

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E MEIO
AMBIENTE

Monografia de Final de Curso

Desinfecção de Esgoto Sanitário por Processos
Oxidativos Avançados (POA's) utilizando
nanopartículas de TiO₂

Joelder Mozar Antônio

Belo Horizonte
2011

Joelder Mozar Antônio

**Desinfecção de Esgoto Sanitário por Processos
Oxidativos Avançados (POA's) utilizando
nanopartículas de TiO₂**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Orientador: Prof. Eduardo Delano Leite Ribeiro

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família incluindo minha noiva Thabata e seus familiares pela presença acolhedora e inspiradora, ao corpo docente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, bem como, meu Orientador Prof. Eduardo Delano Leite Ribeiro por sua imensa ajuda na delimitação do trabalho, à Prof^a. Glória Suzana Melendez Bastos de Souza pelo auxílio na estruturação e organização do trabalho, e aos meus amigos Wagner e Júlia pelas orientações gramaticais deste corpo textual e toda a equipe da empresa Nanum Nanotecnologia S/A.

RESUMO

O processo de desinfecção de esgoto sanitário não está recebendo a devida atenção, podendo tornar-se um sério risco à saúde pública nos próximos anos. Atualmente, muitos municípios brasileiros lançam o esgoto sanitário em cursos d'água sem qualquer tratamento, e geralmente quando realizado, possui intuito simplesmente na diminuição da carga orgânica e remoção de nutrientes. Este trabalho tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre a utilização de nano dióxido de titânio em *Processos Oxidativos Avançados* (POA's), despertando o interesse de pesquisadores e subsidiando futuras pesquisas que melhor qualifiquem e quantifiquem o referido processo. Os processos usuais de desinfecção possuem alguns empecilhos como: elevado custo, necessidade de grande área para implantação, geração de subprodutos deletérios à saúde humana e ao meio ambiente, entre outros. A utilização de nanotecnologia surge como uma forte aliada para o tratamento de águas contaminadas. Atualmente existe grande o incentivo por parte do governo ao desenvolvimento de inovações tecnológicas no campo da N&N (nanociências e nanotecnologias), que geralmente não vem sendo tão exploradas. O uso de nanopartículas de TiO_2 como semicondutor em *Processos Oxidativos Avançados* (POA's), por meio de *Fotocatálise Heterogênea* – FH, irradiadas por luz natural, pode se apresenta como um alternativa eficaz, com baixo custo, e não geração de subprodutos deletérios à saúde humana e ao meio ambiente. Por se tratar de uma recente tecnologia, muitos estudos ainda deverão surgir a fim de testar e quantificar os resultados advindos do processo desinfecção utilizando nanopartículas de TiO_2 . Possíveis alterações causadas no ambiente pelo uso do mesmo devem ser levadas em consideração, uma vez que em relação à natureza física de uma partícula nanoscópica será necessários mais estudos sobre seus possíveis impactos ao meio ambiente e saúde humana.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivos Gerais.....	11
2.2	Objetivos Específicos.....	11
2.3	Justificativa.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	Problemática do esgoto sanitário.....	12
3.1.1	<i>Aspectos gerais.....</i>	12
3.1.2	<i>Organismos patogênicos presentes no esgoto.....</i>	14
3.1.3	<i>Organismos indicadores de eficiência de tratamento.....</i>	16
3.2	Desinfecção de esgoto sanitário.....	19
3.2.1	<i>Aspectos gerais.....</i>	19
3.2.2	<i>Processos naturais de desinfecção de esgotos sanitários.....</i>	20
3.2.3	<i>Processos artificiais de desinfecção de esgotos sanitários.....</i>	21
3.3	Processos Oxidativos Avançados (POA's).....	25
3.3.1	<i>Aspectos gerais.....</i>	25
3.3.2	<i>POA's por Fotocatálise Heterogenia – FH.....</i>	26
3.3.3	<i>Dióxido de titânio TiO₂, principal semicondutor.....</i>	27
3.3.4	<i>Ação desinfectante do dióxido de titânio.....</i>	30
3.4	Potencial utilização da nanotecnologia para desinfecção de esgoto sanitário.....	31
3.4.1	<i>Caracterização da Nanotecnologia.....</i>	31
3.4.2	<i>Nanotecnologia e os riscos ao meio ambiente.....</i>	32
3.4.3	<i>Nanotecnologias e as perspectivas para a desinfecção de esgoto.....</i>	33
3.4.4	<i>Incentivos à nanotecnologia no Brasil.....</i>	35
	ANALISE CRÍTICA DA LITERATURA.....	37
	CONCLUSÕES.....	39
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Aq	Aquoso
BC	Banda de condução
BV	Banda de valência
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAM	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
FH	Fotocatálise Heterogênea
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
Hv	Energia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQA	Índice de Qualidade das Águas
NAE	Núcleo de Assuntos Estratégicos
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
OD	Oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
POA's	Processos Oxidativos Avançados
SS	Sólidos suspensos
UASB	Reator anaeróbico com manta de lodo e fluxo ascendente
UV	Ultravioleta
US	Ultrassom
THM's	Trihalometanos

LISTA DE FIGURAS

3.1	Processos de desinfecção de esgoto sanitário.....	20
3.2	Mecanismo de fotocatalise heterogenia.....	27
3.3	Partícula de um semiconductor fotoativado.....	28

LISTA DE TABELAS

3.1	Impurezas encontradas na água.....	12
3.2	Principais doenças de veiculação hídrica.....	15
3.3	Vantagens e desvantagens dos processos naturais de desinfecção por agentes físicos, químicos e biológicos.....	21
3.4	Vantagens e desvantagens dos processos artificiais de desinfecção por agentes químicos.....	23
3.5	Vantagens e desvantagens dos processos artificiais de desinfecção por agentes químicos.....	24
3.6	Potencial redox das principais espécies oxidantes.....	25
3.7	Sistemas Homogêneos de POA's.....	26
3.8	Sistemas Heterogêneos de POA's.....	26

2. INTRODUÇÃO

Os cursos d'água (rios, lagos e outros) constituem a principal fonte de água doce utilizada para o abastecimento do consumo humano (LIBÂNIO, 2008). Todavia, estes também são utilizados como receptores de esgotos sanitários, que na maioria vezes, é disposto diretamente sem qualquer tratamento, apresentando elevada taxa de matéria orgânica e organismos patogênicos.

Os mananciais poluídos com esgotos domésticos representam um sério problema para a saúde pública. Conforme Castro (2009), baseando-se em dados oferecidos OMS, mais de 1,8 milhão de pessoas, em sua maior parte crianças com menos de 5 anos, morrem anualmente em decorrência do consumo de água contaminada. De acordo com recentes pesquisas realizadas pelo IBGE no ano de 2008, a grande maioria dos municípios brasileiros despeja o esgoto sanitário em cursos d'água sem qualquer tratamento. Na maioria das vezes, quando tratado, conforme Gonçalves et. al, (2003), o processo tem ênfase na diminuição da carga orgânica e remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo.

Os riscos oferecidos à saúde pública decorrentes dos agentes etiológicos cada vez mais impulsionam o desenvolvimento de novas tecnologias para o processo de desinfecção de esgoto sanitário. Os métodos já existentes apresentam considerável eficiência na eliminação dos organismos causadores de doenças; entretanto, possuem alguns empecilhos como: elevado custo, necessidade de grande área para implantação, geração de subprodutos deletérios à saúde humana e ao meio ambiente, entre outros (GONÇALVES et. al., 2003)

A desinfecção de águas residuárias por vários tipos de *Processos Oxidativos Avançados* (POA's). Um deles é através de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2), que se dá por *Fotocatálise Heterogênea* – FH onde o catalisador se apresenta estado físico diferente ao meio de ação, irradiado por um espectro eletromagnético com comprimento de ondas que enquadram na faixa do ultravioleta, caracteriza a geração de radicais livres oxidantes. Podendo levar à mineralização completa do microorganismo a dióxido de carbono e água, ou degradação parcial destes, inibindo seu potencial nocivo, enfatizando seu baixo custo e não geração de subprodutos deletérios à saúde humana e ao meio ambiente (TEIXEIRA e JARDIM, 2004). Em relação ao mecanismo de desinfecção proferido contra organismos causadores de doenças, o radicais livres extremamente oxidantes são responsáveis por ataques à superfície dos mesmos, levando-os à mineralização completa ou danificando componentes celulares importantes (MONTAGNER et. al., 2005).

Os POA's, através de sistemas heterogêneos fotoativos, apresentam efetividade relacionada à área superficial do semicondutor, a exemplo do TiO_2 , variável diretamente ligada ao tamanho da partícula utilizada (MOURÃO et. al., 2005). Tal conceito pode ser diretamente relacionado ao discurso da *Nanotecnologia*, que garante propriedades especiais conferidas à estruturas que apresentam tamanho de um bilionésimo de metros. Desta forma, para Grimshaw (2009), a nanotecnologia é uma potencial aliada ao tratamento de águas contaminadas por organismos responsáveis por doenças de veiculação hídrica.

OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Relatar o estado da arte sobre o potencial emprego das nanopartículas de TiO_2 em processo de desinfecção de esgotos sanitários, por meio de Processos Oxidativos Avançados (POA's), em Fotocatalise Heterogênea – FH,

2.2 Objetivos específicos

- Descrever e discutir de o mecanismo de ação exercido pelas nanopartículas de dióxido de titânio;
- Caracterizar a estrutura física e as propriedades fotoativas da nanopartícula do TiO_2 ;
- Análise crítica da utilização da nanotecnologia para desinfecção de esgoto sanitário;
- Despertar o interesse de pesquisadores e subsidiando futuras pesquisas que melhor qualifiquem e quantifiquem o processo.

2.3 Justificativa

Segundo Daniel et al.(2001), o agente desinfetante mais utilizado atualmente no Brasil e no mundo é o cloro e seus derivados, devido ao seu baixo custo e alta eficiência. Entretanto, sua aplicação na descontaminação de esgotos sanitários não é tão atrativa, sendo um dos principais inconvenientes a formação de trihalometanos – THM's, espécies consideradas carcinogênicas. Tratando-se dos outros processos que não geram subprodutos deletérios à saúde humana e meio ambiente, dentre outros, onde podemos citar radiação ultravioleta, radiação gama, ozonização e lagoas de estabilização, podemos citar os altos custos e elevada demanda de espaço para sua implementação como fatores limitadores (GONÇALVES et. al., 2003).

Com base nos dados oferecidos nesta dissertação, pesquisas inovadoras sobre processo de desinfecção de esgotos sanitários, correlacionadas ao campo de N&N podem surgir. Aproveitando o respaldo financeiro do governo, que conforme Fernandes e Filgueiras (2008), já são disponibilizados por parte do governo federal visando fortalecer a inovação tecnológica no campo das N&N, onde podemos citar o CNPq e a FINEP com o lançamento de editais voltados ao desenvolvimento destas tecnologias.

3. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

3.1 Problemática do Esgoto Sanitário.

3.1.1 Aspectos gerais

A grande diversidade de propriedades imperadas pela água no cotidiano da humanidade faz da mesma uma substância vital às necessidades básicas da população que, por sua vez, após fazer a utilização deste recurso natural, retorna-o a um curso d'água possuindo suas características físicas, químicas e biológicas alteradas. Entretanto, esta forma impura é caracterizada como carga poluente ou esgoto sanitário. Conforme Libânio (2008), a ocorrência de uma alteração prejudicial ao meio, quando esta coloca em risco a saúde da biota ou do ser humano que dele faz uso, é denominada poluição.

Em relação ao uso da água, tal situação apresenta-se em dois extremos, onde de um lado retrata a face mais nobre do uso da água, representada pelo abastecimento de água para uso doméstico, a qual requer a satisfação de diversos critérios de qualidade. De forma oposta, a simples diluição dos despejos sem qualquer tipo tratamento, caracterizando o uso menos nobre do recurso (VON SPERLING, 2005).

O esgotamento sanitário apresenta-se como uma ferramenta imprescindível para garantir e preservar a saúde humana, entretanto, uma deterioração dos mananciais potencializou-se com o aumento das construções de redes de efluentes sanitários, que conduzem uma grande quantidade de matéria orgânica aos rios lagos sem qualquer tratamento (Rocha et. al., 2004).

Conforme Von Sperling (2005), o esgoto doméstico é composto 99,9% de água, sendo a fração restante constituída por diversos componentes presentes na água, caracterizada como impureza, podendo ser descritos de acordo com a Tabela 3.2 abaixo:

Tabela 3.1 – Impurezas encontradas na água

Característica da Impureza	Classificação da Impureza
Físicas	Sólidos em suspensão, sólidos coloidais, sólidos dissolvidos e gases
Químicas	Sólidos orgânicos e Sólidos inorgânicos
Biológicas	Seres vivos (animais, vegetais, protistas e moneras) e matéria orgânica em decomposição

A presença de matéria orgânica em um corpo d'água resulta indiretamente no consumo de oxigênio dissolvido – OD, caracterizando um dos principais problemas de poluição das águas, pois com a diminuição de oxigênio dissolvido - OD a vida aquática é afetada como um todo (BAIRD, 2004).

Para Von sperling (2005), devido às propriedades da água como solvente e sua capacidade de transportar partículas, diversas impurezas incorporadas à água definem a qualidade da mesma, variável diretamente ligada aos fenômenos naturais e ações antrópicas, logo, há necessidade de um sistema de tratamento que diminua taxa aporte da carga orgânica, garantindo a efetividade do sistema de autodepuração dos cursos d'água.

Conforme a resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2005) é vedado o lançamento de efluentes originários de qualquer fonte poluidora em águas de “Classe Especial”, e em relação às demais, fica disposto que qualquer efluente só poderia ser lançado em corpos de água depois de devido tratamento, adequando o mesmo às condições, padrões e exigências da resolução.

A inexistência de tratamento do esgoto sanitário situa-se em escala mundial, sendo o mesmo solucionado em grande parte por vários países desenvolvidos e ainda de grande recorrência nos países em desenvolvimento (VON SPERLING, 2005). Atualmente no Brasil, o esgoto sanitário despejado em cursos d'água é considerado um dos principais poluentes deste recurso natural. Segundo estatísticas do IBGE, relatadas na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, no ano 2008, apenas 28,5% dos municípios brasileiros com esgotamento por rede geral realizavam o tratamento de esgoto.

Quando o esgoto sanitário não é tratado, ao ser despejado em curso d'água acarreta diversos impactos, por exemplo, na saúde da população, através de doenças transmitidas por agentes patogênicos como a cólera, desintérias (bacilar e amebiana) hepatite A, entre outras (ZORATTO, 2006).

Segundo Baird (2004), o tratamento de esgoto pode ser dividido em tratamento primário, tratamento secundário e o tratamento terciário. Os sistemas de tratamento preliminar e primário são qualificados como processos físicos; sendo o primeiro caracterizado pela remoção dos sólidos grosseiros e sedimentáveis, e o outro pela remoção de parte da matéria orgânica. Já no tratamento secundário, há predomínio dos processos químicos e biológicos, ambos com a finalidade de remoção da matéria orgânica solúvel e suspensa, e, em alguns

casos, a remoção de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, para a prevenção do processo de eutrofização do curso d'água. Por último, o tratamento terciário atua como um polimento da etapa anterior e, de maneira específica, visa também à remoção de poluentes como: sólidos inorgânicos dissolvidos; sólidos em suspensão remanescentes; metais pesados; compostos não biodegradáveis; nutrientes e organismos patogênicos (VON SPERLING, 2005).

Contudo, a grande maioria dos processos de tratamento de esgotos existentes, foram criados com o intuito de diminuição da carga orgânica, podendo sofrer adaptação para remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, onde para tais apresenta uma real eficiência, porém insuficientes na remoção de organismos patogênicos e seus indicadores (GONÇALVES et. al., 2003).

Segundo Daniel et. al., (2001), a título de ilustração, é admitido o lançamento de 100 L/s de esgoto com a concentração de coliformes termotolerantes da ordem de 10^7 org/100mL em cursos de Classe 2. De forma geral, para atender à legislação vigente CONAMA 20/1986, revogada pela CONAMA 357/2005, o sistema de tratamento de esgoto deveria apresentar uma eficiência de 98 % em termos de remoção bacteriológica.

Apesar da existência de uma legislação vigente e bem estruturada em nosso país, ainda existem diversos municípios que despejam sem qualquer pudor uma carga poluente em total desacordo com a mesma, caracterizando um grande problema ambiental e de saúde pública. *“Para implantação de uma efetiva barreira de controle de agentes transmissores de doenças infecciosas em que o contato humano com esgotos é provável, os processos de desinfecção de esgotos são, em geral, a prática mais segura e de menor custo”* (GONÇALVES, R. F. et. al., 2003, p.1)

3.1.2 Organismos patogênicos presentes no esgoto

Durante séculos, a qualidade da água foi subjugada pelos aspectos estéticos (aparência, sabor, odor). Dessa forma, as pessoas ainda não relacionavam que algumas doenças ocorridas naquela época eram oriundas da presença de organismos patogênicos presentes nas águas, pois não dispunham de tecnologia para reconhecer que aquela água limpa, clara, de bom sabor e sem odor não garantiria a ausência de microrganismos prejudiciais à saúde (PÁDUA et. al., 2009).

Os organismos desempenham importantes funções relacionadas à depuração de um curso d'água e inclusive são utilizados nos processos de tratamento biológico de águas residuárias. Entretanto, alguns destes organismos presentes na água são caracterizados como agentes etiológicos, cujas enfermidades são denominadas doenças de veiculação hídrica. Geralmente estes microorganismos são eliminados nas fezes, que são aportadas para o esgoto sanitário. Para Von Sperling (2005), é de extrema relevância o fato de alguns organismos encontrados no esgoto poderem caracterizar-se como patogênicos, sendo capazes de causarem doenças nos homens e nos animais, sendo os principais grupos de interesse para a saúde pública as bactérias, vírus, protozoários e helmintos.

Conforme Libânio (2008), a composição de organismos na massa fecal varia cerca de 1/5 a 1/3 do peso, que resulta em concentrações de 10^6 a 10^8 organismos/mL nos esgotos domésticos. Entretanto, *“a diversidade e a quantidade dos organismos patogênicos no esgoto depende de vários fatores, dentre os quais a quantidade de indivíduos infectados na população e a densidade de organismos patogênicos nos excrementos”* (GONÇALVES et. al., 2003, pag 2).

Há dois principais mecanismos de transmissão de doenças de veiculação hídrica: a transmissão por ingestão de água contaminada e as doenças provocadas por má higiene decorrentes da falta d'água (HELLER et. al., 2006). Para Daniel et. al., (2001), a perspectiva de transmissão das doenças de veiculação hídrica está diretamente relacionada aos seguintes fatores: inicialmente às características físicas, químicas e biológicas das águas naturais, e secundariamente à susceptibilidade do indivíduo em contato com esta água.

O fato dos cursos d'água serem utilizados como receptores diretos de esgotos domésticos gera um sério problema à saúde pública. Conforme Castro (2009), mais de 1,8 milhão de pessoas, em sua maior parte crianças com menos de 5 anos, morrem anualmente em decorrência do consumo de água contaminada.

Na Tabela 3.4, apresentada abaixo, proposta por Daniel et. al. (2001), estão representadas as principais doenças de veiculação hídrica e seus respectivos agentes etiológicos; bem como seus sintomas usuais e fontes de contaminação.

Tabela 3.2 - Principais doenças de veiculação hídrica

Doença	Agente etiológico	Sintomas	Fontes de contaminação
Febres tifóide e	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella</i>	Febre elevada, diarreia	Fezes humanas

paratifóide	<i>paratyphi A e B</i>		
Disenteria bacilar	<i>Shigella dysenteriae</i>	Diarréia	Fezes humanas
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarréia, abscessos no fígado e intestino delgado	Fezes humanas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarréia e desidratação	Fezes humanas e águas costeiras
Giardíase	<i>Giardia lamblia</i>	Diarréia, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Poliomielite*	Vírus da poliomielite	Paralisia	Fezes humanas
Hepatite A e B	Vírus da hepatite A e B	Febre, icterícia	Fezes humanas
Criptosporidiose	<i>Cryptosporidium parvum</i> , <i>Cryptosporidium muris</i>	Diarréia, anorexia, dor intestinal, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Gastroenterite	<i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , Rotavírus e outros vírus entéricos	Diarréia	Fezes humanas

* Enfermidade erradicada no Brasil

Fonte: Daniel et. al., 2001, pag. 3

3.1.3 Organismos indicadores de eficiência de tratamento

Dadas as dificuldades de isolamento rotineiro de organismos patogênicos [...] sugere-se que a indicação de contaminação seja determinada, prioritária e rotineiramente, por indicadores microbiológicos da presença de material fecal no meio ambiente. Nesse contexto, a interpretação básica do emprego de organismos indicadores é que sua presença atesta poluição de origem fecal e, portanto, risco de contaminação, ou seja, presença de patógenos. Entende-se, ainda, que a densidade de indicadores indica o grau de poluição/contaminação. (GONÇALVES, et. al., 2003, p. 74)

Para o controle microbiológico da qualidade da água de consumo, a presença de bactérias do grupo dos coliformes tem sido como indicador tem sido o método mais usual, onde a ausência deste grupo caracteriza uma garantia sanitária de segurança microbiológica da água, dispensando o monitoramento individual de diversos parasitos presentes nas águas naturais. Entretanto, o teste de coliformes não garantem a ausência total de organismos patogênicos, pois alguns patogênicos apresentam maior resistência que as respectivas bactérias (Daniel, 2001).

Para Gonçalves et.al. (2003), são requisitos necessários aos indicadores de contaminação: origem exclusivamente fecal; maior resistência que os patogênicos aos adversos efeitos do meio ambiente; maior número que os patogênicos; incapacidade de reprodução no meio

ambiente e serem de fácil identificação. E desta maneira, não há um único organismo que satisfaça simultaneamente todas essas condições, que seria aquele com a melhor associação com os riscos de saúde relacionados à contaminação de determinado ambiente.

Contudo, conforme Von Sperling (2005), o grupo dos coliformes apresenta algumas características que os fazem os principais organismos indicadores de contaminação fecal:

- Corresponde a grande parte das fezes humanas compondo entre 1/3 a 1/5 do peso total;
- Apresentam resistência ligeiramente superior à maioria das bactérias patogênicas intestinais;
- Possuem mecanismo de remoção em estações de tratamento de água e tratamento de esgoto, similares aos das demais bactérias patogênicas;
- Técnicas de detecção dos coliformes são rápidas e econômicas.

O grupo dos coliformes pode ser definido como (Von Sperling, 2005):

- *Coliformes totais* (CT) constituindo um grande grupo de bactérias que podem ser encontradas em solos e águas poluídos ou não poluídos, bem como em fezes de animais e outros animais de sangue quente. Por isso, são entendidos como coliformes ambientais, não havendo uma relação específica entre CT e microorganismos patogênicos, sendo inviável sua presença para identificação de contaminação fecal. Porém, podendo ser utilizado na caracterização de tratamento de águas para consumo humano, onde sua presença indica a ineficiências do processo de tratamento.
- *Coliformes fecais* (CF), preferencialmente denominados *coliformes termotolerantes*, são um grupo de bactérias predominantes no trato intestinal de seres humanos e outros animais, compreendendo o gênero *Escherichia*, e em menor grau, as espécies *klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. O teste para CF é feito em temperatura elevada com a finalidade de eliminação das espécies de origem não fecal. De qualquer forma, o teste não dá garantia de que a contaminação seja especificamente fecal, devido à possível presença de bactérias (de vida livre), embora em menor número que no teste de CT.
- *Escherichia coli* (*E. Colli*), é o principal grupo de *coliformes termotolerantes*, possui detecção laboratorial simples, apresenta-se como indicadora exclusivamente fecal, no

entanto, sua presença não dá garantia de que a contaminação seja especificamente de fezes humana.

O teste de coliformes é um importante meio de caracterização para águas contaminadas, indicando eficiência de remoção de patogênicos nos processo de desinfecção, entretanto, os ovos de helmintos são praticamente imunes à cloração e os cistos de protozoários, bastante resistentes apresentado-se ineficaz como indicadores da presença deste organismos (Gonçalves et. al., 2003)

3.2 Desinfecção do esgoto sanitário

3.2.1 Aspectos gerais

O esgoto sanitário apresenta uma expressiva carga de organismos patogênicos. O tratamento convencional de esgoto não é suficiente para remover ou inativar todos os organismos patogênicos e representa consideráveis riscos à saúde humana, havendo a necessidade de implantação de uma barreira contra os agentes transmissores de doenças, sendo o processo de desinfecção de esgotos a prática mais segura para o referido problema (GONÇALVES et. al., 2003).

Para Von Sperling (2005), não é simples a decisão sobre a utilização de um processo de desinfecção de esgotos, pois além dos elevados custos, deve atender ao requisito de remoção ou inativação seletiva das quatro principais classes de organismos de interesse em termos de saúde pública (bactérias, vírus, protozoários e helmintos). Dependendo do processo escolhido, pode haver possível geração de compostos tóxicos, entre outros aspectos.

Para Gonçalves et. al., 2003, p. 8, “do ponto de vista da engenharia sanitária, a desinfecção pode ser definida como a etapa responsável pela redução das densidades de microrganismos de interesse até os limites estabelecidos pela legislação para os diferentes tipos de usos da água”

Os principais mecanismos atuantes em processo de desinfecção dos organismos patogênicos proferidos por agentes desinfectantes (químicos, físicos e biológicos) podem ser apresentados como: (Daniel, 2001)

- Destruição ou fragilização estrutural da parede celular (citoplasma ou núcleo) afetando a semipermeabilidade desta, influenciando assim suas funções elementares;
- Interferência no metabolismo energético, por meio de alteração nas funções enzimáticas, e;
- Alteração nos processos de síntese e crescimento celular, mediante alteração de funções como a síntese de proteínas, de ácidos nucleicos e coenzimas.

A Figura 3.1, representa um fluxograma com as divisões em possíveis processos de desinfecção de esgotos sanitários, bem como seus agentes atuantes nos mesmos.

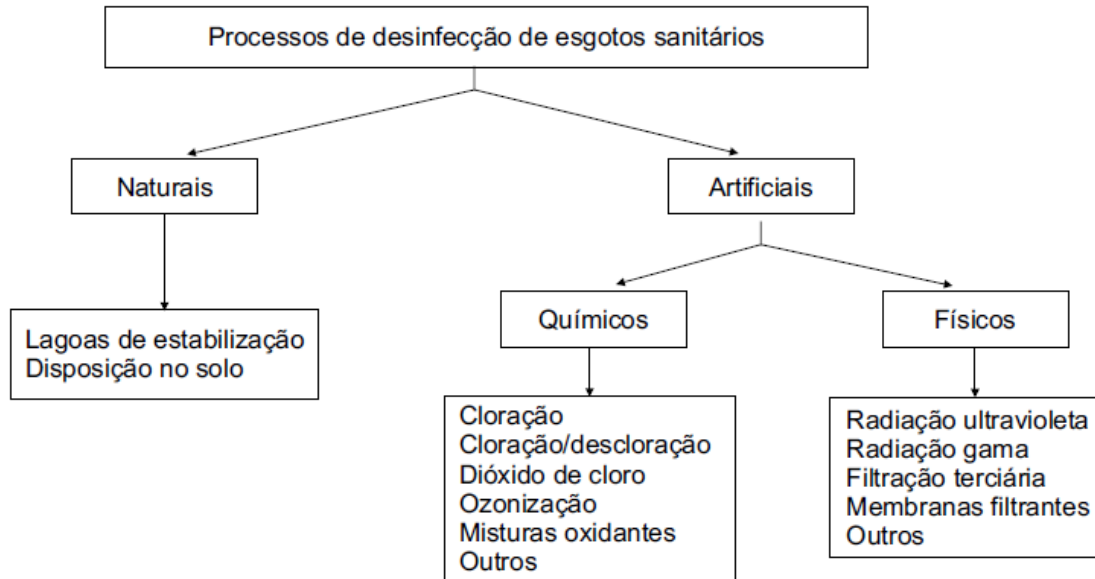


Figura 3.1- Processos de desinfecção de esgoto sanitário
 Fonte: Gonçalves et. al., 2003, p. 14

3.2.2 Processos naturais de desinfecção de esgotos sanitários:

- *Lagoas de estabilização:* Conforme Gonçalves et. al., (2003), geralmente são utilizadas em processos de tratamento de esgotos para remoção de matéria orgânica, com ação de agentes físicos, químicos e biológicos. No entanto, com algumas alterações em sua estrutura física, pode-se alcançar elevada eficiência na remoção de organismos patogênicos, caracterizando-as como lagoas de maturação. Tem-se, ainda, as lagoas de polimento, teoricamente similares às lagoas de maturação, recebendo essa nomenclatura específica por realizarem o polimento de efluentes de reatores anaeróbios, principalmente os reatores tipo UASB (reator anaeróbio com manta de lodo e fluxo ascendente).

Os fatores naturais como a temperatura, a insolação, o pH, a escassez de alimento, os organismos predadores, a competição, os compostos tóxicos e a elevada concentração de oxigênio dissolvido atuam como agentes desinfetantes neste processo. Tratando-se de cistos de protozoários e ovos de helmintos, o principal mecanismo é a sedimentação (VON SPERLING, 2005).

- *Disposição controlada no solo:* Caracterizado pela elevada capacidade de remoção da matéria orgânica e nutrientes (por interações químicas no solo e absorção pela biomassa

vegetal), remoção de parasitas por retenção física, apresentando remoção limitada para vírus e bactérias (FLORENCIO et. al., 2006).

A compatibilização entre o pós-tratamento do esgoto e irrigação de plantas (produção de biomassa para alimentação animal) caracteriza o conceito de reuso, visto que fornece os nutrientes e a matéria orgânica para o conjunto solo/planta, recarregando o aquífero (VON SPERLING, 2005).

Conforme Gonçalves et. al., (2003), a Tabela - 3.5 demonstra as principais vantagens e desvantagens dos processos naturais de desinfecção as de esgotos sanitário.

Tabela 3.3 - Vantagens e desvantagens dos processos naturais de desinfecção por agentes físicos, químicos e biológicos

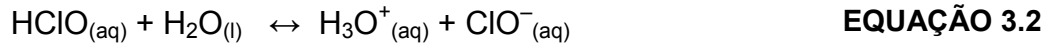
PROCESSO	VANTAGENS	DESvantagens
Lagoa de estabilização	-Ausências de mecanização -Ausência de efeitos residuais prejudiciais -Simples operação -Realização coexistente à estabilização de matéria orgânica	-Demanda de grandes áreas -Tempo de ação em vários dias -Desempenho dependente das condições climáticas -Produção de grande quantidade de algas
Disposição no solo	-Ausências de mecanização -Ausência de efeitos residuais prejudiciais -Simples operação -Realização coexistente à estabilização de matéria orgânica	-Demanda de grandes áreas -Desempenho dependente das condições climáticas -Sensível à quantidades de sólidos suspensos no efluente

3.2.3 Processos artificiais de desinfecção de esgotos sanitários:

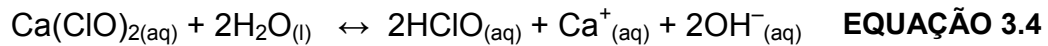
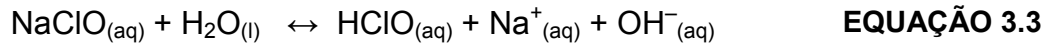
- *Cloração*: O principal agente utilizado na desinfecção da águas e esgotos, apresentado variações comercializadas como: cloro líquido ou gasoso (Cl_2), hipoclorito de sódio (NaClO) e hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Sua principal ação como desinfetante é proferida pela oxidação do material celular, além da danificação de material genético e inibição enzimática que já foram abordadas em pesquisas científicas como processos de desinfecção (VON SPERLING, 2005). Conforme Sanches et. al., (2003), quando o cloro (Cl_2) é adicionado à água, basicamente ocorre a formação de ácido hipocloroso (HClO) conforme Equação 3.1 e dependendo da faixa de pH, se ioniza a íon hipoclorito (ClO^-) conforme Equação 3.2. Estudos evidenciam que em pH superior a 6, a quantidade de HClO é menor e a do íon ClO^- é maior; e ambos os compostos possuem ação desinfetante e oxidante. Entretanto, o ácido hipocloroso é mais eficiente do que o íon hipoclorito na destruição dos microrganismos em geral.



EQUAÇÃO 3.1



As reações entre o hipoclorito de sódio (NaClO) e a água estão relacionadas na Equação 3.3, entre o hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) e a água na Equação 3.4, ambas descritas abaixo:



Entretanto, a cloração de esgotos sanitários pode gerar subprodutos deletérios à saúde humana; e mesmo em baixas concentrações residuais apresentam toxicidade à diversas espécies aquáticas, havendo a necessidade do processo de descloração antes do lançamento, tendo sido comumente utilizado o dióxido de enxofre (SO_2) (GONÇALVES et. al., 2003). Segundo Sanches et. al., (2003), a cloração de águas contendo matéria orgânica em excesso, entre outros, favorece principalmente a formação dos trihalometanos – THM's, substâncias consideradas carcinogênicas, sendo assim denominadas por apresentarem em sua estrutura molecular um átomo de carbono, um de hidrogênio e três de halogênios; e o clorofórmio é um composto que faz parte do grupo dos THMs.

- *Ozônio (O_3)*: Por apresentar curto tempo de vida, não pode ser armazenado e nem transportado, sendo necessário ter sua produção *in situ* através de um processo relativamente caro que envolve descargas elétricas de 20.000 volts em ar seco. Ao ser borbulhado na água, esta fica purificada sem uma proteção residual (BAIRD, 2004). Conforme Gonçalves, et. al., (2003), o ozônio é um oxidante reativo e altamente bactericida, e seu mecanismo de desinfecção é consagrado pela destruição parcial ou total da parede celular, levando à lise das células, causando ainda danos a constituintes do material genético por reações com radicais livres (peróxido de hidrogênio e íon hidroxila) resultantes de sua decomposição. Porém, devido à toxicidade do O_3 , sua utilização requer mecanismos de destruição do gás produzido em excesso, feita termicamente por meio de aquecimento por resistência elétrica ou cataliticamente.
- *Ultravioleta*: No tratamento de águas por radiação UV, são utilizadas lâmpadas de mercúrio de baixa pressão, que emitem uma radiação de 254 nm. Na região onde se situa a luz UV-C, segundos são suficientes para eliminação de vários microorganismos (Baird, 2004). Conforme Daniel et. al. (2001), a radiação UV não inativa o microorganismo por meio de interação direta, logo, a inativação é causada pela absorção

da radiação UV pelas proteínas e pelo ácido ribonucléico (RNA) e ácido desoxirribonucléico (DNA), em que a absorção de UV pelas proteínas presentes nas membranas celulares leva ao rompimento dessas e conseqüentemente à morte celular.

- *Outros processos de desinfecção:* Diversos processos à base de desinfetantes alternativos vêm sendo desenvolvidos para o tratamento de esgotos sanitários tratados. Tais processos são descritos de maneira sucinta por Gonçalves (2003), podendo citar como os principais os desinfetantes químicos as cloraminas, o permanganato de potássio, o íon ferrato(VI), o ácido peracético, o H₂O₂, o dicloroisocianurato de sódio, os sais de bromo, o iodo, o ouro, a prata, o gluturaldeído e o fenol/fenato. Referindo-se aos processos físicos, temos a filtração por membranas, o ultra-som e a radiação gama. Outras alternativas com base na combinação de produtos e processos, como os chamados *Processos Oxidativos Avançados* – POA's têm sido testadas na desinfecção de esgotos sanitários.

Conforme Gonçalves et. al., (2003), as Tabela - 3.6 e Tabela - 3,7 demonstram as principais vantagens e desvantagens dos processos artificiais de desinfecção as de esgotos sanitários, bem como seus agentes atuantes nos processos.

Tabela 3.4 - Vantagens e desvantagens dos processos artificiais de desinfecção por agentes químicos

PROCESSO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Cloração	<ul style="list-style-type: none"> -Técnica amplamente conhecida -Baixo custo -Cl residual prolonga a ação e indica eficiência do processo -Efetiva ação no tratamento de grandes variedades de patógenos -Oxidação de compostos orgânico e inorgânicos -Flexibilidade de dosagem 	<ul style="list-style-type: none"> -Residual tóxico, requer descloração -Espécies corrosivas e tóxicas -Geração de subprodutos deletérios (THM's) -Aumenta sólidos totais dissolvidos -Concentração residual instável na presença de alguns materiais -Resistência de alguns patógenos
Cloração/ descloração	<ul style="list-style-type: none"> -Tecnologia bem desenvolvida -Efetiva ação no tratamento de grandes variedades de patógenos -Oxidação de compostos orgânico e inorgânicos -Flexibilidade de dosagem 	<ul style="list-style-type: none"> -Requer adição de produtos químicos para eliminação do Cl residual -Elimina o efeito proferido pela concentração residual -Geração de subprodutos deletérios - Aumenta sólidos totais dissolvidos -Resistência de alguns patógenos
Ozonização	<ul style="list-style-type: none"> -Ação mais efetiva na destruição de vírus e bactérias que o cloro -Utiliza curto tempo de contato (10 a 30 min.) -Não gera subprodutos deletérios -Inibe o recrescimento de bactérias, exceto as protegidas pelo material particulado -Gerado <i>in situ</i>, fácil armazenamento e manuseio -Elevação de O₂ no tratamento 	<ul style="list-style-type: none"> -Baixas doses são ineficientes no tratamento de alguns vírus, esporos e cistos -Tecnologia complexa -O₃ é muito reativo e corrosivo -Não muito econômico para esgotos com muita SS, DBO ou DQO -O₃ é extremamente irritante e possivelmente tóxico -Custo relativamente elevado

Tabela 3.5 - Vantagens e desvantagens dos processos artificiais de desinfecção por agentes químicos

PROCESSO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Ultravioleta	<ul style="list-style-type: none"> -Ação mais efetiva na inativação de vírus e esporos -Não necessita de geração, manuseio, transporte ou estocagem -Ausência de efeitos residuais prejudiciais -Simples operação -Utiliza curto tempo de contato (20 a 30 seg.) -Melhor demanda de espaço 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixas doses são ineficientes no tratamento de alguns vírus, esporos e cistos -Microorganismo podem se multiplicar por fotorreativação ou recuperação no escuro -Necessita de controle da formação de biofilme nos reatores -Sensível à turbidez e sólidos suspensos -Mais caro que cloração e mais barato que a cloração/descloração
Filtração terciária	<ul style="list-style-type: none"> -Melhora significativa da qualidade físico-química -Remoção de ntruentes -Eficiente na remoção de ovos e larvas e cistos de protozoários 	<ul style="list-style-type: none"> -Eficiência variável e inespecífica em relação aos patógenos -Funcionamento intermitente (lavagens de filtros) -Demanda operacional intermediária -Requer produtos químicos para coagulação e floculação

3.3 Processos Oxidativos Avançados (POA's)

3.3.1 Aspectos Gerais

O processo envolve a formação de espécies oxidantes intermediárias, entre outras, principalmente os radicais hidroxila com elevado poder oxidativo de 2,8 V. Tais radicais são gerados através de reações envolvendo oxidantes fortes como ozônio (O₃) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), semicondutores, como dióxido de titânio (TiO₂) e óxido de zinco (ZnO), entre outros, irradiados por luz ultravioleta. Sendo os processos que apresentam catalisadores sólidos, denominados heterogêneos, enquanto os demais chamados homogêneos (TEIXEIRA E JARDIM, 2004).

Nos últimos anos, os POA's estão ganhando destaque devido ao seu baixo custo e eficiência na degradação de poluentes orgânicos, apresentando-se com extrema ênfase no tratamento de águas residuárias. São caracterizados por seu elevado poder de oxidação, resultado da presença dos radicais livres originados no processo, capazes de provocar a mineralização completa da matéria orgânica à dióxido de carbono e água (MONTAGNER, 2005).

Conforme Teixeira e Jardim (2004), a tabela 3.8 abaixo, demonstra e compara o poder oxidativo das principais espécies oxidantes:

Tabela 3.6 - Potencial redox das principais espécies oxidantes

ESPÉCIE	POTENCIAL REDOX (V)
Flúor	3,03
Radical Hidroxila	2,80
Oxigênio atômico	2,42
Ozônio	2,07
Peróxido de hidrogênio	1,78
Permanganato	1,68
Dióxido de cloro	1,57
Cloro	1,36
Iodo	0,54

Para Cordeiro et al. (2004), os POA's apresentam-se como uma tecnologia nova e versátil, podendo ser utilizada em muitas situações, desde biocida para desinfecção de vários ambientes, decomposição parcial de contaminantes orgânicos não biodegradáveis, até a oxidação extrema de poluentes orgânicos, resultando em completa mineralização.

Com base nas tabelas 3.9 e 3,10, propostas por Teixeira e Jardim (2004), podemos identificar os principais POA's.

Tabela 3.7 – Sistemas Homogêneos de POA's

COM IRRADIAÇÃO	SEM IRRADIAÇÃO
O ₃ /UV	O ₃ /H ₂ O ₂
H ₂ O ₂ /UV	O ₃ /OH ⁻
Feixe de Elétron	H ₂ O ₂ /Fe ³⁺ (Fenton)
US	
H ₂ O ₂ /US	
UV/US	

Tabela 3.8 – Sistemas Heterogêneos de POA's

COM IRRADIAÇÃO	SEM IRRADIAÇÃO
TiO ₂ /O ₂ /UV	Eletro-Fenton
TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV	

3.3.2 POA's por Fotocatálise Heterogenia - FH

Para Teixeira e Jardim (2004), a FH baseia-se na geração de hidroxila radicalar ($\cdot\text{OH}$) e superóxidos ($\cdot\text{O}_2^-$), por meio de uma reação fotoquímica utilizando um semicondutor sólido como catalisador.

A Figura 3.2 descreve o processo de FH por meio de um mecanismo de recombinações sucessivas elétron/lacuna, resultando em reações com água para formação de radicais hidroxilas e reações com o oxigênio para formação de superóxidos. Segundo Montagner et. al., 2005, no processo, os radicais são gerados quando o fotocatalisador é irradiado com energia igual ou superior ao seu *band-gap* (região entre a banda de Valência – BV e a banda de condução – BC), provocando a transferência de seu elétron da banda de valência (BV) para banda de condução (BC), formando um par elétron/lacuna em sua superfície, que reage com a molécula de água (H₂O) por meio de um processo oxidativo formando o radical hidroxila

($\cdot\text{OH}$). Logo, o elétron situado na banda de condução reage com uma molécula de oxigênio (O_2) formando espécies extremamente reativas como peróxidos (H_2O_2) e ânions superóxidos ($\cdot\text{O}_2^-$).

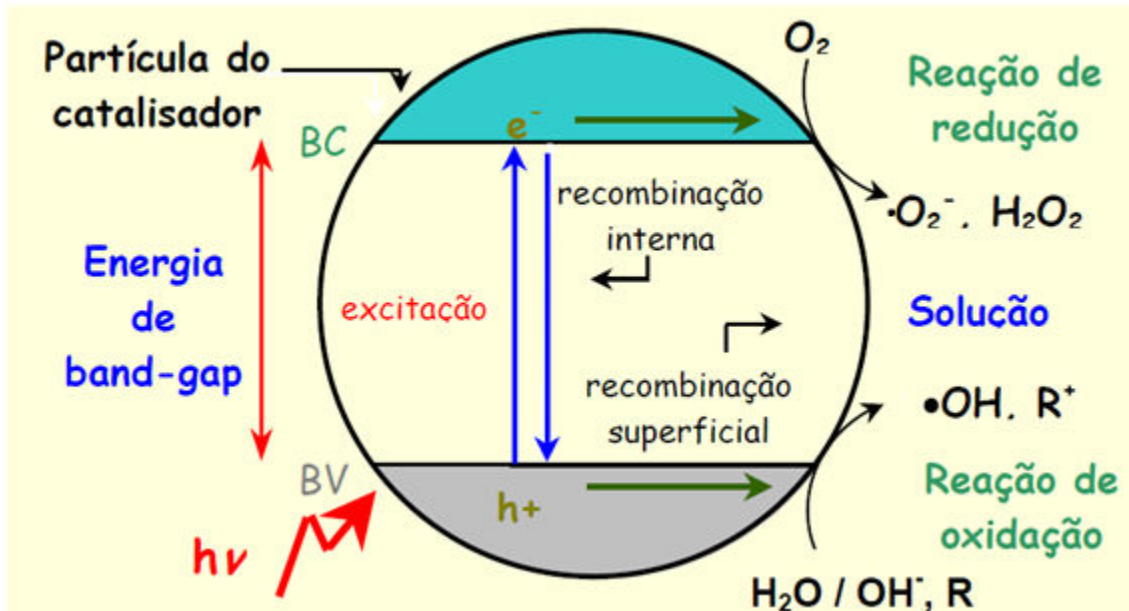


Figura 3.2 - Mecanismo de fotocatalise heterogenea

Fonte: Montagner et. al., 2005 p. 5

Conforme Mourão et. al. (2009), apud. Boudart et. al. (1984), a utilização de semicondutores nanoestruturados evidencia consideráveis melhorias na efetividade do processo dos POA's, que por se tratar de um processo de catálise heterogênea, depende essencialmente da área superficial do semicondutor, característica aguçada em partículas com escala nanométrica.

A maior virtude no tratamento de poluentes orgânicos com a utilização dos POA's deve-se ao fato de que estes geralmente são mineralizados, resultando em CO_2 , ou parcialmente destruídos, inibindo seu potencial nocivo. E conforme Ferreira e Daniel (2004), *"Isto os coloca como uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes."*

3.3.3 Dióxido de titânio TiO_2 , principal semicondutor

O dióxido de titânio (TiO_2) pode se apresentar em três fases cristalinas: a anatase, a rutilo e a brokita; sendo a anatase a forma mais fotoativa (MONTAGNER et. al., 2005). O TiO_2 P-25 fornecido pela Degussa tem sido amplamente utilizado nos estudos de FH/POA's. Para Nogueira (1995), tal fato é caracterizado por sua maior fotoatividade em comparação às demais fontes, consistindo em uma mistura de 70% de anatase e 30% de rutilo. A mistura se

caracteriza como um pó branco e inodoro, área superficial (método BET) $50 \text{ m}^2/\text{g}$, e tamanho médio das partículas 21 nm (FERREIRA e DANIEL, 2004)

Para Nogueira (1995), conforme a Figura 3.3, entre os diversos semicondutores já testados nos processos de FH/POA's, o TiO_2 apresenta-se como o mais fotoativo, possuindo em seu estado ativado uma lacuna com um potencial suficientemente positivo na *banda de valência* - BV para formação do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), e um potencial suficientemente positivo na *banda de condução* - BC para formação ânions superóxidos ($\cdot\text{O}_2^-$), conforme a Figura 3.3 representada abaixo:

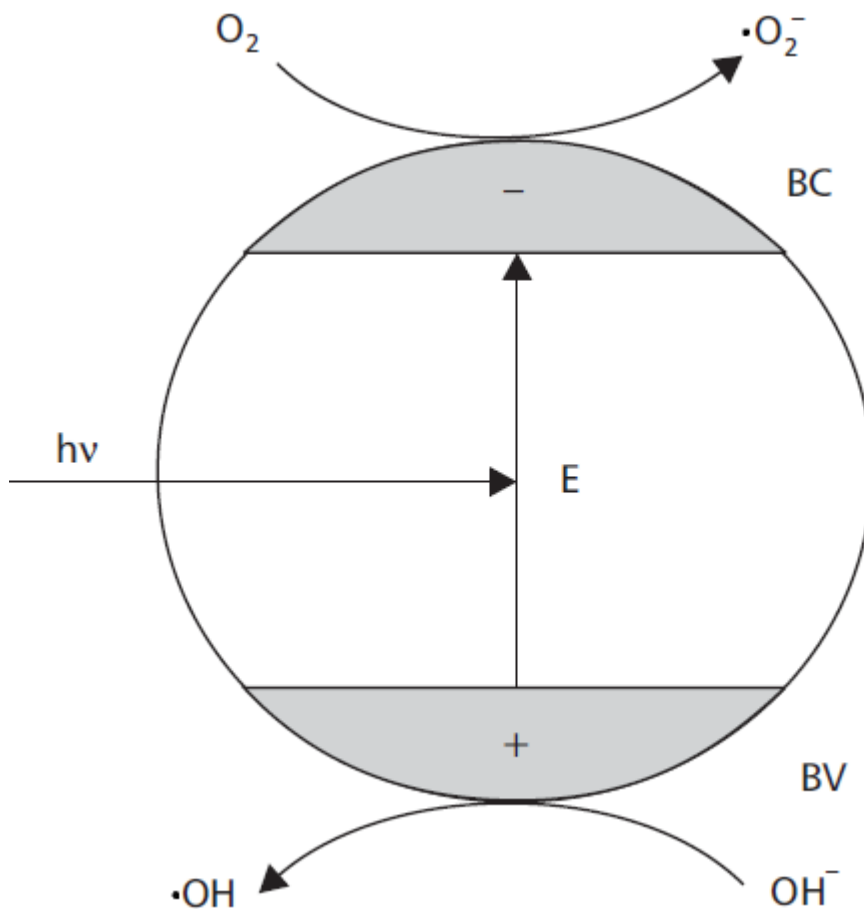


Figura 3.3 – Partícula de um semicondutor fotoativado de TiO_2

Fonte: Nogueira, 1995 p. 8

Segundo Teixeira e Jardim (2004), na ativação do TiO_2 temos a formação de uma configuração eletrônica elétron/lacuna ($e_{\text{BC}}/h_{\text{BV}}$), em contato com algumas espécies químicas, resultam na produção de radicais livres extremamente oxidantes, conforme a descrição dos mecanismos de formação abaixo:

- Fotoativação do semicondutor:



- Reações entre a lacuna da banda de valencia e a água adsorvida:



- Reações entre a lacuna da banda de Valencia e a hidroxila na superfície do semicondutor:



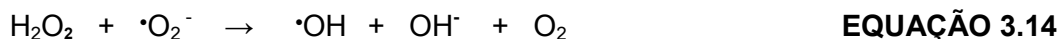
- Formação do íon radical superóxido:



- Formação do peróxido de hidrogênio:



- Geração de radicais hidroxila pela quebra de peróxido de hidrogênio:



Além das consideráveis propriedades fotoativas, o TiO_2 apresenta vantagens como não toxicidade, baixo custo, insolubilidade em água, fotoestabilidade, estabilidade química em uma ampla faixa de pH e possibilidade de ativação pela luz solar, o que reduz os custos do processo (NOGUEIRA, 1995).

Conforme Mourão et. al., (2009), o TiO_2 como fotocatalizador em POA's é ativado por radiação UV, mais especificamente com comprimento de onda < 387 nm, permitindo a sua excitação nas regiões de UVC (200-280 nm), UVB (280-320 nm), UVA (320-380 nm), ou seja, cerca de 3,2 eV, que representa um pequena faixa dentro do amplo espectro eletromagnética da luz solar.

Porém, com uma concepção diferente para Ferreira e Daniel (2004), tais comprimentos de onda possibilitam a utilização da luz solar como fonte de radiação, pois representam aproximadamente 3% do espectro solar que atinge a superfície terrestre.

3.3.4 Ação desinfetante do dióxido de titânio

Em um estudo desenvolvido com a finalidade de investigar a fotocatalise heterogênea com aplicação de TiO_2 ao tratamento de esgoto sanitário secundário, Ferreira e Daniel (2004) realizaram um experimento recirculando esgoto por bombeamento sobre uma placa de vidro recoberta com TiO_2 P-25 Degussa (tamanho médio de partículas em 21 nm e área superficial de aproximadamente $50 \text{ m}^2/\text{g}$). Em sua conclusão, apresentaram o processo como uma alternativa para tratamento de esgoto secundário, eficaz tanto na oxidação da matéria orgânica quanto na desinfecção, destacando sua eficiência como método de desinfecção sem comprometimento do corpo receptor com subprodutos indesejáveis.

Com base no mecanismo de formação de radicais livres, radical hidroxila (OH°) e ânions superóxidos (O_2^-), caracterizados como espécies extremamente oxidantes, de maneira geral há um ataque direto à superfície dos microorganismos, conferindo a ação biocida do processo. Conforme Montagner et. al., (2005), a ação biocida do TiO_2 foi inicialmente reportada em 1985, através de um estudo que demonstrou o decréscimo de coenzima A (CoA) em células tratadas com o semicondutor, propondo que a oxidação da CoA inibe a respiração celular levando a morte do microorganismo.

Conforme Ferreira e Daniel (2004, p. 336), citando Huang et al. (2000), um estudo detalhado sobre o efeito bactericida do TiO_2 em fotocatalise heterogênea caracteriza a inativação bacteriana como: *“danos oxidativos na parede celular; danos na membrana citoplasmática subjacente, o que aumenta, progressivamente, a permeabilidade celular e permite a saída do conteúdo intracelular resultando na morte da célula.”*

Novas pesquisas mostram procedimentos que podem estender a banda de absorção do TiO_2 para a região do visível. Conforme relatado por Mourão et. al. (2009), em trabalho de revisão sobre estratégias de síntese de fotocatalisadores em escala nanométrica, a modificação é baseada na adição de dopantes não-metálicos, tais como Carbono, Nitrogênio e Enxofre.

Dentre as formas de utilização do TiO_2 , diversas pesquisas abordam sua utilização suportada em alguma base. A prática mais comum é a de suportar o material através da utilização do processo sol-gel, que consiste na formação de uma rede polimérica inorgânica a partir de

alcoxidos de titânio. Outra possível aplicação seria a imobilização das nanopartículas de TiO_2 dispersadas na superfície em matrizes poliméricas (MONTAGNER et. al., 2005).

3.4 Potencial utilização da nanotecnologia para desinfecção de esgoto sanitário.

3.4.1 Caracterização da nanotecnologia

A nanotecnologia está revolucionando o mundo com propriedades especiais conferidas a estruturas que apresentam tamanho de um bilionésimo de metros, ou seja, 10^{-9} m, sendo considerada a próxima revolução tecnológica, possuindo a capacidade de gerar novos produtos impactantes no contexto tecnológico mundial (NANUM, 2010).

A possibilidade de se manipular e controlar a síntese de produtos com escala nanométrica, utilizando uma arquitetura molecular, foi prognosticada pelo famoso e visionário físico Richard P. Feynman. Não se tratando simplesmente da criação de novos materiais nanoscópicos, mas tal tecnologia iria desencadear uma revolução no mundo científico (ANDRADE, 2004).

Para Melo e Pimenta (2004), o desenvolvimento de nanomateriais não se aplica ao simples fato de redução de seu tamanho. O desenvolvimento de objetos e dispositivos nanométricos se consagra no fato de que surgem novas e incomuns propriedades físicas e químicas ausentes em sua escala microscópica ou macroscópica. Por exemplo, uma amostra de um material metálico em escalas macro ou micro se apresenta naturalmente como um condutor de eletricidade, podendo se tornar isolante quando em dimensões nanométricas. Em outros casos, um material nanométrico pode se apresentar mais duro que seu similar de maior tamanho.

Segundo Toma (2004), o campo de estudo das N&N é um universo onde todas as ciências se misturam, reunindo tanto químicos, biólogos, médicos, engenheiros, cientistas de materiais, economistas, matemáticos, advogados, ambientalistas, educadores, sociólogos, militares, políticos, jornalistas e filósofos. Logo, *“a nanociência busca entender a razão para essa sutil mudança de comportamento dos materiais, a nanotecnologia busca se aproveitar destas novas propriedades que surgem na escala nanométrica para desenvolver produtos e dispositivos para vários diferentes tipos de aplicações tecnológicas”* (MELO; PIMENTA, 2004, p.10).

Conforme Nanum (2010), os materiais nanoestruturados podem ser derivados de duas linhas básicas: *Top-down* (de cima para baixo, ou seja, sintetizados a partir de matrizes com tamanho convencional, por meio de processos físicos como a moagem) e *Bottom-up* (de baixo para cima, ou seja, o material é construído quimicamente molécula por molécula).

Para Galembeck e Rippel (2004), a associação de nanopartículas à polímeros, resinas, borrachas, entre outros, pode gerar materiais com propriedades diferenciadas caracterizados como “nanocompósitos”. Continuando com Toma (2004), a utilização de N&N nas indústrias para o desenvolvimento de nanocompósitos já é conhecida de longa data, sendo este material inovador já utilizado em diversos seguimentos, entre estes:

- Pela indústria de pneus, que dispersa negro do fumo (nanopartículas de carbono) na borracha, gerando pneus com atributos especiais (maior resistência e durabilidade);
- A “Wilson”, renomada fabricante de bolas de tênis, que já produz bolas a partir de polímero aditivado com nanopartículas, que aumentam a qualidade e durabilidade do produto, sendo estas já utilizadas na “Copa Davis de 2002”;
- A produção de garrafas e embalagens plásticas com maior resistência e leveza, diminuindo a quantidade de plástico utilizado em sua produção e aumentando a vida útil dos produtos envasados nestas, devido à menor difusão de gases;
- Indústria automotiva e aeronáutica substituindo componentes metálicos com peso elevado por plásticos bem menos densos com propriedades mecânicas similares.

Para Roco (2007), na utilização de nanopartículas para o desenvolvimento de nanocompósitos funcionais, o maior desafio é a integração de nanoparticulados de maneira eficaz. Os materiais em nanoescala tendem a agregar-se facilmente, e desta forma, impedir a predominância do efeito causado pelas nanopartículas.

A prática da dispersão dos nanoparticulados é considerada uma barreira, uma vez que as estruturas nanométricas possuem imensas áreas superficiais que tendem a se aglomerarem por ação de energia de superfície e forças de *Van der Waals*, requerendo artifícios físicos e químicos para sua desglomeração e estabilização nestas bases poliméricas. Nanum (2009) descreve que, por meio de processos físicos como o cisalhamento, ou químicos, que envolvem

adição de surfactantes ou funcionalização da superfície da nanopartícula, pode –se garantir a desaglomeração dos nanoparticulados.

3.4.2 Nanotecnologia e os riscos ao meio ambiente

A Nanotecnologia oferece a perspectiva de grandes avanços e está associada a benefícios inestimados. Todavia, é baseada no uso intenso de novos materiais e substâncias químicas, podendo trazer consigo alguns riscos ao meio ambiente e à saúde humana (QUINA, 2004).

Atualmente, existem poucos estudos no meio científico sobre os impactos ambientais e sobre a saúde humana. Conforme Raichur (2009), não se sabe ainda como as nanopartículas afetam o corpo humano, mas acredita-se que as nanopartículas podem passar por diversos obstáculos e atingir os órgãos sensíveis, como o cérebro e o coração, sendo também difíceis de remoção do corpo humano. Além disso, há preocupação sobre os efeitos tóxicos das nanopartículas ao entrarem na cadeia alimentar em função da biomagnificação.

Partículas que não apresentam toxicidade em escala macro ou microscópica, nanoestruturadas requerem novos estudos de toxicidade e de ecotoxicidade, sendo as principais rotas de entrada nos organismos-receptores a absorção celular através da membrana, inalação, ingestão e assimilação através de superfícies epiteliais externas (JARDIM et. al., 2010).

Por ser uma classe de substâncias com escala extremamente pequena, haverá necessidade de estudos específicos para o contexto de saúde pública e ambiental. Segundo Raichur (2009), a causa implica em uma nova linha de estudos mais avançados no campo das N&N, caracterizando-a como “Nanotoxicologia”.

Conforme Jardim et. al., (2010, p. 428):

“Com o aumento das pesquisas nessa área, que abarquem monitoramento ambiental de nanopartículas, será possível avaliar o risco de contaminação por estes materiais, através de cálculos probabilísticos [...] novas legislações devem surgir num futuro próximo indicando valores guia para cada nanomaterial e cada situação, além das novas tecnologias de tratamento para este tipo de resíduo”

Contudo, a nanotecnologia apresenta-se com uma área em ascensão, cabendo aos profissionais da área jurídica buscar informações e bases norteadoras do tema, propiciando a criação de uma legislação eficaz, protegendo os seres vivos e meio ambiente, bem como disciplinar pesquisas e o uso de nanotecnologia (PALMA, 2009).

3.4.3 Nanotecnologias e as perspectivas para a desinfecção de esgoto

Uma preocupação em relação à saúde pública associada aos riscos oferecidos por cargas poluentes alavancam o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento de águas residuárias e redução de poluentes em geral, que buscam, desta forma, uma solução limpa e sustentável para o problema (DANIEL et. al., 2001).

A utilização de nanopartículas com ação biocida na desinfecção de águas contaminadas apresenta-se como um processo eficaz e barato. Castro (2009) menciona que pesquisadores na Irlanda do Norte estão desenvolvendo equipamento para purificar a água em regiões carentes, sendo o processo baseado em fotocatalise heterogênea utilizando dióxido de titânio (TiO₂) nanoestruturado.

Existem diversas tecnologias utilizadas para tratamento de esgotos sanitários, no entanto, a utilização de tais processos que apresentem eficácia de maneira sustentável não é uma realidade nos países em desenvolvimento, fato caracterizado por seu elevado custo de aplicação e operação. Para Grimshaw (2009), a nanotecnologia é uma forte aliada para o referido problema, resolvendo os desafios apresentados na remoção de alguns contaminantes da água, tais como: microorganismos responsáveis pelas doenças de veiculação hídrica; arsênio; mercúrio; pesticidas; entre outros, a remoção de sal contido em águas salobras.

São exemplos destes métodos inovadores para o tratamento nanotecnológico da água:

- membranas seletivas que possam retirar contaminantes ou ainda eliminar o sal da água (ALVES, 2004).
- Nanofiltração utilizando nanotubos de carbono já esta sendo desenvolvida por pesquisadores do Centro Atômico em Mumbai na Índia Segundo (RAICHUR, 2009);
- Nanopartículas magnéticas que se ligam facilmente com contaminantes como o arsênio ou o óleo e depois podem ser removidos com um ímã (GRIMSHAW 2009);
- Potencial desinfecção de águas com a utilização de nano dióxido de titânio e nano prata (Raichur, 2009).

Para Gonçalves et. al. (2003), as espécies geradas nos POA's possuem capacidade de oxidação extrema, que podem gerar um rombo na parede celular de microorganismo

permitindo que ocorra a difusão das espécies oxidantes para outras estruturas internas da célula. Complementando com Daniel et. al. (2001), a propriedade de oxidar um material orgânico como lipoproteínas ou ácidos nucleicos está diretamente relacionada ao potencial de oxidação padrão do desinfetante; e o radical hidroxila (OH°) gerado no processo de FH/POA's tem um dos mais elevados potenciais de oxidação, sendo 25% maior que o do O_3 .

Raichur (2009) garante que entre os artificios nanotecnológicos para o tratamento de águas, o TiO_2 nanoestruturado apresenta-se como um dos principais, degradando os poluentes até sua mineralização. Outro ponto relevante citado pelo pesquisador é fato de poder fixá-lo em matriz, ou seja, imobilizá-lo em materiais adequados, tais como aço ou folhas de polímero, que por sua vez podem ser facilmente inseridos e retirados tanques com água a ser tratada.

3.4.4 Incentivos à nanotecnologia no Brasil

Em 02 de dezembro de 2004 foi sancionada a lei nº 10.973, que estabelece em seu artigo 1º “medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, com vistas ao alcance da autonomia tecnológica e ao desenvolvimento industrial do país”.

Entretanto, para Silva (2004), o incentivo aos estudos de N&N começaram no Brasil desde a “*Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação*” realizada em 2001. Logo após o evento, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) lançou suas redes de nanociência e nanotecnologia e o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) iniciou o financiamento de um Instituto do Milênio de Nanociências.

Nanum (2010), relatando dados divulgados pelo NAE (Núcleo de Assuntos Estratégicos) da Presidência da República, prevê uma movimentação do mercado nanotecnológico próxima de cem milhões de dólares entre 2010 a 2015 no país.

Para Fernandes e Filgueiras (2008, p. 2011):

Atualmente, pode-se citar uma série de instrumentos do governo federal que visam fortalecer o potencial inovador brasileiro não só em N&N, mas também em diversos outros campos. O CNPq e a Finep têm lançado editais voltados ao desenvolvimento tecnológico de produtos, processos ou serviços, à cooperação entre instituições de pesquisa e o setor produtivo, às incubadoras de empresas etc.

A Finep/MCT teve um edital aberto que se finalizou no dia vinte quatro de março de 2010, publicando uma proposta para o apoio à atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e/ou protótipos industriais, processos ou serviços baseados em nanotecnologia. O edital teve recursos não reembolsáveis de até R\$ 15 milhões, destinados à empresas brasileiras, públicas ou privadas, e grupos de pesquisa pertencentes a Instituições Científicas e Tecnológicas, atuantes na área (FINEP, 2010).

Para Fernandes e Filgueiras (2008), o Brasil ainda apresenta-se carente em inovações tecnológicas. Entretanto, o discurso pró-inovação em N&N já é uma realidade; e apesar de não de caracterizar a prática, aos poucos leva uma mudança de postura, aproximando os setores acadêmico e industrial.

O incentivo por parte do governo ao desenvolvimento de estudos no campo das N&N deve levar em consideração a sustentabilidade. Conforme Machado (2009), a aplicação do tempo em refletir e discutir, no intuito de decidir o que fazer e quais serão as consequências, não se pactua com um ato aventureiro, que age de forma irresponsável, não se importando com os resultados, que podem acarretar efeitos prejudiciais para os seres humanos, a fauna e a flora.

ANALISE CRÍTICA DA LITERATURA

Atualmente, a água de boa qualidade vem se apresentando como um bem de consumo extremamente escasso, sendo motivo de disputa por várias nações e levando pesquisadores a prognosticarem uma crise mundial relacionada à falta de água de boa qualidade. Todavia, o que assistimos é a poluição e degradação dos corpos d'água e aquíferos de maneira crescente em escala mundial.

De acordo com recentes pesquisas realizadas pelo IBGE no ano de 2008, a grande maioria dos municípios brasileiros despeja o esgoto sanitário em cursos d'água sem qualquer tratamento. Na maioria das vezes, quando tratado, conforme Gonçalves (2003), o processo tem ênfase na diminuição da carga orgânica, podendo sofrer adaptação para remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, apresentando neste contexto uma real eficiência, porém insuficiente na inativação de organismos patogênicos e seus indicadores.

Existem diversos métodos de desinfecção de esgoto sanitário, sendo os POA's tendo como semicondutor o TiO_2 nanoparticulado, aplicado aos processos de Fotocatálise Heterogênea (FH)_ extremamente eficientes em processos de desinfecção, atuando de forma sustentável. Conforme relatado no trabalho desenvolvido por Ferreira e Daniel (2004), o método atua como uma considerável alternativa para o processo de desinfecção de esgoto, destacando sua eficiência para inativação de microorganismos, sem comprometimento do corpo receptor com subprodutos indesejáveis.

A utilização do TiO_2 nanoparticulado como semicondutor em POA's – FH tem sido a mais referenciada em relação aos demais catalisadores, uma vez que além de possuir excelentes propriedades fotoativas, traz vantagens como a não toxicidade, baixo custo, insolubilidade em água, fotoestabilidade, estabilidade química em uma ampla faixa de pH e possibilidade de ativação pela luz solar (NOGUEIRA, 1995; FERREIRA e DANIEL, 2004; BAIRD, 2004). Entretanto, para Jardim et. al., (2010), nanoestruturadas requerem novos estudos de toxicidade e de ecotoxicidade, sendo as principais rotas de entrada nos organismos-receptores a absorção celular através da membrana, inalação, ingestão a assimilação através de superfícies epiteliais externas (JARDIM et. al., 2010).

Em relação à efetividade do processo por fotoativação do TiO_2 em presença de luz natural, existem pontos de vista distintos, em que alguns pesquisadores destacam a eficiência do

processo em presença da luz solar, ressaltando como um ponto positivo no que se refere à custos operacionais. Entretanto, outros que alegam que a faixa do espectro absorvida é muito pequena.

O governo brasileiro nos últimos anos vem oferecendo grandes incentivos à pesquisa e desenvolvimento de inovações tecnológicas no campo das N&N, A Finep/MCT teve um edital aberto que se finalizou no dia vinte quatro de março de 2010, publicando uma proposta para o apoio à atividades de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e/ou protótipos industriais, processos ou serviços baseados em nanotecnologia. O edital teve recursos não reembolsáveis de até R\$ 15 milhões, destinados à empresas brasileiras, públicas ou privadas, e grupos de pesquisa pertencentes a Instituições Científicas e Tecnológicas, atuantes na área (FINEP, 2010). Entretanto, para Fernandes e Filgueiras (2008), o Brasil ainda apresenta-se carente em inovações tecnológicas. Entretanto, o discurso pró-inovação em N&N já é uma realidade; e apesar de não de caracterizar a prática, aos poucos leva uma mudança de postura, aproximando os setores acadêmico e industrial.

CONCLUSÃO

Com base nos dados oferecidos neste trabalho, concluí-se que, o método de FH-POA's à base de TiO_2 , aliado à nanotecnologia, apresenta potencial como uma alternativa de baixo custo e elevada eficácia para a desinfecção de esgoto sanitário, caracterizando-se ainda, como uma tecnologia limpa que não dá origem à subprodutos deletérios. Entretanto, por se tratar de uma recente tecnologia baseada em pequenas escalas desenvolvidas em laboratórios, deve-se ainda, haver uma melhor qualificação e quantificação dos resultados advindos do processo desinfecção utilizando protótipos em maior escala. Outro ponto de extrema relevância é a necessidade de um estudo paulatino sobre os possíveis impactos ao meio ambiente e saúde humana, relacionados à utilização de nanopartículas de TiO_2 no processo de desinfecção de esgoto sanitário.

Atualmente existe um grande incentivo por parte do governo brasileiro no desenvolvimento de tecnologias no campo das N&N, onde a Finep/MCT, oferece subsídios destinados a empresas brasileiras, públicas ou privadas, e grupos de pesquisa pertencentes a Instituições Científicas e Tecnológicas. Logo, em função de tais incentivos oferecidos em nosso país, o que se pode notar é uma carência em estudos e pesquisas correlacionando a aplicação de nanotecnologias aliadas ao tratamento de águas contaminadas ou mesmo na otimização dos processos já existentes de tratamento de águas para abastecimento e consumo humano.

Neste contexto, este trabalho aponta a necessidade de maiores investigações sobre o potencial da aplicação da nanotecnologia aliada à FH como método eficiente e de baixo custo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANDRADE M. S. **Parcerias estratégicas em nanotecnologia: a experiência da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais.** Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos N° 18. Brasília, DF: CGEE, 2004. p. 61-71
- ALVES, O. L. **Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo.** Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos N° 18. Brasília, DF: CGEE, 2004. p. 23-40
- BAIRD, C. **Química ambiental.** 2° ed. Porto Alegre, RS: Editora Bookman, 2004. 622 p.
- BRASIL, Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004
- CASTRO, F. **Sol para água limpa.** Agencia FAPESP, publicado em: 2 de mar. 2009. Disponível em: <<http://www.agencia.fapesp.br/materia/10156/especiais/sol-para-agua-limpa.htm>>. Acesso em: 5 de mar. 2009.
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Ministerio do Meio Ambiente. *Resolucao no 357*, de 17 mar. 2005.
- DANIEL, L. A. *et. al.* (Coord.). **Métodos Alternativos de desinfecção de água.** Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2001. 139 p
- FERNANDES, M. F. M.; FILGUEIRAS C. A. L. **Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios).** São Paulo, SP: Revista Química Nova, V. 31 N° 8, 2008 p.2205-2213 Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n8/50.pdf>>. Acesso em: 15 de mai. 2010
- FERREIRA, I. V. L.; DANIEL L. A. **Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário.** Rio de Janeiro, RJ: Eng. Sanit. Ambient. vol.9 N°4, 2004 p. 335-342. Apud: HUANG, Z. et al. **Bactericidal mode of titanium dioxide photocatalysis.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v.130, n.2- 3, p.163-70, Jan. 2000.
- FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos. **Chamada pública mct/finep/ação transversal – nanotecnologia – 5/2009.** Disponível em: <http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/acao_transversal/editais/Nano%202009%20vers%C3%A3o%20final.pdf>. Acesso em: 15 de mai. 2010
- FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2006. 427 p
- GALEMBECK, F.; RIPPEL, M. M. **Nanocompósitos poliméricos e nanofármacos: fatos, oportunidades e estratégias.** Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos N° 18. Brasília, DF: CGEE, 2004. P. 41-60
- GONÇALVES, R. F. *et. al.*, (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patógenos e substâncias nocivas. Aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia.** Rio de Janeiro, RJ: ABES 2003. 438 p.
- GRIMSHAW, D. **Nanoscale water treatment needs innovative engineering.** Science and Development Network. 2009. Disponível em: <<http://www.scidev.net/en/new-technologies/nanotechnology-for-clean-water/features/nanotechnology-for-clean-water-facts-and-figures.html>>. Acesso em: 15 de mai. 2010.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *et. al.*(Orgs). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2006. 859 p

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PNSB 2008: Abastecimento de água chega a 99,4% dos municípios, coleta de lixo a 100%, e rede de esgoto a 55,2%.**

Disponível em: <

http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1>. Acesso em 20 de fevereiro de 2011

JARDIM, F.W.; PASCHOALINO, M. P.; MARCONE, G. P. S. **Os nanomateriais e a questão ambiental**. São Paulo, SP: Revista Química Nova, V. 33 N° , 2010 p. 421-430

Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v33n2/33.pdf> >. Acesso em: 15 de janeiro. 2011

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2° ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008. 444 p

MACHADO, P. A. L. **Direito Ambiental Brasileiro**. 17ª ed. São Paulo, SP: Malheiros, 2009. 1136 p.

MELO, C. P. ; PIMENTA, M. **Nanociências e nanotecnologia** (texto contido). Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos N° 18. Brasília, DF: CGEE, 2004. 9-21 p. Disponível em: < http://www.cgee.org.br/arquivos/pe_18.pdf > Acesso em: 20 de fevereiro de 2011.

MONTAGNER, C. C.; PASCHOALINO, M. P., JARDIM, W. F. **Aplicação da fotocatalise Heterogênea na desinfecção de água e ar**. Campinas, SP: UNICAMP;IQ:LQA, 2005. 16p

Disponível em: <<http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno4.pdf>>. Acesso em: 15 de mar. 2009.

MOURÃO, H. A. J. L.; MENDONÇA, V. R.; MALAGUTTI, A. R.; RIBEIRO, C.

Nanoestruturas em fotocatalise: uma revisão sobre estratégias de síntese de fotocatalisadores em escala nanométrica. São Paulo, SP: Revista Química Nova, V. 32 N° 8, 2009 p. 2181-2190 Apud: z', BOUDART, M.; DJEGA-MARIADASSON, G. **Kinetics of Heterogeneous Catalytic Reactions**, Princeton University Press: Princeton, 1984, 1a ed.

Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000800032&script=sci_arttext >. Acesso em: 15 de mai. 2010

NANUM NANOTECNOLOGIA S/A. **Nanotecnologia**. Disponível em:

<<http://www.nanum.com.br/interna.php?area=textos&idIdioma=1&escolha=nanotecnologia>>. Acesso em: 1 de dez. 2010.

NOGUEIRA, R. F. P. **Fotodestruição de compostos potencialmente tóxicos utilizando TiO₂ e luz solar**. Tese de Doutorado. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 87p 1995.

PÁDUA, V. L. *et. al.*, (Coord.). **Remocao de microorganismos emergentes e microcontaminantes organicos no tratamento de agua para consumo humano**. Rio de janeiro, RJ: ABES 2009. 392 p.

PALMA, C. M. **Fundamentos para a regulamentação da nanotecnologia no Brasil: uma abordagem jurídico-ambiental sobre o conteúdo da análise de riscos**. Revista de Direito Ambiental. São Paulo, SP: Revista dos Tribunais, n. 55, jul./set. 2009 p. 15-24 Disponível

< <http://www.diritto.it/pdf/28169.pdf> > Acesso em: 20 de mai. 2010

QUINA, F. H. **Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos**. São Paulo, SP: Revista Química Nova, V. 27 N° 6, 200 p. 1029-2004 Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000600031>. Acesso em: 15 de mai. 2010

RAICHUR, A. **Nanoscale water treatment needs innovative engineering**. Science and Development Network. 2009. Disponível em: < <http://www.scidev.net/en/new-technologies/nanotechnology-for-clean-water/opinions/nanoscale-water-treatment-needs-innovative-engineer.html> >. Acesso em: 15 de mai. 2010.

ROCCO, A. M. **Nanocompósitos Poliméricos** In: 2º Escola de Nanociências e Nanotecnologia da UFRJ. Rio de Janeiro, RJ: Auditório da COPPE/UFRJ, 2007 Disponível em: <http://www.metalmat.ufrj.br/escolanano/Nanocompositos_polimericos_AnaMariaRocco.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2009.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre, RS: Editora Bookman, 2004. 154 p

RODRIGUES, C. P.; ZIOLLI, R. L.; GUIMARÃES, J. R.; FIGUEREDO, R. F. **Descontaminação bacteriológica de água de abastecimento por meio de fotocatalise heterogênea utilizando luz solar**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental, 2000. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental, 2000. Disponível em: <<http://www.ingenieroambiental.com/2info/descluzsolar.pdf>>. Acesso em: 5 de mar. 2009.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; VIERA, E. M. **Agentes desinfectantes alternativos para o tratamento de água. Química Nova na Escola**. Nº 17, mai. 2003. Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/pdf/roteiro_aluno/experimento6.pdf>. Acesso em: 5 de mar. 2009.

SILVA, C. G. **Nanotecnologia: o desafio nacional**. Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Nº 18. Brasília, DF: CGEE, 2004. p. 5-8

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. **Processos Oxidativos Avançados Conceitos Teóricos**. Campinas, SP: UNICAMP; IQ: LQA, 2004. 16p Disponível em: < <http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf> >. Acesso em: 15 de mar. 2009.

THOMA, H. E. **O mundo nanométrico: a dimensão do novo século**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2004. 104 p.

VON SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3º ed. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p

ZORATTO, A. C. **A importância do tratamento de esgoto doméstico no saneamento básico**. In: II FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 10, 2006, Tupã. Disponível em: <<http://www.amigosdanatureza.org.br/noticias/306/trabalhos/126.AU-8.pdf>>. Acesso em: 10 de mar. 2009.