela 9 pode-se verificar os resultados obtidos.

Tabela 9. Resultados dos experimentos: concentração 10mg/LH₂O₂

		Amostras					
Parâmetros	Unidade	1	2	3	4	5	6
Vazão	L/min	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Tempo de contato	Min	15	25	35	45	60	65
Cor	UC	201	175	210	258	192	247
Turbidez	NTU	197	188	169	142	155	128
DQO	mg O/L	365,9	380,4	288,1	241,4	239,1	254,3
PH		7,12	7,05	7,11	7,26	7,14	7,19
SST	mg/l	325	331	285	251	194	175
Coliformes Totais	NMP/100ml	0,7E6	0,3E6	2,7E6	0,1E6	6,3E5	2,1E4
Coliformes fecais	NMP/100ml	2,9E5	1,4E5	1,1E6	0,9E5	0,1E4	1,1E3

Nota: NA = Não analisado

Houve uma eficiência de inativação de coliformes da magnitude de 2 ordens para uma diminuição de concentração do peróxido de hidrogênio em 33,33% valor bastante significativo para uma aplicação do processo em grandes escalas.

4.2.2. Processo com H₂O₂/UV

Foram realizadas as análises para o efluente após o processo combinado: H₂O₂/UV. Nesta etapa houve a preocupação de ter se os melhores índices de inativação juntamente com a menor gasto possível de material empregado para os processos oxidativos avançados. Note que antes de chegar nos valores fixados no quadro várias análises foram feitas, a tabela mostrará o resumo

final dos parâmetros estudados. Na tabela 10 são demonstrados os resultados obtidos.

Tabela 10. Resultados para as análises: concentração de H_2O_2 de 10 mg/L

Parâmetros	Unidade	A1	A2	A3	A4
Vazão	L/min	0,25	0,25	0,33	0,33
Espessura da lamina	cm	1,5	1,5	2	2
Tempo de contato H_2O_2	min	12	12	15	15
Tempo de detenção t_h	min	2	2	2	2
Cor	Uc	95*	79*	88*	57*
Turbidez	NTU	124	112	90	71
DQO	mg O/L	85	98,4	67,1	64,4
PH		7,11	7,17	7,22	7,16
SST	mg/l	115	128	95	73
Coliformes Totais	NMP/100ml	5,7E1	4,3E1	1,6E1	1,1E1
Coliformes fecais	NMP/100ml	<1	<1	<1	<1

Nota: NA = Não analisado * a cor lida não condiz com a visualizada.

Com base nos dados citados percebe-se que houve uma inativação na dos coliformes da 4 ordens de magnitude, chegando a inativação total dos coliformes fecais e totais finalizando as análises com porcentagem de inativação na casa dos 99,99%.

Com relação ao parâmetro turbidez percebe-se que a presença de algumas bolhas foi responsável pela oscilação na hora da leitura no turbidímetro, acredita-se que para uma solução plausível para tal fato seria a filtragem da amostra antes da leitura da mesma. Com relação ao parâmetro cor também foi possível verificar no laboratório que os dados lidos no DR4000 não iam de encontro a cor vista a olho nu, fato que deverá ser melhor estudado nos próximos trabalhos traduzindo uma solução para adequar a leituras.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

- **Pontos Positivos e Vantagens**

Pelos resultados obtidos no presente estudo, concluí-se que o processo oxidativo avançado utilizando peróxido de hidrogênio com irradiação ultravioleta, é um processo de eficiência comprovada para o tratamento de efluente proveniente da lagoa anaeróbia da ETE – Graminha para fins de inativação de coliformes totais e fecais e para descarte assistido em cursos d'água classe 2 conforme determinação da norma vigente.

Conforme o arranjo proposto nas etapas e nas fases citadas, a melhor dosagem de peróxido de hidrogênio foi de 10 mg/L, com um tempo de exposição a luz ultravioleta de 2 segundos e espessura da lâmina do efluente no leito de passagem de 2 cm. Nessas condições com base nos experimentos realizados e nos levantamentos de dados ao longo do estudo a eficiência de decaimento dos parâmetros estudados foi de aproximadamente:

- 75 a 82% para cor aparente mesmo levando em consideração que os resultados obtidos não corresponderam com o visualizado anteriormente nas diversas literaturas pesquisadas.
- 66 a 71% de DQO;
- 60 a 67% para a turbidez
- 98 a 99,99 para os coliformes totais
- 22 a 38% para a alcalinidade.

O presente estudo mostrou também que o peróxido de hidrogênio por sua estabilidade e fácil acesso pode vir a ser uma boa alternativa para a desinfecção de lodo proveniente de lago anaeróbia. Outra vantagem desse tratamento é o fato de ele poder funcionar como um tratamento terciário de baixo custo, não apenas para efluentes domésticos com também para efluentes industriais.

- **Pontos Negativos e desvantagens**

Observa-se que de fundamental importância para que se alcance bons resultados com o POA é necessário que o pré tratamento alcance valores de remoção e eficiência significativos para que seja capaz de acoplar processos e somar resultados eficientes.

A análise do parâmetro turbidez e do parâmetro cor mostraram que necessitam mais discussões e estudos para que se possa identificar um melhor método para as suas determinações.

E por derradeiro, observa-se o local de coleta deve ser o mais próximo possível do local das análises e do local onde o experimento estará montado, para minimizar custos de pesquisa, desgastes e até erros por alteração de temperatura ou até por manuseio das amostras

- **Recomendações para os próximo trabalhos**

Trabalhar com reatores que possibilitem o tratamento de uma maior quantidade de efluente, estudando meios de trabalhar com reatores em escala capaz de tratar os efluentes de um condomínio fechado e ou de uma área sem saneamento – comunidades, sejam elas urbanas ou rurais Para que seja possível ligar as necessidades emergentes da sociedade civil com a área acadêmica e concomitantemente com uma produção mais limpa e com educação ambiental da área a ser estudada.

Estudar a utilização de diferentes processos acoplados de maneira que se possa alternar o tratamento de acordo com a melhor otimização de custos.

Incorporação de delineamentos estatísticos mais apurados em cada etapa do trabalho para que possa ser validado em forma de desenvolvimento de curvas estatísticas.

Referências

AMATI, Anna; GAINOTTI, Alba; MODELLI, Alessandra. **La biologia: diversità e uniformità dei viventi**. Bolonha: Zanichelli, 1989.

American Water Works Association (AWWA); American Public Health Association (APHA); Water Environmental Federation (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19° Ed., Washington, D.C., 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7229 - Projeto, Construção e Operação de Tanques Sépticos. Jan. 1993.

BASTOS, Rafael *et al.*, **Revisão da Portaria 36GM/90. Premissas e Princípios Norteadores**, In: 21° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2001. João Pessoa - PB - ABES, p.68.

BELLUTI, M., **Waste Water Disinfection**, In: 2° European Symposium on Chlorine Dioxide and Disinfection. 1999. Italy.

BIRCHER, Keith.; SIMMS, Karen.; LEM, Wayne. Rayox UV/Oxidation: an Integrated Approach. In: ECKENFELDER, Wesley; BOWERS, Alan; ROTH, John (Eds). **Proceedings of the Symposiums on Chemical Oxidation: Technology for the Nineties**. Volume 6 Pennsylvania, 1997. p.206 -297.

BORGES, João Tito; GUIMARÃES, José Roberto; EBERLIN, Marcos Nogueira. **Determinação de Trihalometanos em Águas de Abastecimento Utilizando a Técnica MIMS (membrane introduction mass spectrometry)**. In: 21° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2001, João Pessoa - PB - ABES, p.68.

BRASIL. Ministério da Saúde, **Portaria nº 36 de Janeiro de 1990**. Normas e Padrões de Potabilidade. São Paulo, 1990.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 1469, de 29 de Dezembro de 2000**. Controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2000.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente** - Secretaria de Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/perfil/part3.html> Acesso em: 12 de out. 2002.

CAMPOS, José Roberto. **Tratamento de Esgotos por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemus (Coord). **Pós Tratamento de Efluentes de reatores Anaeróbios** (PROSAB -2), Belo Horizonte; PROSAB, 2001.

CURTIS, Helena. **A Biologia**. São Paulo: Editora Nacional S.A., 1994.

DANIEL, Luiz Antonio *et al.*, (Org). **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável (PROSAB-1)**. São Carlos: PROSAB, 2001.

DANIEL, Luiz Antonio. **Desinfecção de esgoto com radiação ultravioleta**: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos. 1993. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DI BERNARDO, Luiz. Métodos e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro: **Associação Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)**, Volume II, p. 503, 1993.

DOMENECH, Xavier.; JARDIM, Wilson F.; LITTER, Marta. I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. In: **CYTED**. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, 2001

DONAIRE, Patricia Pulcini Rosvald. **Desinfecção de Águas Utilizando Radiação Ultravioleta e Fotocatálise Heterogênea**, 2001. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas.

DUSSERT, Bertrand. **Advanced Oxidation**. UK: Industrial Wastewater, 1997.

Environmental Protection Agency (EPA). **Advanced Photochemical Oxidation Processes Handbook**. Cincinnati: EPA, 1998.

Environmental Protection Agency (EPA). **Microbial and Disinfection Byproduct Simultaneous Compliance Guidance Manual**. Washington: EPA. 1999.

HAAS, Charles *et al.* **Disinfection in: American Water Works Association - Water Quality and Treatment**, 5th Ed., Denver: McGraw-Hill Inc. chapter 14, 1999.

HARM, Walter. **Biological Effects of Ultraviolet Radiation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>. Acesso em 15 fev. de 2002.

LAZAROVA, Valentina *et al.*. Advanced Wastewater Disinfection Technologies: State of the Art and Perspectives. **Water Science and Technology**, Volume 40, Número 4-5, p. 203-213, 1999.

LOGE, Frank *et al.*. Ultraviolet disinfection of secondary wastewater effluents: Prediction of performance and design. **Water Environment Research**, Volume 68, Número 4, p. 900–916, 1996b.

LOGE, Frank.; DARBY, Jeanny.; TCHOBANOGLIOUS, George. UV disinfection of wastewater: A probabilistic approach to design. **Journal of Environmental Engineering**, Volume 122, Número 12, p. 1078–1084, 1996a

MEDENA, Gerthan; BAHAR, Mahdieh; SCHETS, Franciska. Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia coli*, *enterococcus faecal* and *Clostridium perfringes* in river water: influence of temperature and autochthonous microorganisms. **Water Science Technology**, Volume 35, Número 11-12, p 249-252, 1997.

METCALFY e EDDY, **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. New York: Mc Graw – Hill Inc. 1991.

NOCERA, S.; ZWEIFEL, P. Demand for health: an empirical test of the Grossman model using panel data. In: ZWEIFEL, P. (Ed.). *Health, the medical profession and regulation*. Boston: Kluwer, p. 35-49, 1998.

PILLAI, Shiv *et al.*. An increased risk of Crohn's disease in individuals who inherit the HLA class II DRB3*0301 allele. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. Volume 14, Número 93, p. 5094-5098, 1996.

PIRES, Marco Roberto. **Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: Influência do custo e da qualidade do efluente**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas.

POLEZI, Mauricio. **A aplicação de Processo Oxidativo Avançado (H₂O₂/UV) no efluente de uma ETE para fins de reuso**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas.

Prefeitura de Limeira. **Histórico do abastecimento e das concessões**. Disponível em: <<http://www.limeira.sp.com.br>>. Acesso em: 20 jun. 2003.

QUALLS, Robert.; FLYNN, Michael.; JOHNSON, Donald. The role of suspended particles in ultraviolet disinfection. **Water Pollution Control Federation**, Volume 55, Número 11, p. 1280–1285, 1983.

QUALLS, Robert; JOHNSON, Donald. Modeling and efficiency of ultraviolet disinfection systems. *Water Research*, Volume 19, Número 8, p. 1039–1046, 1985.

SEVERIN, Fowles. Disinfection of municipal wastewater effluents with ultraviolet light. **Water Pollution Control Federation**, Volume 52, Número 7, p. 2007–2018, 1980.

SOBOTKA, Jan. The Efficiency of Water Treatment and Disinfections by Means of Ultraviolet Radiation. **Water Science Technology**, Volume 27, Número 3-4, p.343-346, 1993.

US Peroxide. Propriedades do peróxido de hidrogênio. Disponível em: <<http://www.h2o2.com>>. Acesso em: 10 de julh. de 2003.

VON SPERLING, Marcos, **Princípios do Tratamento Biológicos de Águas Residuárias: Princípios Básicos de Tratamento de Esgotos**. Vol. 2, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WHITBY G.E. and G. PALMATEER. The effect of UV Transmission, Suspended Solids and Photoreactivation on Microorganisms in Wastewater Treated with UV Light. **Water Science and Technology WSTE04**, Volume 27, Número 3/4, p. 379-386, 1993.

WOLFE, Frederick *et al.* The American College of Rheumatology criteria for the classification of fibromyalgia: report of the multicentre criteria committee. **Arthritis and rheumatism**. Volume 33, Número 02, p. 160 - 172, 1990.