

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

Caroline Albrecht

**IMPACTOS AMBIENTAIS DOS EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR E
TRATAMENTO COM FOTOOZONIZAÇÃO CATALÍTICA**

Santa Cruz do Sul, agosto de 2007

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

Caroline Albrecht

**IMPACTOS AMBIENTAIS DOS EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR E
TRATAMENTO COM FOTOOZONIZAÇÃO CATALÍTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Lourdes Teresinha Kist
Co-orientador: Prof. Dr. Ênio Leandro Machado

Santa Cruz do Sul, agosto de 2007

Caroline Albrecht

**IMPACTOS AMBIENTAIS DOS EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR E
TRATAMENTO COM FOTOOZONIZAÇÃO CATALÍTICA**

Esta Dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Área de Concentração Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Dr. Ayrton Figueiredo Martins

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Dr. Luciano Dornelles

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Dr. Ênio Leandro Machado

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Co-orientador

Dr^a. Lourdes Teresinha Kist

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Orientadora

À minha família, fonte inesgotável de apoio, carinho, força e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que, além de dar-me a vida e tantas outras bênçãos, atendendo às minhas orações me presenteou com essa oportunidade.

Ao meu marido e aos meus familiares, que sempre foram exemplos de coragem, amor, determinação, retidão e perseverança. Apostando na minha capacidade, me apoiaram de todas as maneiras possíveis, com amor incondicional antes e durante a realização desse sonho.

À professora Lourdes, mais do que uma orientadora, uma amiga com quem interagi no decorrer do curso e com quem participei de experiências que me trouxeram conhecimento e amadurecimento. Sem dúvidas, uma professora no sentido profundo da palavra, com quem pude contar em todos os momentos durante a realização deste trabalho.

Ao professor Ênio que, com muita cordialidade, incentivo e amizade, me co-orientou dando-me apoio e inspiração na evolução dos meus conhecimentos e conceitos que me levaram à execução e à conclusão desta dissertação.

Ao Mestrado em Tecnologia Ambiental pela concessão da bolsa, fundamental para a realização deste curso.

À natureza, fonte constante de inspiração, a qual incansavelmente dedico todo o meu amor, a minha preocupação e, eternamente, o meu trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para que esse sonho se tornasse realidade.

Tomou, pois, o Senhor Deus o homem, e o pôs no jardim do Édem para o lavrar e guardar. (Gênesis 2:15)

A terra, e tudo o que nela há, é propriedade de Deus. Ele cede esta terra, e tudo o que nela há, ao ser humano por empréstimo. Somos todos usuários, não mais que usuários da terra. (Sl 24.1-2)

RESUMO

A crescente geração de efluentes traz acúmulo de poluição ao meio ambiente. A adoção de medidas de planejamento ambiental faz-se necessária nos processos existentes que venham a envolver, de uma forma ou outra, os recursos naturais. Os resíduos de serviços de saúde têm sido, a nível mundial, alvos constantes de pesquisas envolvendo busca de soluções a serem tomadas para abolir ou minimizar ambientalmente o seu impacto. No Brasil, o detalhamento e melhoria das ações tiveram início na adoção do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Área da Saúde (PGRSS), e alastra-se buscando soluções também para os efluentes.

Dentre os diversos setores de uma unidade de saúde, os efluentes de lavanderia hospitalar são os que apresentam nocividade ambiental mais acentuada, devido à presença dos poluentes em maior concentração e dos produtos químicos inseridos durante a lavagem das roupas.

Neste sentido, para quantificar e adequar os parâmetros de emissão de efluente da lavanderia do hospital em estudo, optou-se pela utilização de Processos Oxidativos Avançados (POAs) e, dentre estes, trabalhou-se com a Fotocatálise Heterogênea. Assim, foram realizados ensaios utilizando tratamento com UV, O₃ e TiO₂ e, ainda, combinações entre estes. Análises de DBO₅, DQO, pH, turbidez, surfactantes, nitrogênio, fósforo, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foram realizadas antes de cada tratamento e, após cada um, DBO₅, DQO, pH, turbidez, surfactantes, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foram analisados. Dessa forma buscou-se o melhor método/combinção para desinfecção do efluente da lavanderia em questão.

ABSTRACT

The increasing generation of effluent brings pollution accumulation to the environment. The adoption of measures of environmental planning becomes necessary in the existing processes which involve, in one way or another, the natural resources. The residues of health services have been, at world-wide level, constant subject of research involving a huge search for solution to be carried through in order to abolish or minimize its impact against the environment. In Brazil, the actions detailing and improvement started with the adoption of the management plan of health area residues, also spreading to search solutions for the effluent ones.

Among the several sectors of a health unit, the hospital laundry effluents are the ones which show greater environmental harm, due to the presence of the pollutants in larger concentration and the chemical products used during the laundering of the clothes.

In this way, to quantify and to adjust the emission parameters of the laundry effluents in the researched hospital, it was chosen the Advanced Oxidation Technologies (AOT), and among these, we had worked with the Heterogeneous Photocatalysis. Thus, assays using treatment with UV, O₃ and TiO₂ had been carried through and, still, combinations between these ones. COD, BOD, pH, turbidity, surfactants, nitrogen, phosphorus, thermotolerants coliforms and *Escherichia coli* analyses had been carried through before each treatment and, after each one, COD, BOD, pH, turbidity, surfactants, thermotolerants coliforms and *Escherichia coli* were analyzed. In this way, we searched the best method/combination to the disinfection for the effluent from the laundry researched in this study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema representativo da partícula de um semicondutor.....	17
Figura 2.	Diagrama simplificado da metodologia utilizada para este efluente.....	24
Figura 3.	Reator de fotoozonização tipo rampa.....	26
Figura 4.	Vista lateral do reator de fotoozonização em uso, com a cobertura de vedação.....	27
Figura 5.	Vista posterior do reator de fotoozonização em uso, com a cobertura de vedação.....	27
Figura 6.	Reator de fotoozonização em funcionamento, sem a cobertura de vedação.....	29
Figura 7.	A. Reator aberto, em repouso, evidenciando a rampa com a cobertura de TiO_2 , as calhas coletoras e os ventiladores; B. Reator aberto, em uso, evidenciando a rampa com a cobertura de TiO_2 e as calhas coletoras.....	28
Figura 8.	Esquema representativo dos produtos químicos empregados nos diversos setores.....	34
Figura 9.	Diagramação da geração dos efluentes nos diferentes setores da unidade hospitalar estudada.....	36
Figura 10.	Fluxograma simplificado da entrada e saída de líquidos no processo de lavagem.....	38
Figura 11.	Desempenho do processo UV/ TiO_2 / O_3 para a turbidez.....	49
Figura 12.	Foto mostrando o descolorimento do efluente pela aplicação do método UV/ TiO_2 / O_3	49
Figura 13.	Processo UV/ TiO_2 / O_3 para o pH.....	50
Figura 14.	Eficiência do processo UV/ TiO_2 / O_3 na desinfecção de coliformes termotolerantes.....	51
Figura 15.	Aplicação da Lei de Chick na inativação de coliformes termotolerantes com tratamento UV/ TiO_2 / O_3	51
Figura 16.	Eficiência do processo UV/ TiO_2 / O_3 na desinfecção de <i>Escherichia coli</i>	52
Figura 17.	Aplicação da Lei de Chick na inativação de <i>Escherichia coli</i> com tratamento UV/ TiO_2 / O_3	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Resumo das condições operacionais do reator de UV/TiO ₂ /O ₃	29
Tabela 2.	Dados da caracterização do efluente bruto da lavanderia hospitalar.....	41
Tabela 3.	Eficiência do tratamento utilizando todos os processos.....	46
Tabela 4.	Percentual de redução dos parâmetros de caracterização entre a amostra bruta e a amostra tratada nos diferentes processos.....	46
Tabela 5.	Parâmetros de Chick para inativação microbiológica com tratamento UV/TiO ₂ /O ₃	53

LISTA DE ABREVIATURAS

HO·	Radical hidroxila
AIDS	Síndrome da Imunodeficiência Adquirida
APHA/AWWA	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
CYTED	Programa Libero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio incubada por 5 dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
FH	Fotocatálise Heterogênea
NMP	Número mais provável
NTU	Unidade turbidimétrica
PCBs	Bifenilas policloradas
PGRSS	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Área da Saúde
pH	Potencial hidrogeniônico
POAs	Processos Oxidativos Avançados
PVP	Polivinilpirrolina
PVPI	Polivinilpirrolidona – Iodo
R ²	Coefficiente de correlação da reta
RSS	Resíduos de Serviço de Saúde
THM	Trihalometanos
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	01
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	03
2.1 Poluição ambiental.....	03
2.2 Conhecimento científico e sustentabilidade.....	04
2.3 Tendências de mudança.....	06
2.4 Medidas de planejamento ambiental.....	08
2.5 Medidas de planejamento ambiental para efluentes hospitalares.....	09
2.6 Organismos patogênicos em águas poluídas.....	10
2.7 Efluente de lavanderia hospitalar.....	11
2.8 Processos Oxidativos Convencionais e Processos Oxidativos Avançados.....	11
2.9 Fotocatálise Heterogênea.....	16
2.10 Aplicação de dióxido de titânio.....	17
2.11 Aplicação da irradiação ultravioleta.....	18
2.12 Aplicação de ozônio.....	19
2.13 Reatores.....	19
2.14 Ensaios de tratabilidade.....	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Caracterização do local de estudo.....	22
3.2 Fonte e coleta de dados.....	22
3.3 Coleta e preservação das amostras.....	23
3.4 Planejamento experimental para a lavanderia hospitalar.....	23
3.5 Análises físico-químicas e microbiológicas.....	24
3.6 Configuração do reator e ensaios de fotoozonização catalítica.....	25
3.7 Parâmetros operacionais do reator.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Educação Ambiental.....	31
4.2 Atividade hospitalar versus geração de resíduos sólidos, efluentes e emissões atmosféricas.....	32
4.3 Serviço de higienização.....	33
4.4 Geração de efluentes líquidos.....	35
4.5 Lavanderia hospitalar.....	37
4.6 Volume de efluente na lavanderia hospitalar.....	38
4.7 Caracterização do efluente da lavanderia hospitalar.....	39
4.8 Eficiência das tecnologias de tratamento na remoção de agentes patogênicos....	42
4.9 Ensaios de fotoozonização catalítica.....	43
4.10 Otimização dos métodos.....	44
4.11 Desempenho cinético através do método UV/TiO ₂ /O ₃	47
5 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	56

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) constitui-se em um conjunto de procedimentos de gestão e planejamento que, são implementados, a partir de bases científicas e técnicas, normativas e legais, com o objetivo de minimizar a produção de resíduos e proporcionar aos resíduos gerados um encaminhamento seguro, de forma eficiente, tendo como objetivo a proteção dos trabalhadores e a preservação da saúde pública, dos recursos naturais e do meio ambiente (SOUZA, 2005).

Atualmente o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) satisfaz apenas as questões que dizem respeito aos resíduos sólidos, não contemplando outra face, de mesma importância, que é o gerenciamento dos resíduos líquidos.

Além da importante minimização dos efluentes gerados, deve haver, também, uma preocupação no que se refere ao tratamento desses efluentes, visto que é possível minimizá-los, porém, considera-se inevitável a geração destes.

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são considerados uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes provenientes de serviços de saúde, pois apresentam maior vantagem em relação aos processos convencionais, devido à sua eficiência em oxidar compostos orgânicos a moléculas simples, mais facilmente biodegradáveis, ou até mesmo resultando na total mineralização da matéria orgânica. Emmanuel et al. (2005), Daniel (2001), Sperling (2005) e Gumi et al. (2005) demonstram, em seus estudos, que este processo é capaz de promover a total mineralização de uma grande variedade de contaminantes orgânicos e a inativação de um amplo espectro de agentes patogênicos.

Dos efluentes gerados nos hospitais, considera-se de extrema importância o gerenciamento dos efluentes provenientes da lavanderia, pois estes contribuem com características de menor biodegradabilidade, carregando sanitizantes, antibióticos, umectantes e outros tensoativos.

A realização deste trabalho levou em consideração a necessidade de apresentar aspectos relevantes quanto ao gerenciamento do efluente hospitalar, gerenciamento interno da lavanderia hospitalar, bem como a importância do desenvolvimento de um procedimento de tratamento utilizando POAs. Este tratamento foi realizado no efluente bruto da lavanderia hospitalar objetivando a desinfecção e, conseqüentemente, buscando-se resultados mais coerentes com o que propõe a legislação - Resolução CONSEMA nº 128/2006, da Secretaria da Saúde e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul.

Sendo assim, o principal objetivo deste trabalho foi contribuir com a preservação do meio ambiente e da saúde humana, no sentido de fornecer subsídios técnico-científicos que resultem na prevenção e minimização da contaminação causada pelos efluentes hospitalares. Este objetivo foi alcançado através do estudo de aspectos relevantes quanto ao gerenciamento do efluente hospitalar e o desenvolvimento e aplicação de procedimentos para minimizar o impacto destes efluentes utilizando Processos Oxidativos Avançados. Dentre os POAs, investigou-se o método UV/TiO₂/O₃ como alternativa de desinfecção de efluente hospitalar, incluindo estudo da configuração de reator fotocatalítico tipo rampa .

O presente trabalho estrutura-se da seguinte forma:

- ✓ No Capítulo 1 apresenta-se o problema da investigação, contextualizando-o e relacionando-o aos objetivos.
- ✓ O Capítulo 2 é constituído de uma revisão teórica, iniciando-se um breve histórico sobre a problemática ambiental, o reconhecimento da limitação para tratamentos complexos e a utilização de Processos Oxidativos Avançados.
- ✓ No Capítulo 3 descreve-se a metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho, com definição dos critérios de tratamentos estabelecidos como objetivo de permitir uma compreensão dos experimentos.
- ✓ O Capítulo 4 é composto de duas partes. A primeira parte dedica-se à prevenção da contaminação ambiental, ideal a ser alcançado a partir de processos ambientalmente corretos, que, dentro do possível, auxiliem diretamente no combate ao ciclo contaminante dos resíduos de serviços de saúde. A segunda parte deste mesmo capítulo apresenta todos os resultados experimentais da aplicação de POAs utilizando a fotocatalise heterogênea, bem como o comentário pertinente a cada experimento realizado e as tomadas de decisão no tocante do processo utilizado com todas as suas particularidades.
- ✓ No Capítulo 5 apresenta-se a conclusão do trabalho.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Poluição ambiental

A industrialização aliada ao rápido crescimento populacional, bem como de algumas atividades agrícolas, aumentou os riscos de contaminação de ambientes naturais, como água, solo, ar e principalmente sedimentos nos últimos 150 anos.

A poluição ambiental pode, sem dúvida alguma, ser hoje em dia apontada como um dos grandes problemas dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Isso é decorrente, não apenas de um, mas de uma série de fatores, como o mau uso dos recursos naturais, a ineficiência da legislação e a falta de consciência ambiental. Além disso, cabe acrescentar que a própria ignorância em relação aos malefícios do uso de uma série de compostos, ou mesmo de procedimentos e/ou atitudes incorretas, contribuíram para o agravamento do problema.

Há milhares de anos, os elementos químicos carbono, nitrogênio, oxigênio, entre outros, fazem parte de um ciclo biogeoquímico, o que permite que eles recirculem pela Terra e fiquem armazenados em seus depósitos naturais. Entretanto, este ciclo tem sido alterado devido, principalmente, aos seguintes fatores:

- Crescimento populacional, fruto do avanço da medicina, da diversificação agrícola, da implantação e melhoria das redes de saneamento básico entre outros;

- Modelo econômico atual, que está associado às atividades de exploração dos recursos naturais, transformação em bens de consumo e intensificação da atividade agrícola (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

Este avanço tecnológico gerou uma série de novos produtos. Segundo Gulyas (1992), mais de 8 milhões de compostos estão caracterizados quimicamente. Destes,

aproximadamente 60.000 são comercializados na Europa. Entretanto, somente alguns deles são caracterizados quanto aos aspectos toxicológicos, pois esta avaliação requer muito tempo e dinheiro. Com isso, entende-se porque somente um número muito pequeno de substâncias químicas são registradas como poluentes e têm sua emissão controlada.

A maioria dos poluentes orgânicos é originada no refino de petróleo, na manufatura de produtos químicos, em indústrias carboníferas, de processamento têxtil e papelarias, na utilização de óleos para transporte e aquecimento, pesticidas, inseticidas, herbicidas, fertilizantes e detergentes, em efluentes de plantas de tratamento de águas residuárias, no lançamento incontrolado de rejeitos perigosos e em derramamentos acidentais (BAIRD, 2002).

2.2 Conhecimento científico e sustentabilidade

Ao traçar um esboço de momentos significativos da relação entre conhecimento científico e planejamento no século XX, esses surgem como elementos decisivos no processo de construção da sociedade capitalista. Por um lado, a análise dos paradigmas modernos de ciência e de planificação desvenda seus vínculos com as formas de produção e de distribuição de bens fundadas no produtivismo e na racionalidade instrumental. Por outro lado, um olhar lançado sobre as últimas décadas do século descortina múltiplas transformações que remodelam a base material da sociedade com base em estratégias de acumulação que se apóiam em processos de geração e de difusão de novos conhecimentos (BAUMGARTEN, 2002).

Problemas ambientais, hoje, são nossos problemas socioambientais. Fatalmente, onde quer que o homem esteja, numa aldeia montanhosa, longe da civilização, ou "espremido" nos trens dos subúrbios, todos serão mais ou menos afetados. Para o filósofo e ecólogo Pelizzoli (1999), o conceito-chave para a superação está no desenvolvimento sustentável. Este conceito deve ser levado às últimas conseqüências. Além disso, "o novo modelo desejado só se efetivaria quando do revolvimento e reversão de toda uma estrutura institucional política e pública, empresarial, estilos de socialização obsoletos, e na base de uma ética, a florescer dentro de um processo de reestruturação socioeconômica mais equilibrado e justo, permeado sempre pelo caráter da educação (ambiental) para a cidadania". Essa seria a ética do futuro: trabalhar pensando no "sujeito-comunidade".

A sustentabilidade é, portanto, um problema multidimensional, que exige um comportamento responsável para com as gerações futuras — mas não a expensas das

gerações contemporâneas —, apesar do fato de que aquelas gerações não votam nem podem exercer pressões sobre os formuladores de políticas.

A noção de sustentabilidade levanta, portanto, a questão de como a própria natureza é concebida — e, conseqüentemente, dos valores culturais que condicionam o relacionamento da sociedade com a natureza (PELIZZOLI, 1999).

Enfim, deve-se destacar o fato de a ecoeficiência ser uma ferramenta compatível à lógica da atividade empresarial. Ela não impõe limites ao crescimento e não envolve restrições a qualquer tipo de produto ou processo, limitando-se ao objetivo de tornar o empreendimento mais competitivo e, ao mesmo tempo, minimizar seus impactos ambientais. Esta última característica da ecoeficiência tem gerado algumas críticas, no que tange à supervalorização dessa ferramenta pelo setor empresarial, como instrumento suficiente para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Embora tal crítica não possa ser desprezada, inúmeros exemplos têm mostrado a potencialidade dessa ferramenta em gerar benefícios econômicos e ambientais. Importa destacar que o emprego dessa estratégia, que até o início dos anos 90 esteve praticamente restrito ao âmbito empresarial, começa a ocorrer também no setor de serviços. Isso é fundamental, pois quanto mais esse setor se afirma na sociedade pós-industrial, como principal vetor de geração de riquezas e emprego, também maior é a sua contribuição para o agravamento dos impactos ambientais. Isso é particularmente verdadeiro para a atividade hospitalar, uma vez que desempenha um papel central na mitigação ou na expansão dos impactos socioambientais associados ao setor. A pesquisa revelou que, até o início da década de 90, a geração de resíduos produzidos pelos hospitais não era alvo de muita preocupação e, principalmente, a sua disposição final por parte dos profissionais da saúde e nem do poder público. Uma conscientização maior surgiu apenas em função da mudança do comportamento dos usuários desses serviços e do surgimento da Síndrome de Imunodeficiência Adquirida – AIDS, obrigando todos os envolvidos no processo a reavaliarem seus procedimentos. Uma das principais razões para isso estaria no fato de que o tema ambiental é ainda pouco abordado no processo de capacitação e formação dos profissionais da área da saúde. Tal afirmação parece confirmada, pelo menos considerando as informações levantadas no hospital analisado. Nesse quadro, a incorporação de estratégias de ecoeficiência poderia melhorar bastante o desempenho dos indicadores analisados, potencializando ganhos econômicos e ambientais, e aproximando o valor de tais indicadores daqueles disponíveis no cenário internacional (TOLEDO e DEMAJOROVIC, 2006).

2.3 Tendências de mudança

Felizmente, nos últimos anos, têm sido observadas tendências de mudança. Uma série de estudos científicos e o próprio histórico dos passivos existentes são utilizados como uma importante ferramenta no desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento e mesmo na implantação de processos ou ações ambientalmente corretas. Além disso, conceitos baseados no desenvolvimento sustentável, mudanças na legislação, com medidas restritivas e início da própria conscientização ambiental, com programas educativos, tem melhorado o cenário como um todo.

A falta de conhecimento humano frente aos problemas que poderiam ocorrer para as gerações futuras, fez com que toda essa mudança de atividades e mesmo de costumes, não viesse acompanhada de uma preocupação com o meio ambiente. Os efluentes que envolvem essas novas atividades originaram um desequilíbrio no meio, pois, com pouca ou nenhuma preocupação, eles são lançados na atmosfera (como material particulado ou gases), no solo (pelos fertilizantes, pesticidas, etc) ou nos corpos receptores (como efluente industrial ou esgoto doméstico) (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

Diante desta série de fatores, a poluição ambiental tem sido um assunto de extremo interesse em todo o mundo, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Segundo Jardim (1993), “Nestas últimas duas décadas a preocupação com o meio ambiente foi o único tema capaz de aglutinar a sociedade civil em torno de uma causa comum. Apartidário e sem fronteiras, o movimento ambientalista tem crescido continuamente em todo o planeta, trazendo como principal consequência desta expansão normas e legislações cada vez mais restritivas quanto à disposição final e ao descarte de sub-produtos na biosfera. Como principal consequência desta verdadeira revolução ambiental, o consumidor passou a responsabilizar a indústria por todo o ciclo de vida do bem manufaturado, desde a sua matéria-prima, passando pela persistência no meio ambiente e indo até a sua disposição final.”

Para enfrentar este problema, nos últimos anos estão sendo implementados programas educacionais e legislativos, baseados em dados técnicos, voltados à proteção ambiental (LEGRINI et al., 1993).

As novas regulamentações permitem que determinadas tecnologias sejam avaliadas e melhor controladas como, por exemplo, o uso de cloro livre como desinfetante. Sua utilização foi limitada a águas tratadas, pois a cloração de águas com alto teor de carbono orgânico total (COT) pode produzir níveis inaceitáveis de trihalometanos (THM) e outros sub-produtos cancerígenos (WEI, 1994).

Parte da ineficiência no controle da emissão de substâncias químicas deve-se ao fato de que poucas delas foram registradas como poluente (GULYAS, 1992).

A poluição causada pelo lançamento de resíduos no meio ambiente, de uma forma geral, causa preocupação. Entretanto, é dada maior atenção à poluição das águas pela sua importância, pois cobrem aproximadamente 70% da superfície terrestre e as propriedades deste líquido e seu vapor controlam as condições climáticas que tornam possível a vida na Terra (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

Além disso, embora o volume de água presente na Terra seja grande (1,41 bilhões de km³), 98% da mesma encontra-se como água salgada, nos oceanos e mares e 2% como água doce. Destes 2%, 87% se encontra na forma de geleiras e o restante divide-se em águas subterrâneas, de superfície, no solo, na atmosfera e nos seres vivos. Como o processo de dessalinização é caro, o homem dispõe somente de 2.000 km³ de água doce (na forma de rios) para satisfazer suas necessidades. Diante disso surge o ponto conflitante: de um lado tem-se a água, que é um recurso escasso, e do outro tem-se o aumento na demanda, pelo crescimento populacional e pela busca por água de alta qualidade (KONDO e JARDIM, 1991).

Tem crescido a busca por novas tecnologias aplicáveis ao tratamento de efluentes domésticos e industriais, que sejam mais inovativas, menos onerosas e que priorizem a componente ambiental. Entretanto, não basta desenvolver tecnologias para qualificar, quantificar, controlar e tratar efluentes. Uma questão tão importante quanto tratar o que já está poluído é desenvolver processos “limpos”, com a mínima geração de resíduo, evitando assim a produção de mais efluente a ser tratado. Neste sentido, são necessárias mudanças de tecnologia de qualidade da matéria prima e até mesmo comportamentais. (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

Além disso, considerando que em algumas áreas o suprimento de água não é suficiente para atender o aumento da demanda, o reuso de água tem sido considerado como uma alternativa para resolver parte deste problema (KONDO e JARDIM, 1991).

Cabe acrescentar, entretanto, que uma boa política de gerenciamento de resíduos começa não com o seu tratamento, mas com a minimização da geração desses compostos nos processos. Em seguida vem o reuso ou a reciclagem, podendo ser reinserido no mesmo processo, em outro e até mesmo visto como produto final. Após todas essas alternativas terem sido realizadas ou descartadas, tem-se o tratamento e disposição final (JARDIM, 1998).

O descaso ou despreparo na questão do manejo de resíduos químico-farmacêuticos em muitos lugares do mundo leva a graves danos da natureza, os quais podem ter

repercussões negativas à saúde humana e ambiental. Tal fato tem motivado, por parte de vários países, o desenvolvimento de planos de gerenciamento seguros e sustentáveis dos diferentes resíduos gerados pela população, indústrias e diversas instituições.

Por outro lado, o advento da globalização (mundial) traz também a necessidade de se estabelecer padrões aceitáveis no que diz respeito às questões ambientais (AFONSO et al., 2003).

O inerente potencial dos riscos envolvidos ao manejo de substâncias químicas, aumenta a importância da implantação de programas de gerenciamento de resíduos eficazes, a fim de evitar o comprometimento da segurança e saúde de trabalhadores, população e meio ambiente (MONTESANO, 2001; SORENSEN et al., 1998). Tal importância tem influenciado agências regulatórias de diversos países a endurecer as leis pertinentes à gestão ambiental.

2.4 Medidas de planejamento ambiental

Sistemas de gestão vêm sendo empregados por empresas, sendo considerada como primeira etapa do processo a realização do diagnóstico ambiental, de saúde e segurança com a finalidade de identificar a situação atual em relação às questões ambientais. Outro fator relevante é o comprometimento da administração e dos funcionários quanto aos requisitos dos aspectos ambientais, política ambiental, perigos e riscos, saúde e segurança, estrutura e responsabilidade. Resumindo, o sistema de gestão deve integrar meio ambiente, qualidade e segurança e saúde no trabalho.

Em vista disto, novas metodologias de gerenciamento ambiental vêm sendo mundialmente empregadas com o objetivo de minimizar ou mesmo evitar a geração da poluição, expressando-se, desta maneira, em uma ferramenta preventiva.

A adoção de medidas de planejamento ambiental nas unidades hospitalares vem merecendo uma atenção especial no Brasil. O detalhamento e melhoria das ações tiveram início na adoção do plano de gerenciamento de resíduos da área da saúde (PGRSS), onde são considerados princípios que conduzem à minimização, que visem o tratamento e a disposição final destes resíduos através de diretrizes de órgãos de meio ambiente e de saúde.

Campaner et al. (2002) citam a Resolução 283 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – de 12 de julho de 2001 que define *Resíduos de Serviços de Saúde* (RSS) como aqueles provenientes de qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal, os provenientes de centros de pesquisa,

desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde, medicamentos e imunoterápicos vencidos ou deteriorados, aqueles provenientes de necrotérios, funerárias e serviços de medicina legal e aqueles provenientes de barreiras sanitárias.

Os geradores de RSS devem adotar um Programa de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde que constitui-se num conjunto de procedimentos de gestão, planejados e implementados a partir de bases científicas, normativas e legais com o objetivo de minimizar a produção de resíduos e proporcionar aos resíduos gerados, um encaminhamento seguro, de forma eficiente, visando a proteção dos funcionários, a preservação da saúde pública, dos recursos naturais e do meio ambiente.

Caberá ao responsável legal dos estabelecimentos a responsabilidade pelo gerenciamento de seus resíduos desde a geração até a disposição final, de forma a atender aos requisitos ambientais e de saúde pública, sem prejuízo da responsabilidade civil solidária, penal e administrativa de outros sujeitos envolvidos, em especial os transportadores e depositários finais, como prevêm a Resolução nº 283 de 12 de julho de 2001 e a Lei nº. 9.605, de fevereiro de 1998 (Crimes Contra o Meio Ambiente).

A designação de técnico, devidamente capacitado, em função do tipo de resíduo a ser gerenciado, para exercer a função de responsável pelo PGRSS, se faz necessária e deve obedecer a critérios relacionados com o tipo de resíduo e com o volume gerado visto que um dos grandes problemas com o manuseio, em especial laboratórios e estabelecimentos hemoterápicos e hematológicos, é a terceirização do setor e a alta rotatividade de seus recursos humanos. Para serviços que geram resíduos químicos e radioativos, independente do volume de resíduos gerados no local, faz-se necessário profissional habilitado para trabalhar nessa área.

2.5 Medidas de planejamento ambiental para efluentes hospitalares

Atualmente existem grupos de pesquisa como Castelli et al. (2003), Silveira et al. (2003), Kümmerer (2001) e Silveira e Monteggia (2005), que vêm buscando soluções também para os efluentes hospitalares.

Segundo Emmanuel et al. (2005), os hospitais consomem um importante volume de água por dia. O consumo mínimo doméstico é de 100 L/pessoa/dia, visto que a demanda do valor para os hospitais geralmente varia de 400 a 1200 L/leito/dia. Nos países em desenvolvimento, este consumo apresenta-se em torno de 500 L/leito/dia. Certamente é

importante ressaltar o consumo de água em hospitais pois, a partir disto, conseqüentemente, geram-se significantes volumes de efluente.

Na grande maioria, os efluentes dos serviços de saúde são lançados *in natura* nos corpos receptores sem tratamento prévio, podendo ocasionar a contaminação das redes pluviais, bem como das águas subterrâneas em função da sobrecarga orgânica e da presença de substâncias potencialmente tóxicas (CASTELLI et al., 2003).

Os efluentes hospitalares apresentam pouca diferença em relação aos efluentes domésticos em se tratando de concentração de matéria orgânica, metais ou pH. Contudo, a presença de substâncias como drogas, desinfetantes, químicos e bactérias multiresistentes a antibióticos apresentam-se em elevadas concentrações nas águas residuárias hospitalares (KÜMMERER et al., 1999).

Emmanuel et al. (2005) afirmam que os hospitais utilizam uma variedade de substâncias químicas como fármacos, radionuclídeos, solventes e desinfetantes para finalidades médicas como, por exemplo, diagnósticos, desinfecções e pesquisas. Depois da aplicação, algumas dessas substâncias e drogas excretadas não-metabolizadas pelos pacientes entram nos efluentes hospitalares, que geralmente alcançam, tanto quanto o efluente urbano, a rede de esgoto municipal sem tratamento preliminar. Medicamentos não utilizados são dispostos também muitas vezes no esgoto hospitalar, sendo que essa forma de eliminação gera riscos para os organismos aquáticos. O contato de poluentes hospitalares com os ecossistemas aquáticos leva a riscos diretamente relacionados à existência de substâncias perigosas que podem ter efeitos potencialmente negativos no balanço biológico de ambientes naturais.

2.6 Organismos patogênicos em águas poluídas

A presença de patogênicos em águas poluídas, tratadas ou não, representa considerável risco à saúde da população em geral. Embora grandes avanços tenham sido realizados no que se refere ao tratamento de águas e esgotos, doenças de veiculação hídrica ainda causam sérios danos à saúde humana. Patogênicos infectam cerca de 250 milhões de pessoas a cada ano, resultando em 10 a 20 milhões de mortes.

Os patogênicos mais comumente encontrados em águas e esgotos podem ser divididos em quatro grupos distintos: vírus, bactérias, protozoários e helmintos (TOZE, 1999). A maioria destes são de origem entérica, ou seja, são excretados junto com o material fecal e liberado no esgoto, onde entrarão em contato com os corpos d'água. Como técnica e

economicamente é impraticável a detecção de todos os microorganismos possíveis de serem encontrados nas águas, um organismo indicador que sempre seja encontrado no material fecal, pode servir como indicador da presença de patogênicos.

De acordo com Lazarova et al. (1999), a crescente detecção de patogênicos relacionados a doenças de veiculação hídrica restringe cada vez mais os padrões de lançamento microbiológicos. Sendo assim, os processos de desinfecção devem, além de garantir a eliminação de ampla variedade de patogênicos com vistas a atingir os objetivos qualitativos das águas, considerar fatores adicionais como custos, equipamentos e geração de subprodutos tóxicos.

2.7 Efluente de lavanderia hospitalar

A lavanderia hospitalar é uma unidade funcional de apoio destinada ao atendimento de pacientes. Difere das lavanderias comerciais pela obrigatoriedade da barreira de contaminação que separa a área limpa da área contaminada ou suja. Sabe-se que é de extrema importância considerar as normas de segurança no trabalho, bem como a rotina de limpeza e desinfecção (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1986).

Dentre os efluentes hospitalares, os da lavanderia são os que contribuem com as características de menor biodegradabilidade, pois carregam sanitizantes, desinfectantes, antibióticos, umectantes e outros tensoativos, segundo Emmanuel et al. (2005), Mohee (2005), Kümmerer et al. (2000), Kümmerer (2001) e Wen et al. (2004).

A nocividade ambiental dos efluentes da lavanderia hospitalar é uma das mais acentuadas dentre os diversos setores de uma unidade de saúde, devido à presença dos poluentes em maior concentração e dos produtos químicos inseridos durante a lavagem das roupas. Sendo também a lavanderia hospitalar um setor essencial para a eficiência do hospital, considera-se necessário o pré-tratamento de seus efluentes visando à desinfecção e detoxificação, o que pode atenuar significativamente o seu impacto poluente, segundo Barrie (1994) e Navarro et al. (1997).

2.8 Processos Oxidativos Convencionais e Processos Oxidativos Avançados

Sob a ótica do tratamento de efluentes, a oxidação química é uma forma de transformar moléculas ambientalmente indesejáveis em outras moléculas menos tóxicas,

para que estas possam ser assimiladas de modo mais harmonioso nos ciclos da natureza, segundo Jardim e Canela (2004).

Os métodos de tratamento de efluentes industriais convencionais dividem-se basicamente em dois grupos: métodos baseados na transferência de fase e outros, chamados processos oxidativos, baseados na destruição dos poluentes.

Os métodos envolvendo transferência de fase têm o seu mérito, pois reduzem significativamente o volume do meio contaminado, entretanto, baseiam-se somente na transferência de fase do contaminante, sem que ele seja de fato destruído. Nesses casos são obtidas duas fases: uma composta pela água limpa e outra pelo resíduo contaminante concentrado. Entre esses processos, pode-se citar: precipitação, coagulação, floculação, sedimentação, flotação, filtração, ultrafiltração, uso de membranas, adsorção de orgânicos e inorgânicos, *air-stripping*, centrifugação, osmose reversa, extração, destilação, evaporação (JARDIM e CANELA, 2004).

Embora de grande aplicabilidade, essas tecnologias apresentam algumas desvantagens como, por exemplo, no caso do *air-stripping* que, consistindo na retirada dos compostos orgânicos da matriz de interesse pela injeção de ar ocorrendo a volatilização dos mesmos, necessita-se de um pós-tratamento, pois esses compostos não podem simplesmente serem lançados na atmosfera; ou então no caso da adsorção em carvão ativado, que é a retirada dos compostos orgânicos da matriz de interesse pela passagem pelo carvão, ocorrendo a adsorção dos mesmos, onde produz-se, muitas vezes, um resíduo sólido perigoso cuja disposição final torna-se um problema, segundo Jardim e Canela (2004).

Por sua vez, a destruição de poluentes orgânicos por processos oxidativos tem como vantagem o fato de destruí-los e não somente transferi-los de fase. A mineralização do poluente pode ocorrer por métodos físicos, biológicos ou químicos. Entre os mais utilizados, pode-se citar a incineração e o tratamento biológico.

A incineração baseia-se na mineralização dos compostos orgânicos, submetendo-os à altas temperaturas e tem como vantagem o fato de ser o método oxidativo mais antigo e conhecido e, por isso, é utilizado no tratamento de resíduos em geral. A incineração, entretanto, apresenta como desvantagens o custo e a dificuldade de operação, pois estão envolvidas temperaturas geralmente maiores que 850° C. Além disso, requer alta energia para vaporizar resíduos aquosos, não se mostrando como o processo mais adequado para tratar soluções aquosas contaminadas. Apresenta também a desvantagem de incinerar todo o material e não apenas o contaminado, além de possibilitar a formação de compostos mais tóxicos, pois transforma bifenilas policloradas (PCBs) em dioxinas (OPPELT, 1986; HUANG et al., 1993).

A incineração é um assunto polêmico. Alguns trabalhos defendem o uso de incineradores, elegendo-os como “a melhor e, em alguns casos particulares, a única solução para eliminar resíduos sólidos”, e ainda afirmam que existe um preconceito muito grande que os incineradores são “uma fábrica de poluição” (HAYASHI, 1993). Por outro lado, há quem afirme que plantas de tratamento de esgotos e incineradores são uma fonte constante de contaminantes para o meio ambiente, pois muitos dos produtos lançados são bioacumulativos e persistentes (PELIZZETTI et al., 1985).

O tratamento biológico, por sua vez, é a técnica mais utilizada devido ao seu baixo custo e à sua versatilidade na oxidação de um grande número de poluentes orgânicos. Neste tipo de tratamento, microorganismos, principalmente bactérias, promovem a conversão da matéria orgânica presente em constituintes inorgânicos inócuos. Eles podem ser divididos em aeróbios, que utilizam bactérias e fungos que requerem oxigênio molecular, formando CO_2 e H_2O ou anaeróbios, que utilizam bactérias, as quais levam à formação de CO_2 e CH_4 e cujo aceptor de elétrons pode ser uma das espécies NO_3^- ou SO_4^{2-} ; neste caso o oxigênio molecular está ausente.

O tratamento biológico é muito utilizado devido ao seu baixo custo, possibilidade de tratar grandes volumes e, no caso de solos, permitir o tratamento *in situ*. Nesses processos pode haver dificuldades operacionais, pois o processo é sensível às condições e pode produzir substâncias recalcitrantes e/ou mais tóxicas que o composto inicial (GULYAS, 1992). Um exemplo deste inconveniente é o uso de cloro como oxidante, pois pode converter contaminantes hidrocarbonetos em derivados mais prejudiciais, os trihalometanos (THMs). Para diminuir os níveis de THM na água potável tem-se investigado alguns fatores como: mudança no ponto de cloração, uso de outros desinfetantes ao invés do cloro, remoção dos THM depois da sua formação ou ainda remoção dos orgânicos precursores (ácidos húmicos, ácido fúlvico, metil-cetonas, fenóis, anilinas e quinonas) (MOYERS e WU, 1985).

A utilização de oxidantes fortes para tratamento e desinfecção de água é antiga. O primeiro trabalho utilizando ozônio como desinfetante foi feito por De Meritens em 1886. Entretanto, somente em 1973, durante o primeiro Simpósio Internacional em Ozônio para Tratamento de Águas e Efluentes, foi usada a terminologia “Tecnologias de Oxidação Avançada”. Neste trabalho era utilizada a combinação entre ozônio e radiação ultravioleta para oxidar complexos de cianeto. Além disso, em 1972, Fujishima e Honda descrevem a oxidação da água em suspensão de TiO_2 gerando hidrogênio e oxigênio e, em 1976, foi publicado o primeiro trabalho utilizando fotocatalise heterogênea na degradação de contaminantes, tanto em fase aquosa quanto gasosa (GÁLVEZ et al., 2001).

Estes trabalhos talvez tenham sido o ponto de partida para que essas tecnologias fossem conhecidas e difundidas, pois, daí em diante, pode-se notar claramente quatro etapas no seu desenvolvimento. A primeira, entre 1976 e 1985, onde são encontrados poucos trabalhos científicos e não se tinha certeza da aplicação concreta desses processos. A segunda, entre 1985 e início da década de 90, onde nota-se uma preocupação crescente da comunidade científica internacional por temas relacionados ao meio ambiente e, com o êxito das primeiras experiências, um grande número de estudiosos vêem esses processos como um método universal para a degradação de contaminantes orgânicos. A terceira etapa, entre o meio e o final da década de 90, na qual ocorre uma grande disseminação de resultados contraditórios, gerando debates sobre as suas aplicações e enfatizando as suas limitações e inconvenientes. A quarta etapa, que é a atual, caracteriza-se por uma visão mais conservadora e realista das reais possibilidades desta tecnologia, onde o processo, se desenvolvido adequadamente, pode resultar numa aplicação viável e competitiva (GÁLVEZ et al., 2001).

Como prova da disseminação e do sucesso alcançado por essas tecnologias, em 2003, no Canadá, foi realizado um evento já tradicional nesta área que englobou o 9-AOTs (*Advanced Oxidation Technologies for Water and Air Remediation*), o 8-TiO₂ (*TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals & Applications*) e o 1-OSR (*Optimizes Site Remediation: Techmologies, Processes, and Strategies for Attaining Cost-Effective Closure*). O objetivo deste tipo de encontro é reunir cientistas, engenheiros, profissionais liberais e representantes de universidades, institutos de pesquisa, indústrias, laboratórios e instituições governamentais, a nível mundial, para trocar conhecimento e experiência, tanto teórica quanto prática.

Na América Latina parte destas tecnologias, em especial a fotocatalise heterogênea, tem sido amplamente discutida dentro do Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), criado em 1984 e que conta com representantes da Argentina, Brasil, Colômbia, Cuba, Chile, Espanha, México, Panamá, Peru e Uruguai.

No Brasil este assunto é objetivo de estudo de vários grupos de pesquisa espalhados pelo país, onde muitos pesquisadores puderam se reunir nos dois EPOA – Encontro Sobre Aplicações Ambientais de Processos Oxidativos Avançados, realizados em outubro de 2001 em Águas de São Pedro e em 2003 em Campinas (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

Existe uma série de tecnologias de tratamento disponíveis no mercado. Entretanto, levando em consideração que as matrizes de interesse são muitas vezes compostas de substâncias com alta toxicidade e que, destruir o poluente é muito mais interessante do que

simplesmente transferi-lo de fase, nos últimos anos uma nova tecnologia vem se difundindo e crescendo: os Processos Oxidativos Avançados.

Os POAs apresentam uma série de vantagens em relação aos processos convencionais de tratamento de efluentes: mineralizam o poluente e não somente transferem-no de fase; são muito usados para compostos refratários a outros tratamentos; transformam produtos refratários em compostos biodegradáveis; podem ser usados com outros processos (pré e pós tratamento); tem forte poder oxidante, com cinética de reação elevada; geralmente não necessitam um pós tratamento ou disposição final, tendo sido usado oxidante suficiente, mineralizam o contaminante e não forma subprodutos; geralmente melhoram as qualidades organolépticas da água tratada; em muitos casos, consomem menos energia, acarretando menor custo; possibilitam tratamento *in situ*. Esses processos são baseados na geração de radical hidroxila (HO^{\bullet}), espécie altamente oxidante e não seletiva.

Muitos estudos têm demonstrado que os Processos Oxidativos Avançados são capazes de promover a total mineralização de uma grande variedade de contaminantes orgânicos e a inativação de amplo espectro de agentes patogênicos, segundo Emmanuel et al. (2005), Daniel (2001), Sperling (2005) e Gumi et al. (2005).

Esses processos caracterizam-se por transformar a grande maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, através de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente os radicais hidroxila. Esses radicais têm potencial de oxidação de 2,8 V (em sistemas aquosos), menor apenas do que o do flúor, que é de 3,03 V. São processos limpos e não seletivos, podendo degradar inúmeros compostos, independentemente da presença de outros. Além disso, podem ser usados para destruir compostos orgânicos tanto em fase aquosa, como em fase gasosa ou adsorvidos numa matriz sólida (DOMENECH et al., 2001).

Os radicais hidroxila podem ser gerados através de reações envolvendo oxidantes fortes, como ozônio (O_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), semicondutores, como dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de zinco (ZnO) e irradiação ultravioleta (UV) (MANSILLA et al., 1997).

Os Processos Oxidativos Avançados podem contar com a presença de catalisadores sólidos, chamando-se, neste caso, de heterogêneos. Na ausência de tais catalisadores, os processos são chamados de homogêneos. Tais catalisadores são substâncias que aumentam a velocidade da reação para atingir o equilíbrio químico sem sofrerem alteração química. As reações feitas na presença de tais substâncias são chamadas de reações catalíticas.

2.9 Fotocatálise heterogênea

Uma alternativa que vem sendo estudada para desinfecção é a fotocatálise heterogênea (FH) que, utilizando a radiação UV como coadjuvante, promove um aumento da eficiência de desinfecção, já que esta acontece por dois mecanismos sinérgicos, ou seja, pelo UV e pelos sítios altamente oxidantes formados na superfície do catalisador. Geralmente os fotocatalisadores utilizados na FH são óxidos de metais de transição, sendo o dióxido de titânio o mais utilizado. Quando partículas de TiO_2 que estão em contato ou muito próximas de microorganismos são irradiadas, os radicais hidroxilas gerados atacam a superfície microbiana, danificando componentes importantes das células, como o DNA. A eficiência do processo fotocatalítico está intimamente relacionada ao preparo da superfície catalisadora, modo de deposição, tipo de substrato utilizado e mecanismo de contato entre o microorganismo e o catalisador, segundo Montagner e Jardim (2005), Munóz et al. (2006) e Rosenfeldt et al. (2006).

Segundo Nogueira e Jardim (1998), o princípio da fotocatálise heterogênea envolve a ativação de um semicondutor, geralmente TiO_2 , por luz solar ou artificial. Um semicondutor é caracterizado por bandas de valência (BV) e bandas de condução (BC), sendo a região entre elas chamadas de “band-gap”. A energia de “band-gap” é a energia mínima necessária para excitar o elétron e promovê-lo de uma banda de menor para outra de maior energia. Uma apresentação esquemática da partícula do semicondutor é mostrada na Figura 1. A adsorção de fótons com energia superior à energia de “band-gap” resulta na promoção de um elétron da banda de valência para a banda de condução com geração concomitante de uma lacuna (h^+) na banda de valência. Estas lacunas mostram potenciais bastante positivos, na faixa de +2 a +3,5 V, dependendo do semicondutor e do pH. Este potencial é suficientemente positivo para gerar radicais $\text{HO}\cdot$ a partir de moléculas de água adsorvidas na superfície do semicondutor, os quais podem subseqüentemente oxidar o contaminante orgânico. A eficiência da fotocatálise depende da competição entre o processo em que o elétron é retirado da superfície do semicondutor e o processo de recombinação do par elétron/lacuna o qual resulta na liberação de calor.

Hoje em dia, a degradação fotocatalítica com semicondutor é vista como um método promissor para a remoção de contaminantes tóxicos orgânicos e inorgânicos da água. A fotocatálise heterogênea com TiO_2 , em especial, já tem sido aplicada com sucesso na destruição de inúmeras classes de compostos (DAVIS et al., 1989).

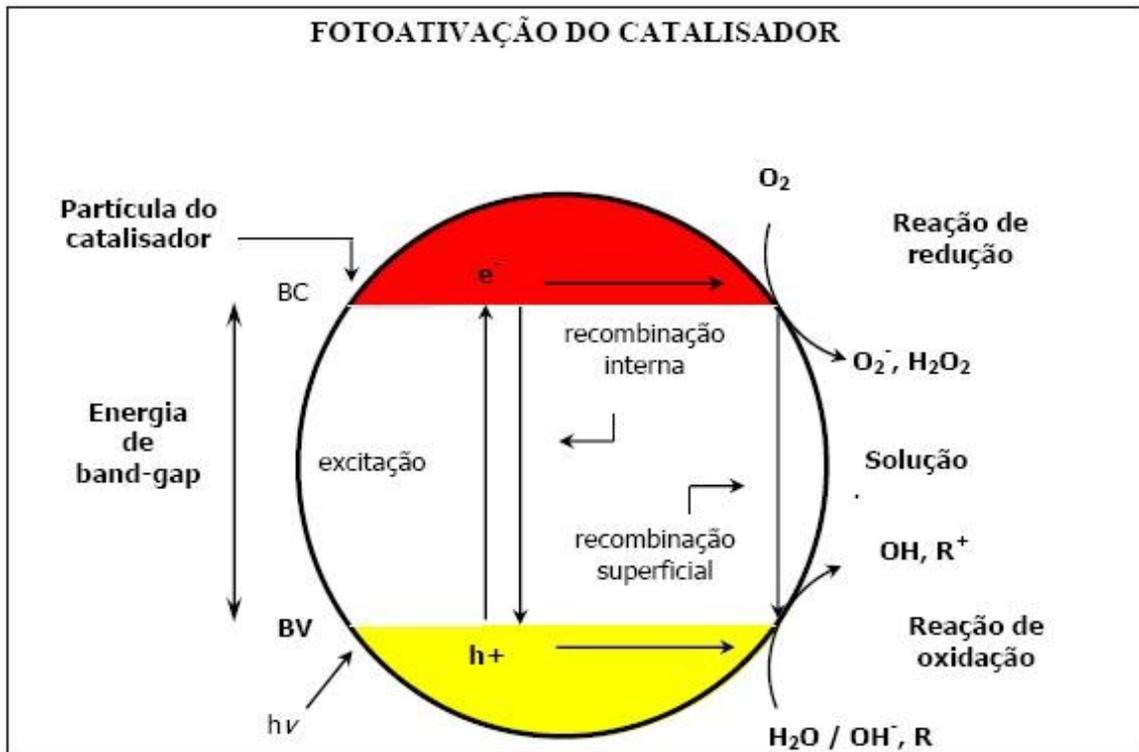


Figura 1. Esquema representativo da partícula de um semicondutor. BV: bandas de valência; BC: bandas de condução.

Fonte: JARDIM e TEIXEIRA (2004).

2.10 Aplicação de dióxido de titânio

De acordo com Jardim e Teixeira (2004), de todos os fotocatalisadores semicondutores mencionados na literatura, o dióxido de titânio (TiO_2) é o fotocatalisador mais ativo e o que mais tem sido utilizado na degradação de compostos orgânicos presentes em águas e efluentes. Além disso, nas últimas décadas, o TiO_2 tem sido extensivamente estudado por suas propriedades elétricas, magnéticas e eletroquímicas e, com isso, tem sido utilizado numa variedade enorme de aplicações tecnológicas. Algumas das vantagens do dióxido de titânio são o baixo custo, a não toxicidade, a insolubilidade em água, a fotoestabilidade, a estabilidade química numa ampla faixa de pH, a possibilidade de imobilização sobre sólidos e a possibilidade de ativação por luz solar.

O TiO_2 pode ser utilizado na forma de suspensão (lama) ou imobilizado, cada qual com as suas vantagens e desvantagens. Muitos trabalhos têm sido realizados com o intuito de melhor viabilizar o uso dos catalisadores, imobilizando-os em diversas matrizes inertes, o

que simplifica seu manuseio e possibilita sua modificação catalítica, em particular pela deposição de pequenas quantidades de metal em sua superfície, diminuindo a recombinação dos elétrons e das lacunas, um dos problemas da fotocatalise heterogênea. No entanto, estando o catalisador imobilizado, os volumes tratados não podem ser grandes, pois a distância entre ele e a fonte luminosa impede que os fótons emitidos consigam atingir a superfície catalítica (DANIEL, 2001; ADDAMO et al., 2005; MUÑOZ et al., 2006; FERREIRA e DANIEL, 2004).

2.11 Aplicação da irradiação ultravioleta

A fração mais energética do espectro ultravioleta (UV) é comumente usada como agente bactericida em tratamento de água e ar, permitindo uma taxa de desinfecção eficiente pelo emprego de lâmpadas germicidas (254 nm), sem, contudo, eliminar a massa microbiana. A desinfecção com radiação ultravioleta é diferente dos métodos que utilizam produtos químicos, como, por exemplo, o cloro. Sendo assim, não adiciona produtos ao esgoto ou à água, não há residual desinfetante e a ação da radiação só é efetiva enquanto a fonte estiver ligada ou o líquido estiver passando pelo reator fotoquímico. Há dois modelos de fontes de radiação artificiais ultravioleta: as lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio e as lâmpadas de média pressão de vapor de mercúrio (CHERNICHARO, 2001; DANIEL, 2001).

A irradiação UV pode ser usada individualmente e com muito sucesso na inativação de algas (ALAM et al., 2001) e na inativação de microorganismos patogênicos (DONAIRE, 2001), pois ela causa um dano no seu DNA, impedindo sua reprodução. Além disso, a radiação UV pode ser usada na destruição de compostos orgânicos em processos de degradação fotoquímicos e fotocatalíticos. Os radicais hidroxila, que são as espécies oxidantes nesses processos, podem ser gerados através da utilização de oxidantes, como ozônio, peróxido de hidrogênio, Fenton, e outros, sem irradiação UV. Entretanto, o uso combinado desses oxidantes com UV apresenta uma série de vantagens, aumentando a eficiência dos processos catalíticos (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

2.12 Aplicação de ozônio

O ozônio é um gás incolor de odor pungente e com alto poder oxidante ($E_0 = 2,08$ V). Possui forma triatômica do oxigênio e, em fase aquosa, ele se decompõe rapidamente a oxigênio e espécies radicalares (KUNZ et al., 2002). O ozônio também tem sido estudado há muitos anos e a sua utilização tem sido citada em um número cada vez maior de trabalhos, pois é eficiente na degradação de uma grande variedade de poluentes em fase líquida, bem como na remoção de odores em fase gasosa (HWANG et al., 1994).

Segundo Jardim e Teixeira (2004) existem dois tipos de reações envolvendo ozônio: direta, onde a molécula de ozônio reage diretamente com outras moléculas orgânicas ou inorgânicas, via adição eletrofílica, e indireta, através de reações radicalares (principalmente $\cdot\text{OH}$). Além disso, existem diversas formas do ozônio gerar radicais hidroxila, dependendo dos coadjuvantes presentes no sistema reacional.

Em se tratando de desinfecção de efluentes, o ozônio é apresentado como excelente neste tipo de processo devido à sua rapidez de ação, ao seu elevado potencial de oxidação-redução, à sua eficiência na inativação de microorganismos e devido à baixa toxicidade encontrada nos efluentes tratados. Além de desinfetar, a ozonização de efluentes secundários reduz a concentração de sólidos suspensos totais pela flotação e pela solubilização. A ação oxidante do ozônio atua sobre as moléculas orgânicas que causam cor. Assim, o efluente desinfetado normalmente tem cor menor que o não desinfetado. Por conseqüência, ocorre redução de DBO_5 , DQO, e absorvância em comprimento de onda de 254 nm (CHERNICHARO, 2001 e CHO, 2006).

2.13 Reatores

Uma grande variedade de reatores fotoquímicos têm sido empregada nos estudos de fotodegradação. A maioria dos experimentos em laboratório são com reatores do tipo batelada completamente misturados. Entretanto, existem também reatores no forma de espiral em torno da fonte luminosa, reatores cilíndricos empacotados, reatores de leito fixo, entre outros (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

Os reatores do tipo filme fino sobre leito fixo são muito utilizados quando a fonte luminosa é o sol. Tais reatores são chamados de “reatores solares” e têm a vantagem de que o sol, sendo uma fonte de energia livre, reduz o custo do processo, além de serem sistemas fáceis de serem construídos, mantidos e operados. Sua utilização tem sido amplamente

estudada, como é o caso de Nogueira (1995), que comparou a luz solar com a artificial, Kinkennon et al. (1995), que utilizaram luz solar para degradar herbicidas em água, Muskat et al. (1995) que degradaram pesticidas, March et al. (1995) que modelaram o desempenho de reatores planos, Ferreira e Daniel (2004) que apresentaram um reator tipo rampa com radiação solar e Machado et al. (2006) que apresentaram um reator tipo rampa com utilização de radiação ultravioleta.

Em laboratório, os sistemas fotoquímicos são geralmente estudados em escala experimental, com fontes de luz de baixa energia, com reatores de pequeno volume e com concentrações e temperaturas muito bem controladas (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

2.14 Ensaios de tratabilidade

Devido à extrema complexidade dos efluentes e a diversidade de compostos que podem ser encontrados nos mesmos, cada estudo de viabilidade de tratamento deve ser realizado de forma isolada. Conforme Freire et al. (2000), os processos desenvolvidos devem ser direcionados a um tipo particular de efluente, já que não existem procedimentos padronizados que possam ser aplicados no tratamento de um grande número de efluentes.

Dessa forma, para que um efluente possa ser tratado por Processos Oxidativos Avançados, é de extrema importância que ele seja submetido a um ensaio de caracterização e de tratabilidade que vai definir tanto os parâmetros ótimos do processo quanto aos insumos necessários, dando uma estimativa do seu custo.

Para monitorar os POAs, conforme Gálvez et al. (2001), um fator importante nas reações de degradação envolvidas consiste não apenas no desaparecimento dos contaminantes principais, mas na conversão de carbono orgânico em carbono inorgânico na forma de CO₂ para que seja assegurado que tanto o contaminante quanto quaisquer subprodutos formados tenham sido degradados. A degradação parcial é aceita se o produto final for inócuo. Assim, o seu monitoramento pode ser realizado através de várias análises, conforme o objetivo, a necessidade e até mesmo a estrutura disponível.

O mais importante, entretanto, é que os ensaios de tratabilidade sejam contextualizados, ou seja, estejam inseridos dentro de um panorama maior, possibilitando uma melhor contribuição para a solução do problema em questão.

Para efluentes líquidos, é fundamental uma avaliação da possibilidade de reduzir, segregar ou tratar com menor custo (biológico) o efluente em questão. Além disso, deve-se ter em mente a adequação à demanda exigida (volume a ser tratado, espaço disponível na

empresa/instituição, verba, aceitação por parte do contratante/órgão ambiental) (JARDIM e TEIXEIRA, 2004).

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local de estudo

Os efluentes estudados foram coletados em um hospital localizado no Vale do Rio Pardo, RS, Brasil. Este hospital possui 180 leitos destinados ao atendimento de pacientes, sendo que a equipe de trabalho é composta de 488 colaboradores divididos em quatro turnos de trabalho. A unidade hospitalar em estudo apresenta, também, uma média de 10.700 internações anuais, com mais de 32 mil atendimentos ambulatoriais, 6.700 cirurgias, 1.500 partos e serve aproximadamente 295 mil refeições por ano.

É caracterizado como hospital regional e possui sistema de tratamento secundário do tipo tanque séptico, o que é comum à maioria dos hospitais no Brasil.

3.2 Fonte e coleta de dados

Os dados empregados neste estudo são primários, coletados pela autora deste trabalho. Constitui-se de dados de observação direta do ambiente, produzidos durante as visitas realizadas no hospital selecionado. Além disso, informações foram obtidas através de entrevistas e aplicação de um questionário em todos os setores do hospital. As entrevistas e os questionários foram realizados nos próprios locais de trabalho. Neste questionamento foram evidenciados aspectos relevantes com relação aos produtos químicos utilizados em cada setor, bem como verificados a sua quantidade média gasta por mês e o seu método de descarte. Posteriormente, realizou-se uma consulta ao setor de almoxarifado do hospital para confirmar os resultados obtidos pela aplicação dos questionários.

A análise dos dados foi realizada a partir do material registrado nas observações e entrevistas.

3.3 Coleta e preservação das amostras

Para o processo de tratamento e análises, as amostras foram coletadas diretamente na saída da máquina de lavar, isto é, antes da entrada na fossa séptica destinada ao esgoto urbano da cidade.

Na lavanderia as roupas são classificadas em três tipos, de acordo com o grau de contaminação: pesada, média e leve. Preferiu-se realizar a coleta na lavagem das roupas com grau de contaminação pesada, oriundas das áreas críticas, como bloco cirúrgico, centro obstétrico e internações. O processo de lavagem varia de acordo com esse grau de contaminação ou sujidade. No caso deste trabalho estão envolvidas quatro etapas que compõem o ciclo de lavagem: umectação, lavagem, alvejamento e amaciamento. A cada etapa são adicionados produtos químicos. As coletas foram realizadas separadamente para cada etapa do ciclo de lavagem.

As amostras foram coletadas no local apropriado sob normas de higiene e segurança, de acordo com o APHA/AWWA - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998), acondicionadas e preservadas adequadamente e, após, transferidas para os laboratórios da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

3.4 Planejamento experimental para a lavanderia hospitalar

Na lavanderia hospitalar, local onde foram coletadas as amostras para a parte experimental, tanto nas visitas como no questionamento foram evidenciados aspectos relevantes quanto ao gerenciamento interno da coleta, do processamento de lavagem e da distribuição da roupa, bem como a relação dos funcionários com a questão ambiental. A Figura 2 apresenta um diagrama do andamento do processo realizado na lavanderia.

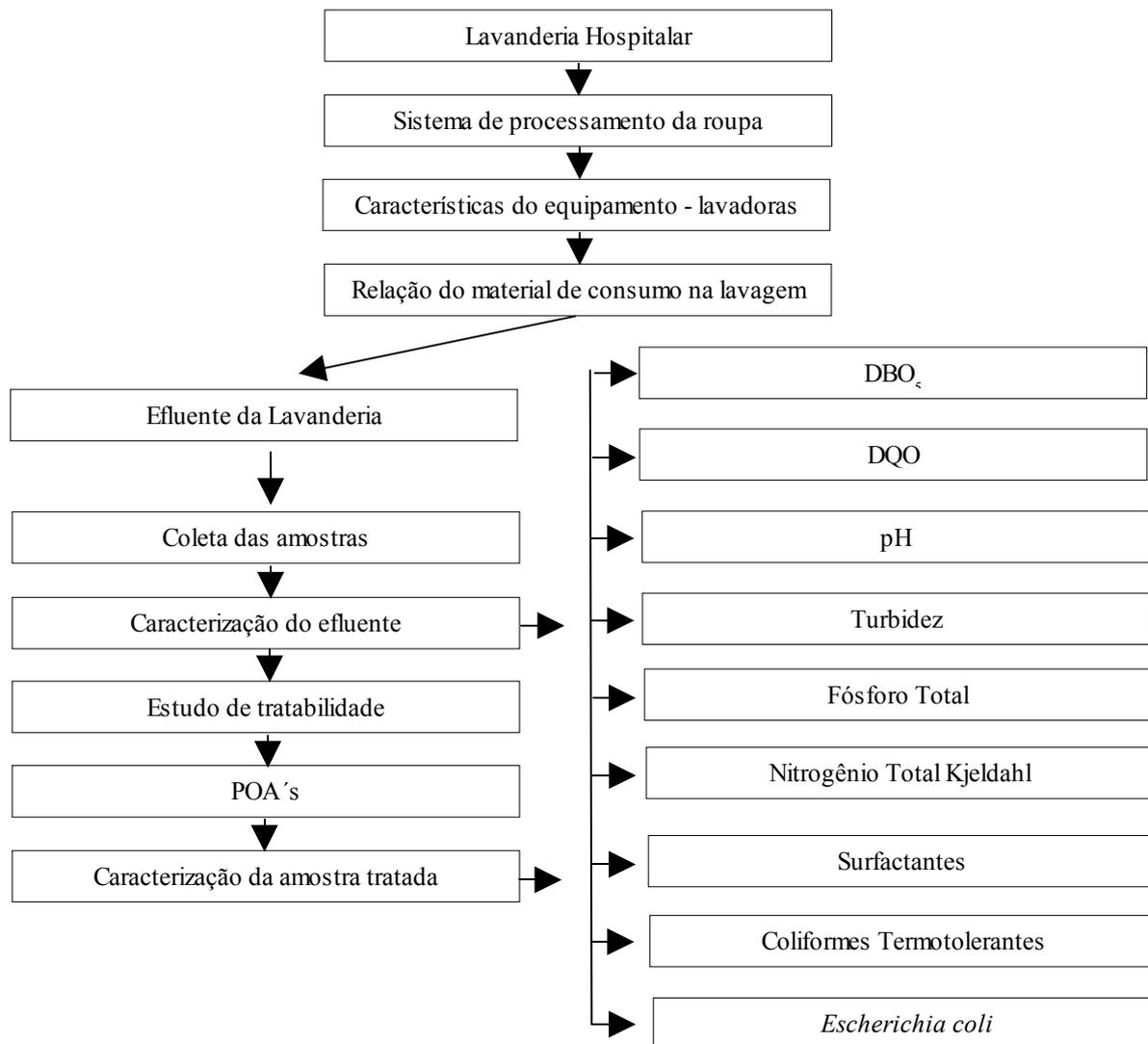


Figura 2. Diagrama simplificado da metodologia utilizada para este efluente.

3.5 Análises físico-químicas e microbiológicas

Para caracterizar e demonstrar a eficiência dos tratamentos propostos, foram realizadas determinações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, surfactantes, nitrogênio total, fósforo total, pH e turbidez, conforme apresentado na Figura 2. Todas as análises foram realizadas nos laboratórios da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC. As análises de DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, surfactantes, nitrogênio total e fósforo total foram realizadas pela Central Analítica e as análises de pH e turbidez foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Tratamento de Águas e Efluentes.

Todas as análises foram realizadas de acordo com o APHA/AWWA - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998).

3.6 Configuração do reator e ensaios de fotoozonização catalítica

O sistema desenvolvido para a realização do tratamento foi o de fotocatalise heterogênea, onde se optou pela utilização de um reator do tipo rampa, conforme ilustrado na Figura 3. Este sistema havia sido previamente construído por Machado et al. (2006).

As características do sistema de tratamento são apresentadas nas Figuras 3 a 7. Este sistema é composto de uma rampa por onde escoar a amostra, construída em acrílico transparente com uma base de madeira, tamanho de 30,7 cm de largura e 71 cm de comprimento, com uma área de 2.179,7 cm². Sobre esta rampa está depositado o catalisador dióxido de titânio (TiO₂) P-25 da Degussa - predominantemente anatase, o qual foi pulverizado e fixado com clorofórmio. A recirculação da amostra ocorre com auxílio de uma bomba pequena para aquário, sendo que a amostra passa do reservatório inicial para uma calha superior onde encontram-se ventiladores; segue então pela rampa e chega a uma segunda calha (inferior) onde também há ventiladores; e após retorna ao ponto inicial para um novo ciclo. Os ventiladores funcionam através de uma fonte com 12 volts de energia e garantem que o ozônio que este sistema recebe seja mais intenso nesses pontos. No reservatório há uma placa porosa que, com o auxílio de outra bomba, trabalha na aeração do efluente e na difusão do ozônio. A lâmpada de 30 watts é responsável pela emissão da radiação ultravioleta e pela geração de ozônio e situa-se na parte superior interna da cobertura que recobre este sistema.

Todos os ensaios de tratamento foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Tratamento de Águas e Efluentes na UNISC.

3.7 Parâmetros operacionais do reator

Alguns parâmetros operacionais foram previamente fixados com base em limitações do equipamento ou por dados disponíveis na literatura por Machado et al. (2006).

A faixa de pH foi mantida no meio alcalino, pois é mais favorável à geração de radical hidroxila, tanto por fotoirradiação como através da decomposição radicalar do ozônio dissolvido, segundo Litter (1999) e Chernicharo (2001).

A potência de irradiação da lâmpada também foi mantida em 30 W, embora seja conhecido que a dosagem de energia é diretamente proporcional à degradação de material poluente e à geração de ozônio no fotorreator, segundo Weber (1993).

Na Tabela 1 são apresentadas as condições de operação segundo Machado et al. (2006).

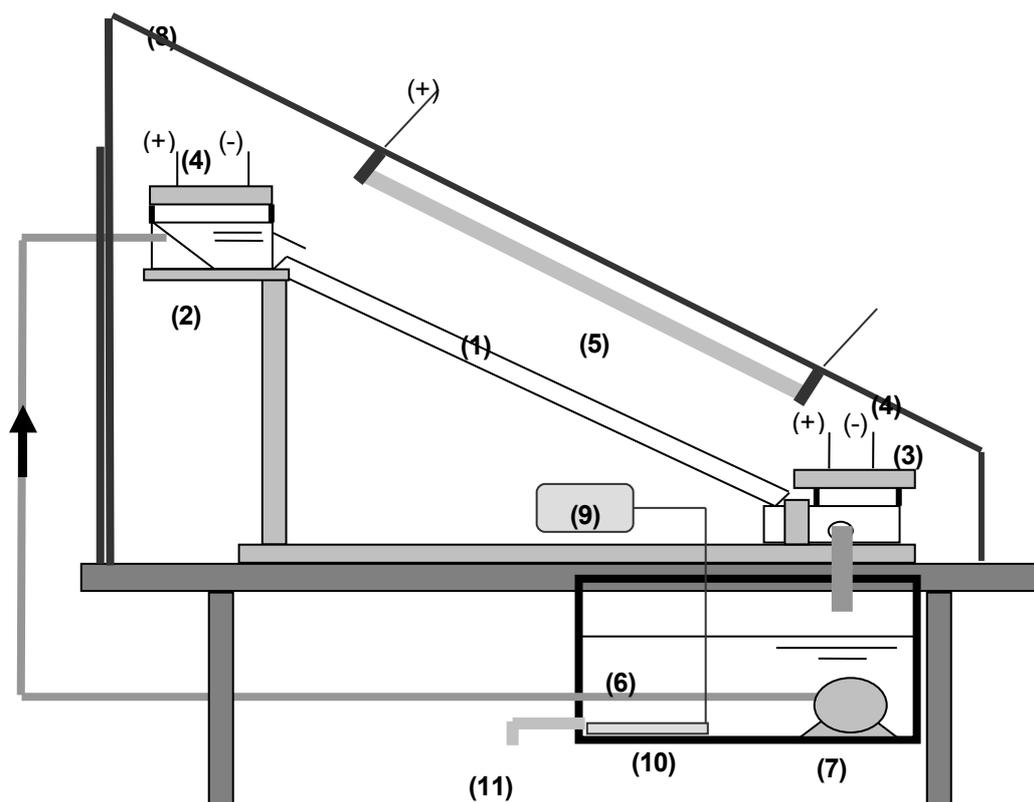


Figura 3. Reator de fotozonização tipo rampa: (1) Rampa em acrílico, inclinação de $36,5^\circ$; (2) Calha distribuidora 1; (3) Calha distribuidora 2; (4) Ventiladores com 2 W de potência e ddp de 12 V; (5) Lâmpada germicida de baixa pressão de vapor de mercúrio; (6) Tanque de recirculação em acrílico, com volume útil de 6 L; (7); Bomba de recirculação submersa, com capacidade de até 180 L h^{-1} ; (8) Cobertura de vedação do reator tipo rampa destinado à retenção do ar ozonizado; (9) Bomba pneumática (2 W); (10) Placa porosa para difusão de ozônio; (11) Ponto de amostragem.



Figura 4. Vista lateral do reator de fotozonização em uso, com a cobertura de vedação.

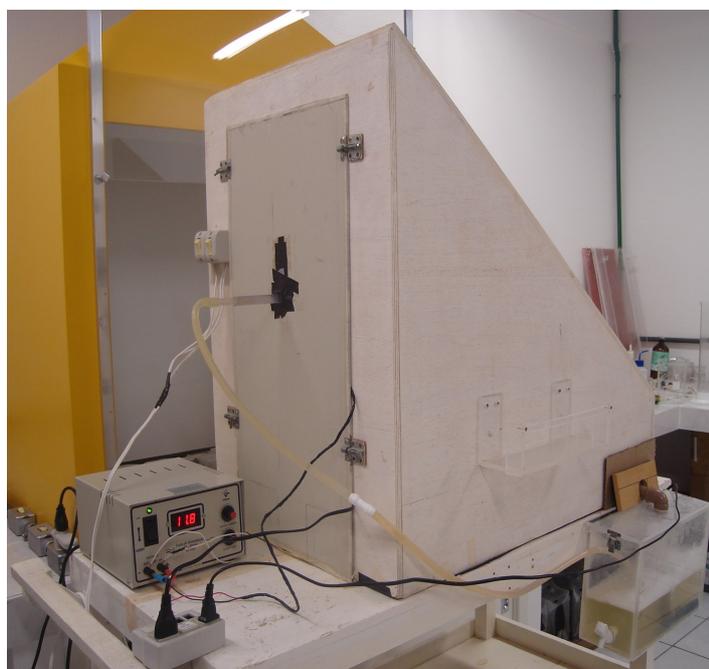
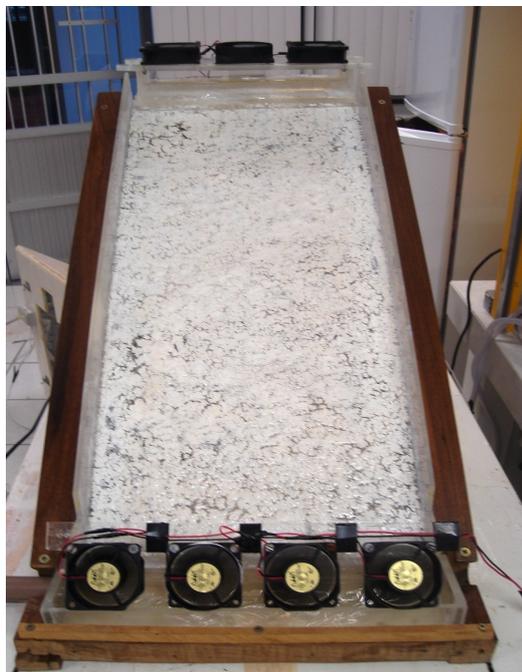


Figura 5. Vista posterior do reator de fotozonização em uso, com a cobertura de vedação.



Figura 6. Reator de fotozonização em funcionamento, sem a cobertura de vedação.



A



B

Figura 7. **A.** Reator aberto, em repouso, evidenciando a rampa com a cobertura de TiO₂, as calhas coletoras e os ventiladores; **B.** Reator aberto, em uso, evidenciando a rampa com a cobertura de TiO₂ e as calhas coletoras.

Tabela 1. Resumo das condições operacionais do reator de UV/TiO₂/O₃.

Parâmetros	Valores
Energia Irradiada (J cm ⁻² , $\lambda < 360$ nm)	31,9
Potência destinada aos ventiladores, bomba pneumática e bomba de recirculação (W)	24
Quantidade de TiO ₂ na Rampa (mg cm ⁻²)	2,96
Tempo Reacional (min)	60
Tempo de Retenção na Rampa (min)	2,7
Volume Útil (L)	4
Temperatura (°C)	25
Vazão de Recirculação (L h ⁻¹)	180

A vazão de 180 L h⁻¹ configura o limite da bomba de recirculação, sendo selecionado este valor para a execução dos experimentos. Com este valor de vazão, o tempo de residência na rampa para todos os processos foi de 2,7 minutos.

Outro aspecto importante refere-se à geração de ozônio. A lâmpada germicida, nas condições de configuração do reator mostradas na Figura 3, apresentou capacidade para dissolução de 12 mg O₃ L⁻¹ a partir de uma taxa de geração máxima de 5,80 mg O₃ h⁻¹ no ar interior do reator. Considera-se que o valor dissolvido mais elevado é devido ao efeito acumulativo de transferência, o que é obtido com o tempo mínimo de 1 hora de incidência de radiação UV para iniciar o tratamento, conforme Machado et al. (2006).

Apesar de não possuir sistema de saída de gás (exaustão) o reator foi dotado de uma bomba pneumática de baixa potência destinada a transferir adicionalmente ar ozonizado para o tanque de equalização, auxiliando na transferência de ozônio para o meio líquido e impedindo a contaminação do ar no entorno do reator tipo rampa. Após o período de funcionamento do reator com a lâmpada ligada, ocorrendo a geração contínua de ozônio, estabeleceu-se o prazo de 30 minutos destinado à remoção final do ozônio no

compartimento de fotoirradiação. Para que houvesse a transferência de ozônio para o efluente foi necessária a colocação de ventiladores.

O ângulo de inclinação de $36,5^{\circ}$ não tem relação direta com o desempenho do reator de fotoirradiação concebido, pois o sistema de iluminação é artificial, sendo que a lâmpada está paralela à rampa. No entanto, caso o sistema necessite futuramente de irradiação mista (solar e artificial), esta é a melhor inclinação para a região de localização onde os experimentos foram realizados.

A rampa do presente trabalho já havia sido anteriormente utilizada durante 8 meses e, nesta rampa de acrílico, não foram observados aspectos de fotodegradação ou contaminação resultante da fixação com suspensão de TiO_2 em CHCl_3 que indicassem inadequação do emprego destes materiais. Também não foi detectada perda de eficiência do TiO_2 fixado na rampa, o que pode ser sinal de vida útil prolongada para o sistema fotocatalítico.

O início do tratamento dos efluentes ocorreu com o enchimento do tanque de recirculação e acionamento da bomba submersa e da lâmpada germicida. Tempos de tratamento de até 60 minutos foram investigados.

Com o reator apresentado nas Figuras 3 a 7 foram realizados diversos tipos de tratamentos, sendo eles UV, O_3 , TiO_2 , e os conjugados O_3/UV , TiO_2/UV , O_3/TiO_2 , e $\text{UV}/\text{TiO}_2/\text{O}_3$.

Capítulo 4

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Educação ambiental

A implantação de uma consciência ambiental nas instituições proporciona uma administração moderna e responsável, pois, além de preservar o meio ambiente, adiciona benefícios econômicos com a redução de custos e eliminação das perdas. A implantação de tecnologias mais adequadas nas áreas de energia hidráulica, de resíduos, de segurança e conforto aos clientes/pacientes, colaboradores e à comunidade, tornará o hospital em estudo uma instituição com efetiva responsabilidade sócio-ambiental.

Em se tratando da conscientização dos servidores a respeito da preservação do meio ambiente, é de grande valia disponibilizar informações de tal forma que os mesmos possam aplicar economia do uso de água, energia e insumos, dentro do possível, em seu local de trabalho. À medida que os pacientes e a comunidade perceberem os cuidados adotados por toda a equipe para com o meio ambiente, poderão verificar que o local não se trata apenas de uma unidade hospitalar, mas sim, de uma referência na defesa do meio ambiente, contribuindo para a preservação da natureza e garantindo o futuro desta e das próximas gerações.

Nas visitas e na aplicação dos questionários em todos os setores do hospital foi salientada a importância com a questão ambiental, evidenciando-se o comprometimento de cada funcionário.

4.2 Atividade hospitalar versus geração de resíduos sólidos, efluentes e emissões atmosféricas

A atividade hospitalar é por si só uma enorme geradora de resíduos, tendo em vista a diversidade de atividades que se desenvolvem nestes locais. O lixo hospitalar varia sempre de composição, principalmente por ser constituído de sobras e ter procedência variada. Nem todos os resíduos produzidos apresentam a mesma perigosidade, havendo uma classificação segundo o maior ou menor risco que a sua presença implica.

No processo de atendimento hospitalar, insumos como água e energia são constantemente exigidos, sendo que inúmeros e diferentes materiais são utilizados, gerando, inevitavelmente, efluentes líquidos, emissões atmosféricas e uma grande variedade de resíduos sólidos que precisarão ser tratados, pois se constituem em fontes importantes de contaminação para o meio ambiente e para a saúde da população intra e extra-unidade.

Dentro deste contexto, verifica-se que os efluentes hospitalares podem carregar inúmeros vírus e bactérias com elevado grau de resistência. As descargas de tais resíduos em locais não autorizados e o não cumprimento da garantia de dar aos resíduos um destino adequado, colaboram para a propagação de infecções e doenças tais como a cólera e a febre tifóide, sendo tais resíduos descarregados nos recursos hídricos através de esgotos, ou solos sem tratamento.

Observando as atividades hospitalares e as informações obtidas através das visitas e dos questionários, ficou evidenciado que todos os setores do hospital apresentam várias questões preocupantes sob o ponto de vista ambiental.

No que se refere ao gerenciamento dos resíduos sólidos, no hospital em estudo verificou-se que existe uma preocupação com essa questão, em virtude da obrigatoriedade de cumprimento da legislação vigente. Como ainda não há lei que obrigue as unidades de serviços de saúde a gerenciarem efetivamente seus efluentes, nesse hospital não há controle e nem preocupação com relação aos mesmos.

Uma questão que merece destaque refere-se à quantidade de água gasta no hospital. Não há controle e nem preocupação com tal volume, visto que não existem hidrômetros nas entradas de água da unidade. Conforme informações, a água utilizada é proveniente de dois poços artesianos, um localizado no estacionamento do próprio hospital, e o outro localizado aproximadamente a 300 metros da unidade de saúde em estudo.

Considera-se interessante e sugere-se que, para efetuar uma otimização do gerenciamento da água em todo o hospital, faz-se necessário como passo inicial a instalação de hidrômetros nas entradas de água do hospital, para que se tenha, em números, a

quantidade estimada gasta desse recurso no local. Sabe-se que, do total de água que ingressa na unidade, aproximadamente 80% deste volume torna-se efluente.

Neste contexto, também é importante e interessante a execução de projetos que permitam o reuso da água, bem como também coleta de água da chuva, que poderia ser destinada para fins como, por exemplo, descarga dos banheiros, limpeza dos pisos e da área externa do hospital.

4.3 Serviço de higienização

No levantamento realizado no almoxarifado do hospital para confirmar as informações recebidas através das entrevistas, bem como para verificar as quantidades de produtos utilizadas em todos os setores, verificou-se que várias substâncias químicas são utilizadas em grande volume, principalmente produtos de limpeza e desinfetantes.

O serviço de higienização destina-se a promover a limpeza geral de todo o hospital, contemplando as áreas administrativas, alas de internação, áreas de apoio, áreas de circulação interna e externa, elevadores, pátios e estacionamento. Nos distintos ambientes é promovida a higienização de superfícies inertes como pisos, tetos, paredes, rodapés, lustres, portas, entre outros materiais. Estas superfícies estando intactas e secas ou que não sejam tocadas por mãos e objetos diretamente veiculados ao organismo humano, dificilmente apresentam uma condição importante de contaminação, sendo, portanto, desnecessária a sua desinfecção rotineira, segundo Rodrigues (1997).

Também, segundo Rodrigues (1997), pode-se mencionar que o uso de água e detergente, efetuando uma limpeza mecânica mais rigorosa reduz a carga microbiana em torno de 80%. Ao adicionar desinfetante esta redução aumenta de 90-95%. Cabe ao profissional avaliar o grau de desinfecção exigido, eliminando o uso desnecessário de compostos químicos. Exceções ocorrem quando a superfície apresenta-se contaminada com matéria orgânica, devendo nesta situação ser utilizado algum produto desinfetante.

Dentre os produtos pesquisados no almoxarifado, pode-se destacar os de uso com muita frequência e em grandes quantidades como, por exemplo, detergentes enzimáticos, água sanitária, desinfetante, detergente para pisos, hipoclorito diluído, iodoformo aquoso, permanganato de potássio, polivinilpirrolidona tópico, polivinilpirrolidona degermante, impermeabilizantes de pisos, clorexidina, sabonete líquido com triclosan, soda cáustica diluída e ainda o glutaraldeído que é um produto altamente tóxico aos seres vivos. A Figura 8 apresenta um esquema referente a todos os produtos químicos empregados nos setores.

Para todos estes produtos não foi observada preocupação quanto à sua forma de descarte: após a sua vida útil, eles são simplesmente descartados diretamente em uma das três das possíveis rotas, que podem ser as pias e/ou os tanques (localizados nos expurgos dos setores), as águas cinzas (ralos de banheiro), ou ainda as águas negras (vasos sanitários).

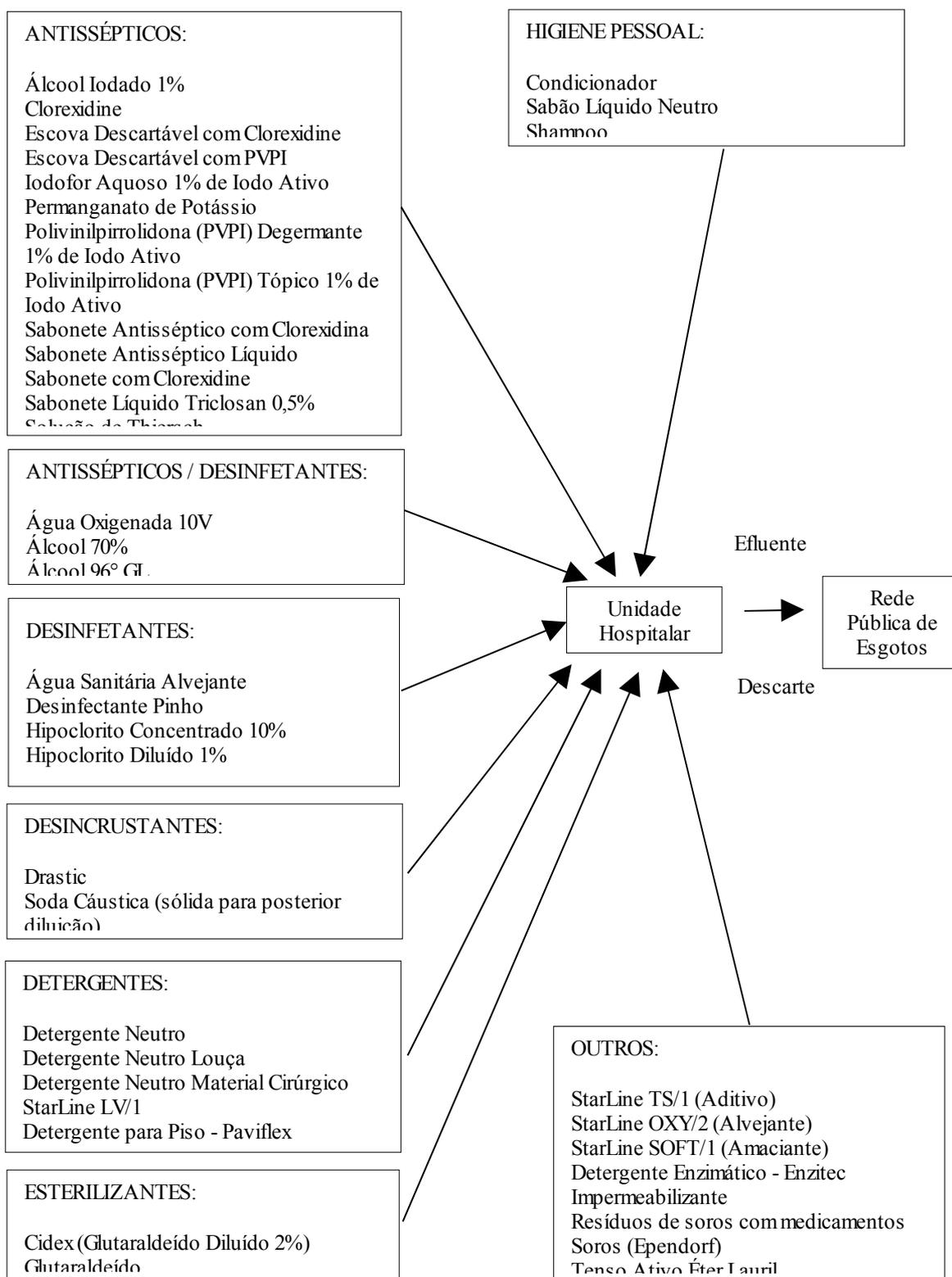


Figura 8. Esquema representativo dos produtos químicos empregados nos diversos setores.

Em vista da quantidade enorme de produtos químicos utilizados nos setores, sugere-se um estudo aprofundado a respeito de cada um deles, buscando-se, sempre que possível, a substituição dos produtos mais tóxicos ao meio ambiente por outros menos ou não tóxicos. Além disso, deve ser estudada a quantidade correta a ser utilizada de cada um deles, evitando-se o alcance de volumes desnecessários até a rede pública de esgotos. Também pode ser salientado o uso de produtos químicos que levou a sociedade a instituir a “cultura do cheirinho”, ou seja, somente estar limpo e/ou desinfetado aquele ambiente ou superfície, onde é detectado facilmente algum odor agradável, o que não é uma verdade.

4.4 Geração de efluentes líquidos

Realizou-se também um levantamento que levou à construção de uma diagramação dos efluentes hospitalares a partir dos dados obtidos através das entrevistas e questionários, conforme mostra a Figura 9. O diagrama foi dividido em área 1 como sendo as alas de internação privada, UTI adulta, cozinha e sanitários, em área 2 as alas de internação do Serviço Único de Saúde, UTI pediátrica, sanitários e Laboratório de Análises Clínicas, e em área 3 a lavanderia hospitalar. Calculou-se que nas áreas 1 e 2 são gerados diariamente em torno de 100 m³ de efluentes e na área 3 aproximadamente 30 m³, levando a uma geração de 130 m³ dia⁻¹ para os 180 leitos deste hospital.

Silveira e Monteggia (2003) publicaram um trabalho realizado em um hospital da capital do RS, onde se apresenta um consumo de 900 m³ dia⁻¹ de água considerando 725 leitos, implicando, desta forma, em um gasto de 1.240 L dia⁻¹ de água por leito. Autores como Emmanuel et al. (2005) publicam que hospitais da França gastam em média 750 L dia⁻¹ e, nos Estados Unidos, 968 L dia⁻¹ de água por leito. Tais autores apresentam também que a média mundial varia de 400 a 1.200 L dia⁻¹ por leito. No caso do hospital em estudo, tem-se um gasto de 720 L dia⁻¹ por leito, o que está dentro dos parâmetros mundiais estipulados mas, mesmo assim, observa-se a possibilidade de tomar alguma medidas de economia de água.

O hospital em estudo foi fundado em 1908, isto mostra que parte de sua construção tem próximo a um século. Recomenda-se uma reforma nas áreas sanitárias mais antigas, sendo importante a troca das bacias de alto consumo por outras, de baixo consumo. A unanimidade em torno do problema do desperdício pelos vasos sanitários fez nascer um acordo entre as indústrias, que disseminaram um modelo mais econômico. O acordo estabeleceu que, a partir de 2003, os vasos sanitários seriam projetados para consumir 6

litros por descarga. Isso pode ser constatado na tampa dos vasos que vêm com a indicação “6LPF”, que quer dizer “6 Litros por Função”. Como os vasos sanitários mais antigos consumiam em torno de 30 litros de água por operação, tal troca levaria a uma economia de 80%.

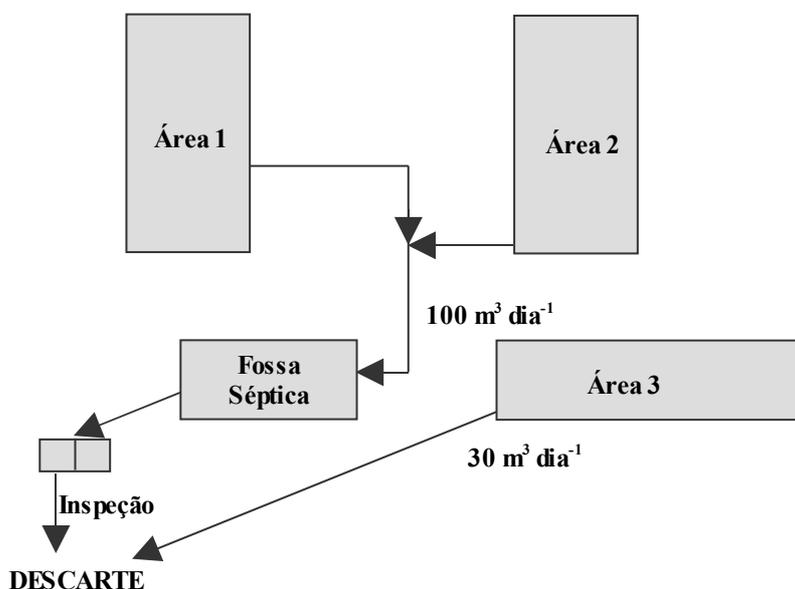


Figura 9. Diagramação da geração dos efluentes nos diferentes setores da unidade hospitalar estudada. Área 1 – alas de internação privada, UTI adulta, cozinha e sanitários. Área 2 – Alas de internação do Serviço Único de Saúde, UTI pediátrica, sanitários e Laboratório de Análises Clínicas. Área 3 – Lavanderia Hospitalar.

Aconselha-se a substituição das torneiras convencionais por automáticas, o que evita o desperdício de água, oferecendo de 25% a 70% de economia, dependendo da pressão existente no local e da correta regulagem.

Uma substituição de redutores de vazão para chuveiros é uma escolha inteligente, pois reduz o consumo de água em razão de um melhor rendimento mecânico e do aproveitamento de parte do calor de evaporação.

Após o estudo e a análise dos dados obtidos a partir do levantamento e dos questionários, chegou-se à conclusão de que não seria possível efetuar um tratamento eficaz para todas as áreas envolvidas nesta pesquisa, mas têm-se a ciência da importância desta questão. E, observando a Figura 9, pode-se considerar que a área 3 que compreende a lavanderia hospitalar emite grande quantidade de efluentes e, em primeiro lugar, a segregação destes efluentes é de extrema importância, pois é provável que estes apresentem toxicidade e refratariedade biológica bem superiores aos efluentes das áreas 1 e 2,

necessitando, assim, de um pré-tratamento. Optou-se, então, pelo desenvolvimento do tratamento do efluente da lavanderia hospitalar.

O desenvolvimento de pesquisas futuras em busca do tipo de tratamento adequado para os efluentes oriundos das áreas 1 e 2 é de extrema importância para o completo e perfeito gerenciamento dos efluentes do hospital como um todo.

4.5 Lavanderia hospitalar

O serviço de processamento de roupas destina-se a executar a separação, a lavagem, a centrifugação, o acabamento (secagem e passagem), o reparo, o armazenamento e a distribuição da roupa, com o objetivo de proporcionar condições seguras e higiênicas às roupas usadas pelos pacientes e funcionários. Este processamento ocorre na unidade específica denominada lavanderia hospitalar, que se divide em duas áreas: suja e limpa.

No levantamento realizado na lavanderia do hospital verificou-se a obediência quanto aos aspectos relevantes nos cuidados da segregação, acondicionamento, coleta, transporte, método de lavagem e desinfecção, e disposição final da roupa. Seguem-se também cuidados especiais no momento da coleta nos setores, pois as roupas de maior e menor sujidade são separadas em carros distintos.

As roupas são classificadas em três tipos, de acordo com o grau de contaminação: pesada, média e leve. A pesada é aquela oriunda das áreas críticas, como bloco cirúrgico, centro obstétrico e internações. A roupa média, com menor grau de contaminação, inclui materiais como lençóis, cobertores e toalhas. A roupa leve constitui-se de guarda-pós, aventais, e demais roupas que foram apenas usadas, mas não apresentam sujeira aparente. O processo de lavagem varia de acordo com o grau de contaminação ou sujidade.

Observou-se também a adoção de importantes medidas de controle de infecção hospitalar, como a instalação de uma barreira de contaminação separando a área suja da área limpa, máquinas de lavar com duas portas de acesso, uma para cada área, instaladas na parede que separa essas áreas e, ainda, sanitários de uso exclusivo para os funcionários lotados em cada área distinta. A comunicação entre as duas áreas ocorre por meio de visores de vidro e telefone, de maneira a evitar o fluxo desnecessário de funcionários e a conseqüente contaminação da área limpa.

No hospital em estudo, o serviço de costura além de realizar reparos nas roupas promove também a confecção de peças do enxoval para o mesmo. Sugere-se que este serviço, ao selecionar os tipos de tecidos a serem adotados nos distintos serviços do

hospital, deva considerar também as características que minimizam o tempo de execução das etapas do processo de lavagem e que reduzem o consumo de produtos de lavagem. Mezzomo (1992) cita que o tipo de tecido influencia no tempo de execução de um ciclo de lavagem, interferindo em especial nas etapas de centrifugação e secagem. A centrifugação em tecidos de algodão está estimada entre 12-15 minutos, enquanto que o tecido misto, poliéster/algodão, requer de 8-10 minutos. A seleção do tipo de tecido influencia também o consumo de produtos químicos. As fibras sintéticas por não terem fissuras ou esponjosidade mantêm a sujeira apenas na superfície, sem penetrar, consumindo-se, portanto, menos produtos químicos.

4.6 Volume de efluente na lavanderia hospitalar

Na Figura 10 apresenta-se a forma de distribuição da lavagem quanto à entrada e saída de líquidos. Pelo levantamento realizado e através de informações fornecidas pelo responsável da lavanderia, são necessários 35 litros de água por quilo de roupa suja, sendo que a média diária a ser lavada neste hospital é de 860 kg de roupas. Sendo assim, há necessidade de um consumo de 30.100 litros de água por dia, obviamente gerando esta mesma quantidade de efluente acrescida dos demais produtos utilizados para a lavagem, bem como da sujeira que vem na própria roupa.

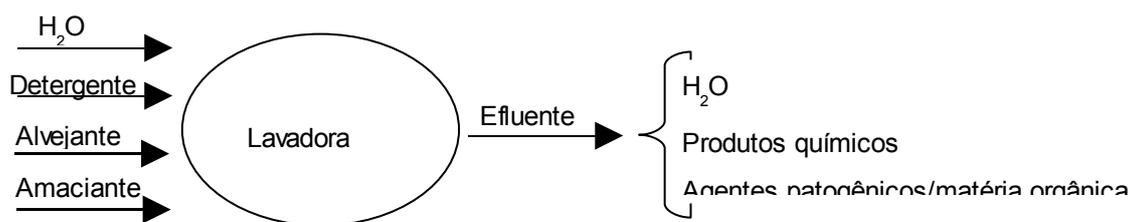


Figura 10. Fluxograma simplificado da entrada e saída de líquidos no processo de lavagem.

Em se tratando do processo de lavagem, são inseridos para a etapa de umectação 1 mL kg⁻¹ de detergente líquido ácido (tensoativo não-iônico nonil fenol etoxilato e acidulante ácido inorgânico), para a etapa de lavagem 6,5 mL kg⁻¹ de detergente alcalino líquido (agente alcalino-hidroxílico de sódio, agente seqüestrante, tensoativo não-iônico nonil fenol etoxilato, branqueador óptico, agente enzimático), para a etapa de alvejamento 3,5 mL kg⁻¹ de oxidante (peróxido de hidrogênio e ácido peracético), e para a etapa de amaciamento 6 mL kg⁻¹ de glicerina. Dessa forma são adicionados 17 mL kg⁻¹ de produtos químicos que

multiplicados pela quantidade de roupas lavadas ao dia, levam a uma adição diária de 14,62 L de produtos químicos. Assim, gera-se diariamente uma média de 30,115 m³ dia⁻¹ de efluentes com produtos químicos e uma alta carga de agentes patogênicos.

Uma sugestão que pode ser avaliada para reduzir a quantidade gerada de efluente é o reaproveitamento das águas servidas e geradas nas etapas finais do processo de lavagem, retornando-se para as etapas iniciais de pré-enxágüe, em especial para roupas com alta sujidade. Sugere-se, também, a promoção imediata da lavagem das roupas com alto grau de sujidade, principalmente com sangue, pois quanto mais tempo demora para o início da lavagem, mais impregnado fica no tecido, consumindo-se mais produtos químicos.

Também, para este setor, sugere-se um estudo aprofundado a respeito de cada um dos produtos químicos utilizados durante as etapas de lavagem das roupas, em busca de produtos menos ou não tóxicos ao meio ambiente, bem como a averiguação a respeito da quantidade mínima necessária a ser inserida em cada etapa, evitando-se o alcance de volumes excessivos de produtos químicos até a rede pública de esgotos, o que aumenta ainda mais os efeitos tóxicos e o risco de contaminação no corpo receptor.

4.7 Caracterização do efluente da lavanderia hospitalar

Para a realização deste trabalho optou-se por utilizar os efluentes da lavagem de roupas classificadas com grau de contaminação pesada, que são aquelas oriundas das áreas críticas como bloco cirúrgico, centro obstétrico e internações.

Quando se pretende implantar um sistema de tratamento de efluentes ou de esgoto urbano, torna-se importante conhecer as suas características, tanto em termos de parâmetros físico-químicos convencionais de monitoramento (pH, DQO, DBO₅, sólidos suspensos, nitrogênio, entre outros), como também e, principalmente, em termos de parâmetros microbiológicos de avaliação das concentrações de organismos patogênicos ou de organismos indicadores.

Na Tabela 2 apresenta-se os valores da caracterização da mescla das quatro etapas do ciclo de lavagem desta lavanderia hospitalar. Os valores obtidos estão bastante próximos aos parâmetros de referência estabelecidos pela Resolução do CONSEMA N^o 128/2006. Os valores de referência desta Resolução no Artigo 20, no parágrafo 1^o., normatiza para a vazão $20 \leq Q < 100$ m³/dia, uma DQO de 360 mg L⁻¹ O₂. Comparando-se os valores obtidos com os descritos na literatura por Hoehne (2004) e Kist et al. (2004) pode-se observar que o estudo analisando individualmente cada etapa do ciclo de lavagem mostram valores mais

elevados para a DQO e, em valores da relação DQO/DBO₅, mostram-se mais próximos a 5, do que a mescla de todas as etapas do ciclo de lavagem.

Ainda, observando os resultados apresentados na Tabela 2 e realizando a relação DQO/DBO₅ têm-se o valor de 1,56. Segundo Jardim e Canela (2004), quando a relação DQO/DBO₅ < 2,5, o efluente é facilmente biodegradável. Sendo assim, o efluente bruto estudado não apresenta problemas quanto à biodegradabilidade, isto mostra que os detergentes utilizados nos processos de lavagem são ambientalmente corretos.

Apresenta-se também, na Tabela 2, a caracterização dos demais parâmetros analisados, onde se percebe os altos níveis de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, superiores ao permitido pela Resolução do CONSEMA N^o 128/2006. Os valores de referência desta Resolução para o Artigo 20, parágrafo 1^o, normatiza para a vazão Q < 100 m³/dia, o valor máximo permitido de 10⁵. Assim sendo, há necessidade de realizar-se um tratamento para que haja a desinfecção deste efluente que, no ideal, deve ser reduzido preferencialmente abaixo do limite de determinação do método microbiológico, redução esta extremamente significativa para a desinfecção deste efluente.

Mesmo que este efluente de lavanderia hospitalar também apresente insumos químicos com significativa carga de tensoativos e sanitizantes, estes não contribuem como contaminantes, pois os surfactantes, conforme dados da Tabelas 2, não se apresentaram como um problema de acordo com a Resolução do CONSEMA N^o 128/2006.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 2 em relação ao nitrogênio total Kjeldahl e fósforo total, que são de fundamental importância ao crescimento de microorganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica através das atividades metabólicas, as concentrações nas amostras brutas ficaram abaixo das concentrações máximas permitidas na Resolução do CONSEMA N^o 128/2006, que são para o nitrogênio 20 mg L⁻¹ e para o fósforo 4 mg L⁻¹. Dessa forma, estes dois parâmetros não se apresentaram como um problema.

Ao observar o valor do pH exposto na Tabela 2, verifica-se que o mesmo extrapola o limite restringido, que deve ficar entre 6,0 e 9,0, de acordo com a Resolução do CONSEMA N^o 128/2006. Para o presente estudo com os processos oxidativos avançados, o ideal, ou seja, o mais favorável à geração de radical hidroxila, é o meio alcalino.

Tabela 2. Dados da caracterização do efluente bruto da lavanderia hospitalar.

Parâmetros de caracterização	Valores
DQO (mg L ⁻¹ O ₂)	477
DBO ₅ (mg L ⁻¹ O ₂)	305
Turbidez (NTU)	87,9
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	15,3
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	2,53
Surfactantes (mg L ⁻¹)	< 0,02
pH	10,87
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	3,0 x 10 ⁶
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	9,0 x 10 ⁶

Em se tratando do parâmetro turbidez, cujo resultado da análise está apresentado na Tabela 2, julga-se importante a realização de um processo de tratamento que vise à redução da cor, pois a cor observada é de tom róseo amarelada, devido à primeira etapa de lavagem onde se tem quantidades significativas de sangue. A redução da turbidez e da cor são importantes para que o efluente não confira mudança de coloração ao corpo receptor no ponto de lançamento. O tratamento certamente deixará o efluente mais límpido, não mostrando problemas quanto à Resolução do CONSEMA N^o 128/2006.

A opção do tratamento dos efluentes da lavanderia hospitalar através de processos oxidativos avançados é justificada especialmente pela necessidade de desinfecção. A desinfecção é definida como um processo que reduz a concentração dos microorganismos até níveis não infecciosos. Os valores de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* indicam a necessidade da adoção de método com amplo espectro de desinfecção, visto que historicamente associa-se aos efluentes de um hospital enorme diversidade de agentes patogênicos, conforme exposto por Kümmerer (2001), Melián et al. (2000), Vidal et al. (1999), Huang et al. (2000) e Ferreira e Daniel (2004).

4.8 Eficiência das tecnologias de tratamento na remoção de agentes patogênicos

O interesse no tratamento dos esgotos urbanos é cada vez maior, devido à crescente deterioração das fontes de abastecimento de águas para uso humano. Quase todos os processos de tratamento de esgotos existentes foram inicialmente concebidos para realizar a remoção de matéria orgânica, com possibilidade de adaptação para remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Estes tratamentos apresentam, via de regra, eficiência elevada, porém insuficientes na inativação de organismos patogênicos e seus indicadores. Na ocorrência típica de microorganismos patogênicos como bactérias em esgotos brutos, pode-se considerar a contribuição per capita (organismo/habitante por dia) para coliformes totais de 10^9 a 10^{12} , para coliformes fecais de 10^8 a 10^{11} e, para *Escherichia coli*, de 10^8 a 10^{11} (CHERNICHARO et al., 2001).

A desinfecção de esgotos sanitários não visa a eliminação total de microorganismos, ou seja, a esterilização, conforme ocorre na medicina e na indústria de alimentos. Do ponto de vista da engenharia sanitária, a desinfecção deve ser a etapa responsável pela redução das densidades de microorganismos de interesse até os limites estabelecidos pela legislação para os diferentes tipos de uso da água. Para cada tipo de uso aplicam-se critérios e padrões de qualidade, em que não apenas as incidências e as concentrações máximas de organismos são consideradas, mas os próprios organismos, grupos e tipos. Os padrões ambientais para o Estado do Rio Grande do Sul são divulgados através da Secretaria do Meio Ambiente, e encontram-se na Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) de número 128 do ano de 2006. Esta resolução considera a necessidade de preservar a qualidade ambiental, de saúde pública e dos recursos naturais, quanto ao lançamento de efluentes líquidos em águas superficiais no Estado.

Segundo Sperling (2005), as operações, processos e sistemas de tratamento freqüentemente utilizados para remoção de poluentes que possuem organismos patogênicos são as lagoas de maturação, desinfecção com produtos químicos, desinfecção com radiação ultravioleta e o uso de membranas.

É importante salientar que o tratamento de efluentes para a região onde se desenvolveu o presente trabalho é muito precário. A maioria das cidades desta região não possui estações de tratamento e o esgoto é tratado apenas com fossa séptica residencial que, ao deixar de ser limpa periodicamente, faz com que os resíduos desemboquem, na maioria das vezes, na rede fluvial. Como exemplo, podemos citar a cidade de Santa Cruz do Sul onde apenas 15% do esgoto urbano é tratado, conforme dados publicados por Appel (2007). Assim sendo, as águas de abastecimento apresentam o risco de serem poluídas por estas

águas residuárias como, por exemplo, as advindas do hospital e, em se tratando do efluente de lavanderia hospitalar, conter microorganismos patogênicos, tornar-se assim um veículo de transmissão de doenças. Por isso, segundo Macedo (2005), há necessidade de avaliação das condições de potabilidade de uma água utilizando-se bactérias do grupo coliforme, que atuam como indicadores de poluição fecal, pois estão sempre presentes no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, sendo eliminadas em grande número pelas fezes. A determinação de coliformes totais está atrelada à existência de coliformes termotolerantes além de *Escherichia coli*. As tendências atuais se direcionam para a detecção específica de *E. coli*, que é o único componente do grupo coliforme de origem exclusivamente fecal, segundo Macedo (2005). Gonçalves (2003) afirma que o indicador mais preciso de contaminação de águas é, em qualquer situação, a *E. coli* e salienta que os coliformes termotolerantes ainda guardam validade como indicadores de contaminação de corpos receptores, sendo indicadores adequados da qualidade bacteriológica de esgotos tratados.

4.9 Ensaios de fotoozonização catalítica

Para promover a desinfecção, diversos agentes desinfectantes são utilizados cotidianamente de acordo com o tipo de material a ser desinfetado, e com o nível de desinfecção necessária.

A primeira etapa das investigações envolvendo fotooxidação foi destinada ao conhecimento do reator tipo rampa, apresentado nas Figuras 3 a 7. Este reator tipo rampa foi inspirado nos trabalhos desenvolvidos por Nogueira e Jardim (1996) e construído por Machado et al. (2006) com as seguintes modificações: uso de acrílico na rampa de formação do filme líquido; alteração na forma de fixação do TiO_2 ; colocação de duas calhas de dispersão e de coleta dos efluentes; adaptação de três ventiladores em série sobre as calhas e cobertura do reator com madeira, revestida internamente de superfície refletora da radiação (papel aluminado). O tanque de recirculação também é fechado, garantindo saturação da atmosfera ozonizada e, por consequência, maior transferência de ozônio para o meio líquido. A fixação do TiO_2 na rampa de acrílico foi feita a partir da preparação de suspensão do TiO_2 em CHCl_3 (10% m/v) e espalhamento sobre a placa. Mediante evaporação de 1 hora na capela de exaustão obteve-se a secagem e fixação de TiO_2 . A cobertura de TiO_2 , apesar do cisalhamento em vários pontos, dispersou-se cobrindo integralmente a área da placa. A quantidade de TiO_2 na rampa é de $2,96 \text{ mg cm}^{-2}$, permitindo o escoamento de filme líquido

do efluente uniformemente. O TiO_2 utilizado foi o P25 da Degussa. Antes dos ensaios de tratamento com a amostra real, circulou-se água sob UV/ TiO_2/O_3 por mais de 20 horas, visando a remoção de eventuais contaminantes do processo de fixação na rampa de acrílico.

O tratamento dos efluentes foi investigado observando-se as limitações da utilização da rampa sem a cobertura de TiO_2 , neste caso testes de O_3 e UV e, ainda, somente a rampa com cobertura de TiO_2 . Logo após realizou-se testes com as combinações UV/ O_3 , UV/ TiO_2 , O_3/TiO_2 e ainda UV/ TiO_2/O_3 . Em todos os casos a potência de irradiação empregada com o uso da lâmpada germicida foi de 30 W, com emissão em 254 nm, mantendo-se temperatura de 25°C e pH alcalino da própria amostra bruta.

4.10 Otimização dos métodos

Os estudos de otimização dos métodos visaram identificar as diferenças de desempenho entre os processos UV, TiO_2 , O_3 , O_3/TiO_2 , UV/ TiO_2 , UV/ O_3 e UV/ TiO_2/O_3 .

Ao testar os processos individuais UV, O_3 e TiO_2 , observou-se que os resultados apresentaram pouca eficiência quanto à desinfecção. Segundo Daniel (2001), a importância da desinfecção está associada à radiação ultravioleta; sua ação germicida está ligada às alterações estruturais que esta provoca no DNA das células. Sua energia é absorvida pelos diferentes componentes orgânico-moleculares essenciais ao funcionamento normal das células, provavelmente interrompendo o processo de duplicação das mesmas. Assim, pode-se dizer que ocorre a inativação e não a morte do microrganismo.

A fração mais energética do espectro ultravioleta (UV) é comumente usada como agente bactericida em tratamentos de água e ar, permitindo uma taxa de desinfecção eficiente pelo emprego de lâmpadas germicidas (254 nm), sem contudo eliminar a massa microbiana. Uma alternativa bastante promissora é a utilização da radiação UV como coadjuvante na fotocatalise heterogênea, promovendo, assim, um aumento da eficiência de desinfecção, já que esta irá ocorrer por dois mecanismos sinérgicos, ou seja, pelo UV e pelos sítios altamente oxidantes formados na superfície do catalizador.

No caso do O_3 , apesar de ser um desinfetante alternativo, observa-se uma relação custo/benefício nem sempre aplicável, segundo Daniel (2001). Em outra literatura, conforme Gumi et al. (2005) e Huang et al. (2000), a utilização de UV ou O_3 apresenta comprovada eficiência.

Em se tratando da utilização do catalisador TiO_2 , quando as suas partículas em contato ou muito próximas do microrganismo são irradiadas, os radicais hidroxilas gerados

atacam a superfície microbiana, danificando componentes importantes das células, como o DNA. A eficiência do processo fotocatalítico está intimamente relacionada ao preparo da superfície catalisadora, modo de disposição e o mecanismo de contato entre o microrganismo e o catalisador.

O princípio da fotocatalise heterogênea, utilizada neste trabalho, envolve a ativação do semicondutor TiO_2 por irradiação UV, sendo que a luz artificial também forma ozônio e, conseqüentemente, leva à formação de radicais hidroxila ($\text{HO}\cdot$), um agente altamente oxidante devido à sua alta reatividade, com potencial redox de 2,8 V. Estes radicais hidroxila formados irão reagir com as moléculas biológicas resultando numa atividade bactericida ou promovendo a total mineralização de compostos presentes, levando à formação de compostos inócuos.

A utilização de métodos isolados como UV, TiO_2 ou somente O_3 não apresentou vantagens na desinfecção. Em virtude disto, apostou-se, então, na necessidade de combinações entre tais métodos.

Na Tabela 3 são apresentadas as diferentes combinações possíveis entre os métodos. Observa-se que todas essas combinações apontam bons resultados quanto à desinfecção.

Através dos dados apresentados nas Tabelas 2 e 3, calculou-se os valores percentuais de redução, que são apresentados na Tabela 4. Verifica-se que, para os valores de remoção de DQO, caracterizam-se pequenas reduções não significativas. Acredita-se que, talvez, o incremento nas reduções de DQO exigisse tempos reacionais maiores, concentrações de ozônio superiores e potência irradiada maior. No entanto, a proposição deste estudo é a desinfecção, o que necessariamente não está associado à mineralização da matéria orgânica, mesmo quando frações de degradação de compostos individuais tenham percentuais de degradação elevados.

Observando o conjunto de todos os parâmetros analisados apresentados na Tabela 4, pode-se concluir que o melhor processo, com comprovada eficiência, é o UV/ TiO_2 / O_3 . Observa-se, também, que o segundo melhor método é o TiO_2 /UV. Conforme Montagner et al. (2005), a oxidação exercida pelo processo TiO_2 /UV ocasiona danos na parede celular e na membrana citoplasmática. Sendo assim, a ação fotocatalítica aumenta progressivamente a permeabilidade celular, permitindo o fluxo livre do conteúdo intracelular, que conduz finalmente à morte celular.

Tabela 3. Eficiência do tratamento utilizando todos os processos.

Parâmetros de caracterização	Amostra Bruta	O ₃ /UV	TiO ₂ /UV	O ₃ /TiO ₂	UV/TiO ₂ /O ₃
DQO (mg L ⁻¹ O ₂)	477	355	380	344	333
DBO ₅ (mg L ⁻¹ O ₂)	305	178	96	184	76
Turbidez (NTU)	87,9	61,1	49,9	59,6	45
Surfactantes (mg L ⁻¹)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
pH	10,87	10,56	10,35	10,42	10,16
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	3,0x10 ⁶	70	20	330	< 20
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	9,0x10 ⁶	110	20	1700	< 20

Tabela 4. Percentual de redução dos parâmetros de caracterização entre a amostra bruta e a amostra tratada nos diferentes processos.

Parâmetros de caracterização	O ₃ /UV	TiO ₂ /UV	O ₃ /TiO ₂	UV/TiO ₂ /O ₃
DQO (mg L ⁻¹ O ₂)	29,76%	20,33%	27,88%	30,19%
DBO ₅ (mg L ⁻¹ O ₂)	41,63%	68,52%	39,67%	75,08%
Turbidez (NTU)	30,49%	43,23%	32,19%	48,80%
pH	2,85%	4,78%	4,14%	6,53%
<i>Escherichia coli</i> (NMP/ 100mL)	99,99%	99,99%	99,98%	100%
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	99,99%	99,99%	99,98%	100%

O ozônio, segundo Hunt e Mariñas (1999), mostra-se muito eficaz para este tipo de tratamento, apresentando uma inativação de 99% de microorganismos, tais como a *E. coli*. Tal afirmação confirma-se também nos experimentos realizados no presente trabalho, desde que o ozônio esteja sendo utilizado juntamente com o UV ou com o TiO_2 . Conforme observado na Tabela 4, as metodologias com uso de ozônio mostraram menor eficiência no conjunto dos parâmetros físico-químicos. Acredita-se que a quantidade de ozônio não tenha sido suficiente ou que haja uma competição com a eficiência do catalisador e da radiação. Certamente seria necessário aumentar a dose de ozônio no reator fotocatalítico.

4.11 Desempenho cinético através do método UV/ TiO_2/O_3

A partir dos resultados expostos na Tabela 4, decidiu-se por continuar o trabalho com a combinação dos três métodos – o tratamento com UV/ TiO_2/O_3 . E, a partir disto, optou-se por trabalhar com o pH, a turbidez e a desinfecção através de *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes.

É importante salientar que esta escolha ocorreu em consideração aos aspectos relevantes que interferem no processo de desinfecção como:

- presença de sólidos no efluente, uma vez que estes podem proteger os microorganismos da ação do desinfetante;
- pH do efluente, já que a inativação de microorganismos aumenta com o decréscimo do pH;
- temperatura, uma vez que o aumento desta também aumenta a taxa de inativação dos microorganismos.

O uso da matemática como ferramenta associada a fenômenos naturais pode contribuir através de modelos para o entendimento de muitos processos. Todavia, respeitando os limites e os erros admissíveis, é possível equacionar os fenômenos para a otimização dos processos, onde a desinfecção da água e esgoto pode ser estudada, mesmo que tenha envolvimento de reações químicas, fotoquímicas e organismos vivos. Sabe-se que a combinação destes fatores resulta em grandes desvios porque a eficiência varia muito, dependendo da demanda do processo e dos microorganismos envolvidos. Todavia, a disponibilidade de informações sobre a velocidade de decaimento e a dependência da concentração e do tempo de exposição é de grande importância para a unidade de desinfecção.

Segundo Daniel (2001), utilizando culturas de *Bacillus anthrax*, em 1908, Chick observou que a redução do número de unidades viáveis seguia a reação de primeira ordem bimolecular, conforme a Equação 1:

$$dN/dt = -kN \quad (1)$$

k: constante de decaimento (T^{-1})

N: concentração de microorganismos (NMP/100mL)

A integração da Equação 1 nas condições $t = 0$, $N = N_0$ e t , resulta na Equação 2:

$$N/N_0 = e^{-kt} \quad (2)$$

As constantes e os coeficientes de todos os modelos de decaimento são obtidos por regressão múltipla a partir de resultados experimentais, obtidos em laboratório, em condições controladas e conhecidas. Neste contexto, estudou-se a variação pertinente ao tempo de tratamento relacionada aos parâmetros turbidez (Figura 11), pH (Figura 13), coliformes termotolerantes (Figura 14) e *Escherichia coli* (Figura 16).

Pode-se considerar a Lei de Chick como apropriada quando segue a cinética de primeira ordem e que pode ser linearizada conforme apresentado nas Figuras 15 e 17, onde tem-se uma reta que passa pela origem e tem declividade de $-k$. Assim, a constante k pode ser obtida por regressão linear utilizando-se o método dos mínimos quadrados.

A remoção da turbidez indicada na Figura 11 associa a capacidade de degradação de colóides e outros tipos de materiais orgânicos em suspensão, pois é mais provável que a matriz do efluente da lavanderia hospitalar não possua histórico relacionado à substâncias inorgânicas. Conforme vários experimentos realizados, verificou-se que, com a utilização de UV/TiO₂/O₃, a redução da turbidez ficou entre 42% e 50%. A redução percentual da turbidez tem correlação com a capacidade de inativação de patogênicos que possam estar presentes no material coloidal e em suspensão.

Na Figura 12 pode-se observar a diferença de coloração do efluente estudado antes e após o tratamento. A diminuição de cor ocorrida, dentro dos limites de observação visual foi, possivelmente, influenciada pela oxidação da matéria orgânica.

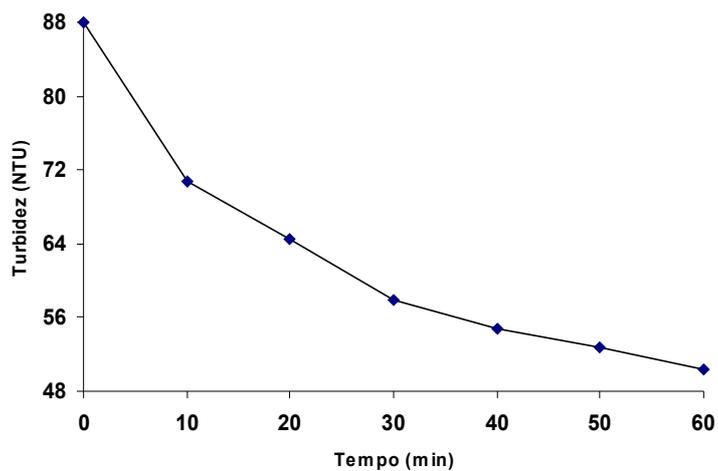


Figura 11. Desempenho do processo UV/TiO₂/O₃ para a turbidez.



Figura 12. Foto mostrando o decolorimento do efluente pela aplicação do método UV/TiO₂/O₃.

Testes com tempos superiores a 60 minutos indicaram estabilização no percentual de remoção da turbidez. Cabe ressaltar, também, que o maior percentual de remoção por unidade de tempo concentra-se no intervalo dos 30 minutos iniciais de reação.

A faixa de pH foi mantida alcalina, pois é mais favorável à geração de radical hidroxila, tanto por fotoirradiação como através da decomposição radicalar do ozônio dissolvido, conforme Litter (1999).

Observando a Figura 13, verifica-se que em 60 minutos, o pH sofre redução de aproximadamente 10%. Em experimentos com amostras distintas e nas mesmas condições, a redução no pH apresentou variações de 6 a 10%. Tais variações são consideradas pouco significativas.

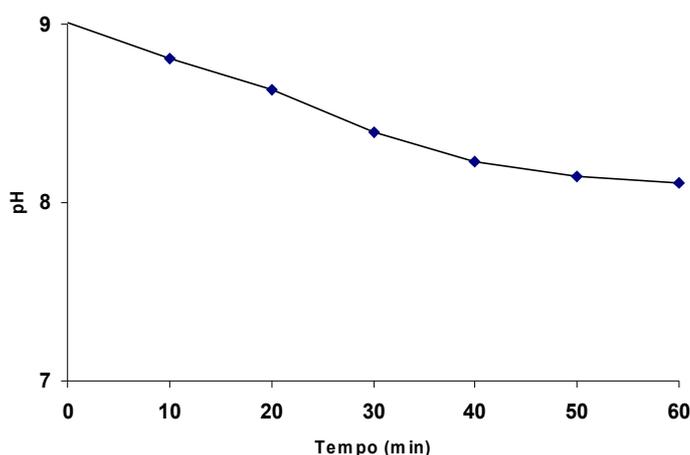


Figura 13. Processo UV/TiO₂/O₃ para o pH.

A concentração inicial (amostra bruta) de coliformes termotolerantes foi da ordem de 9×10^6 NMP/100 mL em todas as análises experimentais. Para o experimento apresentado na Figura 14, observa-se que, após o tratamento de 60 minutos com UV/TiO₂/O₃, têm-se valores em torno de 500 NMP/100 mL. Estes valores, assim como os dos demais experimentos, comprovam a efetiva desinfecção. Sendo assim, após o tratamento, este efluente estaria de acordo com a Resolução do CONSEMA N^o 128/2006. O tempo de tratamento de até 10 minutos já deixaria o efluente adequado para ser descartado no meio receptor.

Na amostra bruta a média da concentração de *Escherichia coli* foi à ordem de 3×10^6 NMP/100 mL em todos os experimentos, considerando-se que, após o tratamento de 60 minutos com UV/TiO₂/O₃, obteve-se valores em torno de 230 NMP/100 mL - conforme apresentado na Figura 16. Estes valores comprovam a efetivação da desinfecção deste tipo de efluente por este método. Pela Resolução do CONSEMA N^o 128/2006, o tempo de tratamento de até 10 minutos já deixaria o efluente adequado para ser depositado no meio receptor.

Os gráficos apresentados nas Figuras 14 e 16 demonstram que o método UV/TiO₂/O₃ é eficiente para a desinfecção dos efluentes da lavanderia hospitalar, especialmente se o efluente apresentar toxicidade mediana.

Nas Figuras 15 e 17 não foram utilizados todos os valores apresentados nas Figuras 14 e 16 porque, na prática, observaram-se discrepâncias em relação ao decaimento exponencial. Reconhece-se a influência de diversos fatores, como as diferenças entre as resistências de diversos organismos presentes na mesma cultura com idades diferentes, a ocorrência de aglomerados de microorganismos e a possível oclusão pelos sólidos em suspensão. Considera-se que, com 20 minutos de tratamento, venha a ocorrer a completa inativação dos microorganismos.

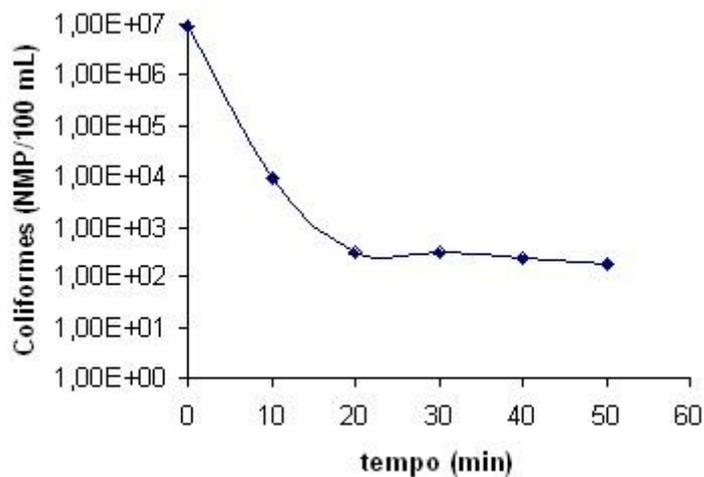


Figura 14. Eficiência do processo UV/TiO₂/O₃ na desinfecção de coliformes termotolerantes.

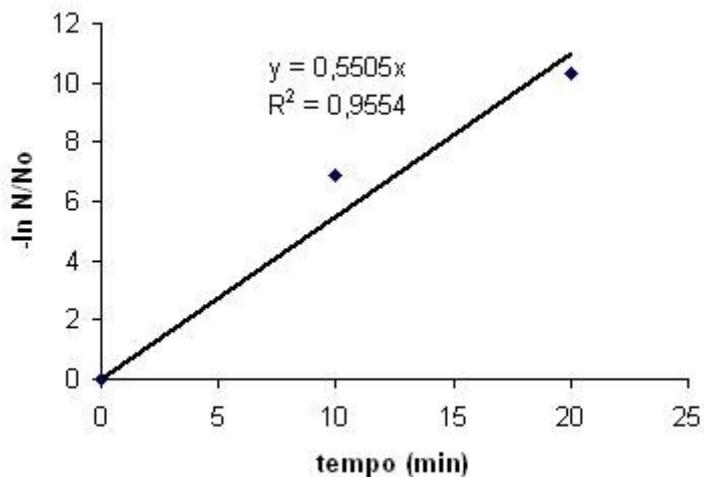


Figura 15. Aplicação da Lei de Chick na inativação de coliformes termotolerantes com tratamento UV/TiO₂/O₃.

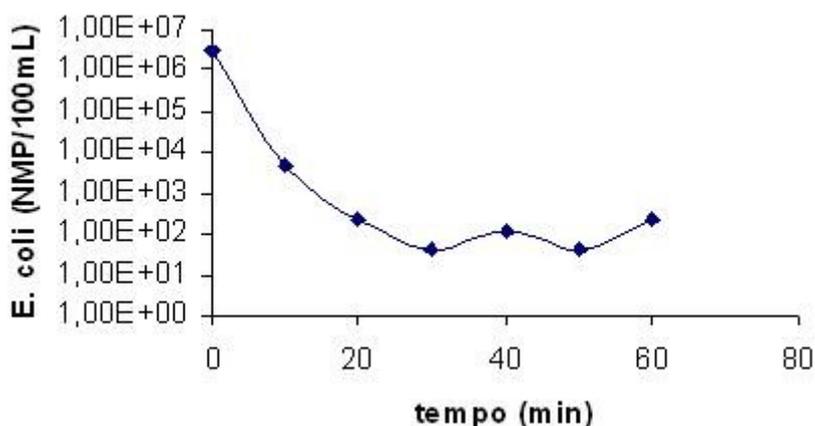


Figura 16. Eficiência do processo UV/TiO₂/O₃ na desinfecção de *Escherichia coli*.

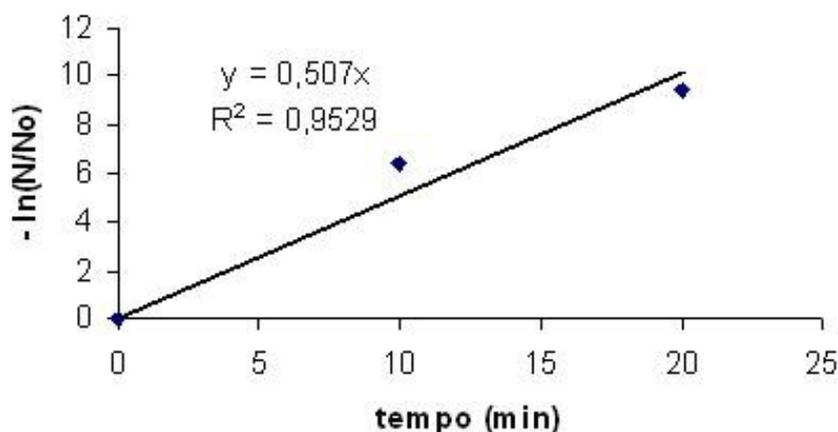


Figura 17. Aplicação da Lei de Chick na inativação de *Escherichia coli* com tratamento UV/TiO₂/O₃.

Na Tabela 5 são apresentados os valores de inativação microbiológica, onde pode-se observar os valores de k . Existe uma dificuldade de comparação com a literatura pois os experimentos realizados no presente trabalho envolvem três fatores de desinfecção, que são o O₃, UV e TiO₂, mas considera-se que o valor maior de k apresente o melhor desempenho para a inativação dos microorganismos.

Conforme Rincón et al. (2001), para a inativação de *E. coli* usando-se fotocatalise com TiO₂, têm-se valores para k entre 1,041 e 0,294 min⁻¹. E, em publicação de Rincón e Pugarin (2004), mostra-se uma velocidade de inativação para a *E. coli* com a presença de TiO₂ de 0,1961 min⁻¹ ($R^2 = 0,9242$) e, para outros coliformes com a presença de TiO₂, uma velocidade de 0,1071 min⁻¹ ($R^2 = 0,9407$). Apresenta-se, assim, uma maior eficiência do TiO₂ para *E. coli*.

Tabela 5. Parâmetros de Chick para inativação microbiológica com tratamento UV/TiO₂/O₃.

Microorganismos patogênicos	K	R ²
<i>Escherichia coli</i>	0,5070 min ⁻¹	0,9529
Coliformes Termotolerantes	0,5505 min ⁻¹	0,9554

Conforme Gonçalves (2003), encontram-se valores com inativação usando-se cloro livre para a *E. coli* relacionados ao pH, mostrando que em pH mais básico, a inativação é menor. A pH = 8,5 a inativação é de 30,6 min⁻¹. A pH = 9,8 a inativação é de 5,91 e, a pH = 10,7, é 1,3 min⁻¹. As variações de pH apresentadas na Figura 13 são pouco significativas, o que admite-se não influenciar em valores apresentados na Tabela 5 para a constante de inativação.

Segundo Hunt e Mariñas (1999), a presença de ozônio mostra-se muito eficaz para tratamento com uma inativação total destes microorganismos. Certamente, a presença do O₃, um forte oxidante, pode melhorar a geração de radicais em superfícies de semicondutores.

Comparando-se os valores de k apresentados na literatura com os apresentados na Tabela 5, pode-se verificar que, aparentemente, os valores do presente trabalho são bons. Esta afirmação é justificada pelo fato destes últimos apresentarem valores maiores de k por minuto de tratamento, o que se considera como um melhor desempenho, embora essa comparação não possa ser direta, pois nenhuma literatura apresentou as mesmas características deste trabalho.

Deve-se lembrar que, no caso do processo químico de desinfecção estudado, está sendo empregado um agente oxidante, e que estas reações são relativamente rápidas e preferenciais.

Portanto, considerando o que é exposto na literatura por Gonçalves (2003), pode-se aferir a qualidade bacteriológica do efluente tratado. A ausência dos coliformes totais já seria um indicador adequado e suficiente da eficiência do tratamento, uma vez que apresentam taxa de decaimento (inativação) similar ou inferior à dos coliformes termotolerantes e da *E. coli*.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

A política de gerenciamento de efluentes inicia com o estudo alternativo que cada processo de tratamento apresenta, sempre indicando uma série de vantagens e desvantagens e, assim, na sua seleção, devem ser levados em conta parâmetros como eficiência, segurança, simplicidade, formação de lodo, custos de construção e operação, espaço requeridos e impactos no meio receptor.

Assim, também, a criação de critérios que conduzam à minimização dos resíduos infectantes e soluções integradas ou consorciadas que contribuam como princípio norteador da gestão deste tipo de efluente oriundo de unidade de saúde é de extrema importância.

Nos últimos anos, os POAs têm se destacado devido à sua alta eficiência na degradação de inúmeros compostos orgânicos e custo operacional baixo. Explicita-se a extrema importância deste tipo de tratamento, pois na aplicação do mesmo não ocorre somente a transferência de fase do poluente, mas sim, até mesmo a mineralização da matéria orgânica, sem comprometer o corpo receptor com resíduos do processo. Os POAs têm sido apontados como alternativa no tratamento de águas superficiais e subterrâneas, bem como de águas residuárias e de solos contaminados.

Tendo em vista a expressiva contribuição do efluente hospitalar na rede doméstica de esgotamento sanitário, pequenas unidades de tratamento, com vistas à descentralização deste serviço, são de grande importância para o gerenciamento local e global da qualidade das águas.

Observou-se grande variabilidade diária nas características do efluente da lavanderia hospitalar, evidenciando-se, desta forma, dificuldades no padrão de amostragem. Tal fato pode prejudicar um trabalho a ser realizado com parte analítica das amostras coletadas, porém cabe ressaltar que sempre houveram cuidados com relação a este fato.

A inativação de *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes por FH com o uso do

método UV/TiO₂/O₃ seguiu o modelo de Chick com constantes cinéticas de 0,5070 min⁻¹ e 0,5505 min⁻¹, respectivamente. Com base nos resultados obtidos, o processo fotocatalítico se apresenta como uma alternativa para tratamento deste tipo de efluente, destacando-se a sua eficiência e vantagem devido ao amplo espectro de desinfecção que a geração do HO[•] proporciona, não trazendo comprometimento do corpo receptor com subprodutos indesejáveis.

Por fim, cabe destacar que a utilização de Processos Oxidativos Avançados na desinfecção de efluentes contribui na busca de soluções concretas possibilitando uma minimização do impacto ambiental causado por este tipo de efluente.

REFERÊNCIAS

- ADDAMO, M. et al. Oxidation of oxalate ion in aqueous suspensions of TiO₂ by photocatalysis and ozonation, *Catalysis Today* 107-108, p. 612-618, 2005.
- AFONSO, J. C. et al. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. *Quim. Nova* 26, p. 602-611, 2003.
- ALAM, M. Z. B. et al. Direct and indirect inactivation of microcystis aeruginosa by UV-radiation. *Wat. Res.* 35, 4, p. 1008-1014, 2001.
- APHA/AWWA - American Public Health Association/American Water Works Association. American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*, 20^a edithion, Washington, 1998.
- APPEL JUNIOR, Jansle. Limpeza das fossas evita a poluição do rio. *Jornal Gazeta do Sul*, Santa Cruz do Sul. Caderno Ambiente, p. 5. Disponível em: <http://www.gazetadosul.com.br/> Acesso em: 13 de março de 2007.
- BAIRD, Colin. *Química Ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Brookmann, 622 p., 2002.
- BARRIE, D. How hospital linen and laundry services are provided. *J. Hosp Infection*. Boston. Litte, Brown & Company, 325 p., 1994.
- BAUMGARTEN, Maíra. Conhecimento, planificação e sustentabilidade. São Paulo: *Perspectiva* 16, 3, 2002.
- BRASIL, Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Ministério do Meio Ambiente, Disponível na internet: <http://www.mma.gov.br/port/gab/asin/lei.html>. Acessado em 11 de abril de 2007.
- BRASIL, Resolução CONAMA n. 283, de 12 de julho de 2001. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 01 out. 2001, Ministério do Meio Ambiente, Disponível na internet: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res28301.html>. Acessado em 10 de abril de 2007.
- BRASIL, Resolução do CONSEMA N^o 128/2006, Secretaria da Saúde e Meio Ambiente/RS, Disponível na internet: <http://www.aquaflot.com.br/legislacao.html>. Acessado em 10 de abril de 2007.

- CAMPANER, M. T. F.; SOUZA, P. R. R. *Boas Práticas em Resíduos de Serviços de Saúde* (RSS). Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro, 2002.
- CASTELLI, M. et al. Potencialidade do emprego de ferrato(VI) no tratamento de efluentes líquidos hospitalares. In: 22º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville/SC, 2003.
- CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemos (coordenador). *Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. 1. ed. Belo Horizonte: PROSAB, 544 p., 2001.
- CHO, M.; KIM, J-H.; YOON, J. Investigating synergism during sequential inactivation of *Bacillus subtilis* spores with several disinfectants. *Water Research* 40, p. 2911-2920, 2006.
- DANIEL, Luiz Antonio (coordenador). *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. Rio de Janeiro: ABES-RiMa, 155 p., 2001.
- DAVIS, A. P.; HUANG, C. P. Removal of phenols from water by a photocatalytic oxidation process. *Wat. Sci. Technol.* 21, p. 455-464, 1989.
- DOMENECH, X.; JARDIM, W. F.; LITTER, M. I. Procesos Avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. In: *CYTED. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogênea*, 2001.
- DONAIRE, P. P. R.; JARDIM, W. F. Desinfecção de águas utilizando radiação ultravioleta e fotocatalise heterogênea. 130 p. (*Tese de Mestrado em Saneamento e Ambiente*): Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas: UNICAMP, 2001.
- EMMANUEL, E. et al. Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw affluents discharging into urban sewer network, *Journal of Hazardous Materials A* 117, p. 1-11, 2005.
- FERREIRA, I. V. L.; DANIEL, L. A. Fotocatálise Heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário, *Engenharia Sanitária e Ambiental* 9, 4, p. 335-342, out/dez, 2004.
- FREIRE, R. S. et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. *Quím. Nova* 23, 4, p. 504-511, 2000.
- GÁLVEZ, J. B. et al. Purificación de aguas por fotocatalisis heterogênea: estado del arte. In: *CYTED. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogênea*, 2001.
- GONÇALVES, Ricardo Franci (coordenador). *Desinfecção Efluentes Sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 438 p., 2003.

- GULYAS, H. Secondary organic environmental pollutants which are generated during purification processes. *Workshop "Pollution prevention technologies for developing countries"*, 1992.
- GUMI, D. et al. Catalytic activity of commercial of TiO₂ powders for the abatement of the bacteria (*E. coli*) under solar simulated light: Influence of the isoelectric point, *Applied Catalysis B: Environmental* 63, p. 76-84, 2005.
- GUPTA, B. P.; ANDERSON, J. V. Solar detoxification of hazardous waste – an overview of the U.S. Department of Energy program. *Sol. Energy Mater.* 24, p. 40-61, 1991.
- HAYASHI, João. Incinerando sólidos com qualidade – ver para crer. *Revista Brasileira de Engenharia Química*, dezembro, 1993.
- HOEHNE, Lucélia. Tratamento de efluente de lavanderia hospitalar através de processos oxidativos avançados - POA's. 2004. 103 f. Trabalho de conclusão de curso (Química Industrial) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2004.
- HUANG, C. P.; DONG, C.; TANG, Z. Advanced chemical oxidation: its present role and potential future in hazardous waste treatment. *Waste Manage.* 13, p. 361-377, 1993.
- HUANG, Z. et al. A. Bactericidal mode of titanium dioxide photocatalysis, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 130, p. 163-170, 2000.
- HUNT, N. K.; MARIÑAS, B. J. Inactivation of *Escherichia coli* with ozone: chemical and inactivation kinetics. *Water Research* 33 , p. 2633-2641, 1999.
- HWANG, Y. et al. Removal of odorous compounds in wastewater by using activated carbon, ozonation and aerated biofilter. *Wat. Res.* 28, 11, p. 2309-2319, 1994.
- JARDIM, Wilson de Figueiredo. As indústrias químicas e a preservação ambiental. *Revista de Química Industrial* 692, p.16-18, abr./jun., 1993.
- JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. Fundamentos da Oxidação Química no Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos. Caderno Temático Volume 01; Campinas, 2004.
- JARDIM, W. F.; TEIXEIRA, C. P. A. B. Processo Oxidativos Avançados. Caderno Temático Volume 03; Campinas, p. 1-9, 2004.
- JARDIM, Wilson de Figueiredo. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Quím. Nova* 21, 5, p. 671-673, 1998.
- KINKENNON, A. E.; GREEN, D. B.; HUTCHINSON, B. The use of simulated or concentrated natural solar radiation for the TiO₂ – mediated photodecomposition of diquat and diuron. *Chemosphere* 31, 7, p. 3663-3671, 1995.
- KIST, L.T. et al. Caracterização e gestão do efluente de lavanderia hospitalar. Anais do 23º. Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS, 2004.

- KONDO, M. M.; JARDIM, W. F. Photodegradation of chloroform and urea using Ag-loaded titanium dioxide as catalyst. *Water Res.* 25, 7, p.823-827, 1991.
- KÜMMERER, K.; AL-AHMAD, A.; SUNDERMANN, V. M. Biodegradability of some antibiotics, elimination of the genotoxicity and affection of wastewater bacteria in a simple test, *Chemosphere* 40, p. 701-710, 2000.
- KÜMMERER, Klaus. Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources – a review. *Chemosphere* 45, p. 957-969, 2001.
- KÜMMERER, K.; HELMERS, E.; HUBNER, E. European hospitals as a source for platinum in the environment in comparison with other sources. *The Science of the Total Environment* 225, 1-2, p. 155-165, 1999.
- KUNZ, A. et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Quím. Nova* 25, 1, p. 78-82, 2002.
- LAZAROVA, V.; SAVOYE, P.; JANEX, M. Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. *Water Science and Technology* 40, 4-5, p. 201-213, 1999.
- LEGRINI, O.; OLIVEROS, E.; BRAUN, A. M. Photochemical processes for water treatment. *Chem. Rev.* 93, 2, p. 671-698, 1993.
- LITTER, Marta. Heterogeneous photocatalysis-Transition metal ions in photocatalysis systems. *Applied Catalysis B: Environmental* 23, p. 89-114, 1999.
- MACEDO, José Antônio Barros de. *Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas*. 3ª. Ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 601p., 2005.
- MACHADO, E. L. et al. Secondary hospital wastewater detoxification and disinfection by advanced oxidation processes, *Environmental Technology*, no prelo, 2006.
- MANSILLA, H. D. et al. Homogeneous and heterogeneous advanced oxidation of a bleaching effluent from the pulp and paper industry. *Wat. Sci. Tech.* 35, 4, p. 273-278, 1997.
- MARCH, M.; MARTIN, A.; SALTIEL, C. Performance modeling of nonconcentrating solar detoxification systems. *Sol. Energy* 54, 3, p. 143-151, 1995.
- MELIÁN, J. A. H. et al. The photocatalytic disinfection of urban waste waters, *Chemosphere* 41, p. 323-327, 2000.
- MEZZOMO, Augusto Antonio. *Lavanderia hospitalar: organização e técnica*. 5.ed. São Paulo: CEDAS, 344 p., 1992.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE, *Manual de lavanderia hospitalar*, DNOSS, SNABS, 65 p. 1986.

- MOHEE, R. Medical wastes characterisation in healthcare institutions, *Waste Management* 25, p. 575-581, 2005.
- MONTAGNER, C. C.; PASCHOALINO, M. P.; JARDIM, W. F. Aplicação da Fotocatálise Heterogênea na Desinfecção de Água e Ar. Caderno Temático Volume 04; Campinas, 2005.
- MONTESANO, R.; HALL, J. Environmental causes of human cancers. *Europ. J. Cancer* 37, p.567-587, 2001.
- MOYERS, B.; WU, J. S. Removal of organic precursors by permanganate oxidation and alum coagulation. *Water Res.* 19, 3, p. 309-314, 1985.
- MUÑOZ, I. et al. Life cycle assessment of a coupled solar photocatalytic–biological process for wastewater treatment. *Water Research* 40, p. 3533-3540, 2006.
- MUSZKAT, L.; BIR, L.; FEIGELSON, L. Solar photocatalytic mineralization of pesticides in polluted waters. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 87, p.85-88, 1995.
- NAVARRO, A.; SANTIAGO, R.; PÈREZ, F. Determination of LC₅₀ from Daphnia Magna in treated industrial wastewaters and non-treated hospital effluents. *Environmental International* 23, 4, p. 535-540, 1997.
- NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. Fotodestruição de compostos potencialmente tóxicos utilizando TiO₂ e luz solar. 87 p. (*Tese de Doutorado em Química Analítica*): Curso de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Campinas: UNICAMP, 1995.
- NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. A Fotocatálise heterogênea e sua aplicação ambiental *Quim. Nova* 21, 1, p. 69-72, 1998.
- NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. TiO₂-fixed-bed reactor for water decontamination using solar light. *Solar Energy*, 56, p. 471-477, 1996.
- OPPELT, E. T. Hazardous waste destruction – thermal techniques will be increasingly used as legal restrictions on land disposal take effect. *Environ. Sci.Technol.* 20, 4, p. 312-318, 1986.
- PELIZZETTI, E. et al. Sunlight photodegradation of haloaromatic pollutants catalysed by semiconductor particulate materials. *Chim. Ind.* 67, 11, p. 623-625, 1985.
- PELIZZOLI, Marcelo Luiz. *A emergência do paradigma ecológico: reflexões ético-filosóficas para o século XXI*. Petrópolis: Vozes, 1999.
- RINCÓN, A. G.; PULGARIN, C. Bactericidal action of illuminated TiO₂ of pure *Escherichia coli* and natural bacterial consortia: post-irradiation events in the dark and assessment of the effective disinfection time, *Applied Catalysis B: Environmental* 49, p. 99-112, 2004.

- RINCÓN, A. G. et al. Interaction between *E. coli* inactivation and DBP-precursors-dihydroxibenzene isomers- in the photocatalytic process of drinking-water disinfection with TiO₂, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 139, p. 233-241, 2001.
- RIO GRANDE DO SUL, Resolução CONSEMA n. 128, 24 de novembro de 2006. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 07 dez. 1999, Secretaria da Saúde e Meio Ambiente/RS, Disponível na internet: <http://www.aquafлот.com.br/legislacao.html>. Acessado em 10 de abril de 2007.
- RODRIGUES, Edwal Aparecido Campos. *Infecções Hospitalares: prevenção e controle*. São Paulo. Ed. Sarvier, 1997, 662 p.
- ROSENFELDT, E. J. et al. Comparison of the efficiency of ·OH radical formation during ozonation and the advanced oxidation processes O₃/H₂O₂ and UV/H₂O₂. *Water Research* 40, p. 3695-3704, 2006.
- SILVEIRA, I. C. T.; MONTEGGIA, L. O. Ozonização de efluente hospitalar biologicamente tratado. In: 22º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville/SC, 2003.
- SILVEIRA, I. C. T. et al. Biodegradabilidade anaeróbia e avaliação da toxicidade de efluente de lavanderia hospitalar. In: 22º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville/SC, 2003.
- SORENSEN, B. H. et al. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment - A review. *Chemosphere* 36, p. 357-393, 1998.
- SOUZA, Eduardo Luiz de. Medidas de Prevenção e Minimização da Contaminação Humana e Ambiental Causada pelos Resíduos de Serviços de Saúde Gerados em Estabelecimento Hospitalar – Estudo de Caso. 145 f. Tese de Doutorado. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA, Escola de Engenharia de São Carlos–EESC, São Carlos: Universidade de São Paulo, 2005.
- SPERLING, Marcos Von. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias* 1, 3. ed., Belo Horizonte: UFMG, 2005.
- TOLEDO, A. F.; DEMAJOROVIC, J. *Atividade Hospitalar: Impactos Ambientais e Estratégias de Ecoeficiência*. SENAC, 2006.
- TOZE, Simon. PCR and detection of microbial pathogens in water and wastewater. *Water Research* 33, 17, p. 3545-3556, 1999.
- VIDAL, A. et al. Solar photocatalysis for detoxification and disinfection of contaminated water: pilot plant studies, *Catalysis Today* 54, p. 283-290, 1999.

- WEBER, Cornelius I. *Method for measuring the acute toxicity of effluents and receiving water to freshwater and marine organisms*. Cincinnati/Ohio: EPA, 1993.
- WEI, Chang. Bactericidal activity of TiO₂ photocatalyst in aqueous media: toward a solar-assisted water disinfection system. *Environ. Sci. Technol.* 28, 5, p. 934-938, 1994.
- WEN, X. et al. Treatment of hospital wastewater using a submerged membrane bioreactor. *Process Biochemistry* 39, p. 1427-1431, 2004.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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