

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM  
ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

EURIVAN ALVES MENDONÇA

**DISPOSIÇÃO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
INDUSTRIAL EM SOLO VEGETADO COM BAMBU**

GOIÂNIA  
2010

EURIVAN ALVES MENDONÇA

**DISPOSIÇÃO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
INDUSTRIAL EM SOLO VEGETADO COM BAMBU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente. Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Dr. Rogério de Araújo Almeida.

GOIÂNIA

2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**GPT/BC/UFG**

M539d Mendonça, Eurivan Alves.  
Disposição de efluente de tratamento de esgoto industrial em solo vegetado com bambu [manuscrito] / Eurivan Alves Mendonça. – 2010.

127 f. : il. Color, figs, qds, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rogério de Araújo Almeida.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2010.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras e tabelas.

1. Engenharia sanitária - efluentes. 2. Esgoto industrial – tratamento 3. Bambu - fitorremediação. I. Título.

CDU: 628.35

“Contei meus anos e descobri que terei menos tempo para viver daqui pra frente do que já vivi até agora.  
Tenho muito mais passado do que futuro.  
Sinto-me como aquele menino que ganhou uma bacia de jabuticaba.  
As primeiras ele chupa displicente, mas percebendo que faltam poucas, róí o caroço.  
Não tenho tempo para lidar com mediocridade.  
Não quero estar em reuniões onde prevalecem os egos inflados.  
Inquieto-me com os invejosos tentando destruir quem eles admiram, cobiçando os seus lugares, talento e sorte.  
Já não tenho tempo para conversas intermináveis que discutem assuntos inúteis sobre a vida alheia que nem fazem parte da minha.  
Já não tenho tempo para administrar melindres de pessoas que apesar da idade cronológica são imaturos.  
Detesto fazer acareação de desafetos que brigaram pelo majestoso cargo de secretário geral do coral... As pessoas não debatem conteúdos apenas os rótulos.  
Meu tempo se tornou escasso para debater rótulos, quero a essência, minha alma tem pressa.  
Sem muitas jabuticabas na bacia, quero viver ao lado de gente humana, muito humana, que sabe rir dos seus tropeços, não se encanta com triunfos, não se considera eleita antes da hora, não foge da sua mortalidade...  
Só há que caminhar perto de coisas e pessoas de verdade.  
O essencial faz a vida valer a pena.  
E para mim basta o Essencial.”

Mário de Andrade “O valioso tempo dos maduros”

“Já aprendi a contentar-me com o que tenho. Sei estar abatido e sei ter abundância; em toda a maneira e em todas as coisas estar instruído, tanto a ter fartura como a ter fome; tanto a ter abundância como a padecer necessidade. Posso todas as coisas naquele que me fortalece.”

(Paulo-Filipenses 4:11-13)

De forma muito especial dedico este trabalho:

A Deus!  
Meu Mestre maior!

Aos meus Pais, “in memoriam”.  
Sem os seus esforços e paciência eu não chegaria até aqui!

À minha esposa, Neusa Maria.  
Pelo amor, paciência e entendimento para que eu  
concluísse este estudo.

Ao meu Orientador.  
Meu reconhecimento eterno por tudo que fez e pela sua  
amizade!

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que está comigo e por me proporcionar sabedoria, paciência e saúde para a realização deste trabalho.

À minha esposa Neusa Maria, pela paciência e horas de companhia nas inúmeras madrugadas.

Ao meu orientador e amigo professor Rogério, pela motivação, apoio para superar os mil obstáculos que surgiram, além dos ensinamentos na aprendizagem sobre tratamento de esgoto com plantas, sem os quais eu não teria conseguido.

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

À Goiás Industrial S.A. ETE – Distrito Industrial de Senador Canedo – GO, em especial ao Jacob, pelos conselhos e informações que muito me ajudaram.

Às minhas filhas, Eng<sup>a</sup> Civil Ana Carolina e Arqt<sup>a</sup> Fernanda e aos meus filhos Victor e Bruno pelo “vai Pai...”

Ao Stephan e sua equipe pelo apoio na instalação do experimento.

Ao Rodrigo e sua equipe do laboratório de análises físico-químicas da SEMARH – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Ao Roberto, da Embambu, pelos ensinamentos, auxílio no manejo do bambu e apoio nas atividades desenvolvidas na EPTEP – Estação de Pesquisa em Tratamento de Esgoto por Plantas.

À bióloga e amiga Lorena Abrantes, pela referência, apoio e contribuição neste trabalho.

Aos amigos e colegas de mestrado, pelo companheirismo e várias horas de estudo e quase nada de descontração.

Aos professores do PPGEMA – Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente.

À Deuzélia, da Secretaria do PPGEMA, pela torcida e pela força.

Meu reconhecimento e sinceros agradecimentos.

## RESUMO

MENDONÇA, E. A. Disposição de efluente de tratamento de esgoto industrial em solo vegetado com bambu. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

Este estudo objetivou avaliar a eficiência das espécies de bambu *Guadua angustifolia* Kunth, *Guadua chacoensis* e *Dendrocalamus giganteus* Munro, no tratamento do efluente da estação de tratamento de esgotos do Distrito Industrial de Senador Canedo, GO. Analisou-se a aplicação das lâminas diárias de efluente de 176,8; 212,2; 247,6 e 353,7 mm em tambores individuais de 200 Litros preenchidos com solo da região (latossolo vermelho distrófico) e vegetados com bambu. Tambores sem plantas serviram de testemunhas. O efluente tratado nos tambores foi analisado quanto à demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio (DQO), cor aparente, pH, nitrogênio amoniacal, fosfatos, turbidez, cloretos, dureza, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais voláteis, sólidos totais fixos e coliformes termotolerantes, por um período de cinco meses. Os resultados foram submetidos aos testes F e de Tukey-Kramer (5% de probabilidade). Os tratamentos com bambu foram mais eficientes na remoção dos parâmetros DBO, DQO, pH, oxigênio dissolvido, cor, sólidos totais, sólidos fixos, coliformes termotolerantes, cloretos, turbidez, condutividade elétrica, fosfatos e nitrogênio amoniacal que a testemunha sem planta. Os bambus do gênero *Guadua* foram mais eficientes na remoção de DBO, DQO, coliformes termotolerantes e sólidos voláteis que o tratamento com *D. giganteus*. Observou-se que as taxas de aplicação não tiveram influência significativa nas eficiências do tratamento. Também se avaliaram as espécies de bambu em condições de campo, submetidas à aplicação de uma lâmina diária de 353,7 mm de efluente por um período de um ano. Coletaram-se amostras da água do lençol freático com a finalidade de verificar a ocorrência de contaminação decorrente da aplicação do efluente. Não foi observada contaminação do lençol freático pela aplicação do efluente no solo vegetado com bambu.

**Palavras-chave:** Efluentes, tratamento, fitoremediação.



## ABSTRACT

MENDONÇA, E. A. Industrial sewage treatment effluent disposal in soil vegetated with bamboo. 2010. 127 f. Dissertation (Masters in Environmental Engineering) — Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brazil, 2010.

This study aimed to evaluate the efficiency of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth, *Guadua chacoensis* and *Dendrocalamus giganteus* Munro in the treatment of the Senador Canedo Industrial District Sewer Treatment effluent. It was analyzed diary effluent slides of 176.8, 212.2, 247.6 and 353.7 mm applied in individual 200 L drums filled with regional soil (oxisoil) and vegetated with bamboo. Drums without plants served as control. The effluent treated by the containers was analyzed for biochemical oxygen demand (BOD), dissolved oxygen, chemical oxygen demand (COD), apparent color, pH, ammonium nitrogen, phosphates, turbidity, chlorides, hardness, electrical conductivity, total solids, dissolved total solids, volatile total solids, fixed total solids and coliforms, during a five month period. The results were analyzed by *Statistical Analysis System Program (SAS)* through F test and Tukey-Kramer test (5% of probability). Treatment using bamboo were more efficient than control in removing BOD, COD, pH, dissolved oxygen, apparent color, total solids, fixed solids, coliforms, chlorides, turbidity, electrical conductivity, phosphates and ammonium nitrogen. Among vegetated drums, bamboos of *Guadua* gender were more efficient in removing BOD, COD, coliforms and volatile solids than units with *D. giganteus*. Application rates had no significant influence on treatment efficiencies. It was also evaluated the bamboo species under field conditions, submitted to a diary effluent slide of 353.7 mm for a period of one year. Samples of groundwater were collected to verify some resultant contamination from the effluent application. It wasn't observed groundwater contamination by applying effluent at soil vegetated with bamboo.

**Key words:** Effluents, treatment, phytoremediation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Método de escoamento superficial.....	53
Figura 02	Método de infiltração lenta .....	54
Figura 03	Método de infiltração rápida.....	54
Figura 04	Partes constituintes da planta do bambu.....	62
Figura 05	Diferentes tipos de rizomas de bambu.....	63
Figura 06	Folhas do bambu.....	64
Figura 07	Estação de Pesquisa de Tratamento de Efluentes com Planta – EPTEP..	70
Figura 08	Estação de Tratamento de Resíduos Industriais – ETDI. a) Entrada da Estação. Peneira autolimpante; b) Decantadores primários; c) Tanque de homogeneização; d) Tanque de aeração (ar difuso); e) Decantador secundário; f) Caixa de saída. Local de captação do efluente para a pesquisa. ....	72
Figura 09	Esquema das linhas de distribuição dos tambores na área de pesquisa....	74
Figura 10	Esquema do módulo de tratamento de efluentes com bambu.....	75
Figura 11	Sequência do detalhe construtivo da tubulação de entrada e saída.....	76
Figura 12	Módulo de tratamento com solo vegetado com bambu em operação.....	76
Figura 13	Distribuição dos tambores com plantas.....	77
Figura 14	Vista interna da caixa de passagem na saída da ETE e local de captação dos efluentes para as unidades de pesquisas.....	78
Figura 15	Quadro elétrico e motobomba para alimentação da EPTEP.....	78
Figura 16	Detalhe da torneira de controle de aplicação no tambor.....	79
Figura 17	Momento de coleta de amostras de efluentes nos tambores.....	81
Figura 18	Coleta de amostra na saída da torneira do tambor.....	81
Figura 19	Coleta dos efluentes brutos na entrada da ETE.....	82
Figura 20	Coleta dos efluentes tratados emitidos na saída da ETE.....	83
Figura 21	Coleta dos efluentes tratados com bambu na EPTEP.....	83
Figura 22	Desenho esquemático de uma parcela do plantio de bambu a campo.....	85
Figura 23	Bambus cultivados em solo irrigado com efluente da estação de tratamento de esgotos do Distrito Industrial de Senador Canedo-GO.....	86
Figura 24	Detalhe do equipamento de irrigação empregado na aplicação do efluente no solo vegetado com bambu.....	86
Figura 25	Material utilizado na coleta de amostras de água dos poços de	

	monitoramento da área vegetada com bambu.....	
Figura 26	Equipamento utilizado e coleta de amostra concluída em um dos poços de monitoramento do lençol freático da área vegetada com bambu submetida à aplicação de efluentes da ETE Industrial de Senador Canedo-GO.....	88
Figura 27	Problemas na ETE – Detalhe da peneira paralisada.....	115

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01	Distribuição regional dos défices em saneamento básico no Brasil.....	33
Quadro 02	Condições e padrões para corpos d'água determinados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama.....	35
Quadro 03	Municípios goianos em que se localizam os Distritos Industriais.....	39
Quadro 04	Delineamento do experimento de campo apresentando a posição das três espécies de bambu e testemunhas.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Sistemas de água e esgoto em operação em Goiás em diferentes anos.....	36
Tabela 02	Ligações de esgoto por categoria em Goiás em diferentes anos.....	37
Tabela 03	Distribuição do consumo de água na Indústria por atividade.....	46
Tabela 04	Principais diferenças entre bambus.....	61
Tabela 05	Demonstrativo da datas das coletas.....	84
Tabela 06	Métodos de determinação das variáveis físico-químicas .....	89
Tabela 07	Médias de variáveis meteorológicas gerais.....	90
Tabela 08	Variáveis meteorológicas durante o período do experimento em 2009..	91
Tabela 09	Composição físico-química e bacteriológica do efluente bruto na entrada da ETE industrial.....	92
Tabela 10	Composição físico-química e bacteriológica do efluente tratado na saída da ETE industrial .....	93
Tabela 11	Eficiência comparada dos efluentes da ETE brutos e tratados.....	93
Tabela 12	Valores médios dos efluentes tratados nas quatro taxas de aplicação ...	97
Tabela 13	Médias, eficiência percentual e estatísticas de remoção dos atributos dos efluentes industriais.....	98
Tabela 14	Avaliação estatística das taxas de aplicações adotadas na pesquisa.....	99
Tabela 15	Resultados e eficiência de remoção dos atributos da <i>G. angustifolia</i> ....	100
Tabela 16	Resultados e eficiência de remoção dos atributos da <i>G. chacoensis</i> .....	100
Tabela 17	Resultados e eficiência de remoção dos atributos da <i>D. giganteus</i> .....	101
Tabela 18	Resultados e eficiência de remoção dos atributos do testemunha – solo .....	101
Tabela 19	Resultados das análises da qualidade das águas do lençol freático na área irrigada com efluentes industriais.....	102

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cel: Célula

CF: Coliformes Fecais

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

COND: Condutividade

CT: Coliformes Totais

CTT: Coliformes Termotolerantes

CV: Coeficiente de Variação

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ )

DBO<sub>5</sub>: Demanda Bioquímica de Oxigênio, medida a cinco dias e 20°C ( $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ )

DMS: Diferença Mínima Significativa

DQO: Demanda Química de Oxigênio ( $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ )

DUR: Dureza

*E. coli: Escherichia coli*

ECA: Evaporação do tanque “Classe A”

EPA: *Environmental Protection Agency*

EPTEP: Estação de Pesquisas em Tratamento de Efluentes com Plantas

ETAR: Estação de Tratamento de Águas Residuárias

ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais

ETE: Estação de Tratamento de Efluentes

EVAP: Evaporação à sombra fornecida pelo evaporímetro de Piche

FOSF: Fosfatos

hab: Habitante

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MP: Metais Pesados

N. AMON: Nitrogênio Amoniacal

NMP: Número mais provável

OD: Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ )

pH: Potencial Hidrogeniônico

PRECIP: Precipitação

S/A: Sociedade Anônima

SANEAGO: Saneamento de Goiás S.A.

SAS: *Statistical Analysis System*

SCN: Senador Canedo

SEMARH: Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos

SF: Sólidos Fixos

sp.: uma espécie de determinado gênero

spp: várias espécies

SS: Sólidos Sedimentáveis

ST: Sólidos Totais

STD: Sólidos Totais Dissolvidos

SV: Sólidos Voláteis

TEMP: Temperatura

TURB: Turbidez

uC: Unidade de Cor

UFG: Universidade Federal de Goiás

UNT: Unidade Nefelométrica de Turbidez

UR: Umidade Relativa

US: *United States*

USEPA: *United States Environmental Protection Agency*

uT: Unidade de Turbidez

## LISTA DE SÍMBOLOS

%: Percentagem

<: Menor

>: Maior

§: Inciso

μg: Micrograma

μm: Micrometro

μS: Micro Siemens

Ag: Prata

As: Arsênio

B: Boro

Ba: Bário

C: Carbono

C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH: Fenol

Ca<sup>2+</sup>: Cátion ou Íon Cálcio

CaCO<sub>3</sub>: Carbonato de Cálcio

Cd: Cádmiio

Ce: Concentração de entrada

CH<sub>4</sub>: Metano

Cl<sup>-</sup>: Ânion Cloreto

Cl: Cloro

cm: Centímetro

CN: Cianeto

Co: Cobalto

Cr: Cromo

Cs: Concentração de saída

Cu: Cobre

E (%): Eficiência Percentual

e<sup>-</sup>: Elétron

Eh: Potencial redox

F: Fluoreto

Fe: Ferro

Fe<sup>2+</sup>: Íon ferroso



Fe<sup>3+</sup>: Íon férrico  
H: Altura  
h: Hora  
H<sub>2</sub>S: Gás sulfídrico  
Hg: Mercúrio  
km: Quilômetro  
L: Litro  
m: Metro  
m<sup>2</sup>: Metro quadrado  
m<sup>3</sup>: Metro cúbico  
mg: Miligrama  
Mg<sup>2+</sup>: Cátion Magnésio  
mL: Mililitro  
mm: Milímetro  
mm<sup>3</sup>: Milímetro cúbico  
Mn: Manganês  
Mn<sup>2+</sup>: Íon manganês  
Mn<sup>2+</sup>: Manganês II (Manganoso)  
Mn<sup>4+</sup>: Manganês IV (Mangânico)  
mV: Milivolt  
N: Nitrogênio  
NH<sub>3</sub>: Amônia  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Íon amônio  
Ni: Níquel  
NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: Nitrito  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitrato  
Ø: Diâmetro  
O<sub>2</sub>: Oxigênio  
°C: Grau Celsius ou centígrado  
P: Fósforo  
Pb: Chumbo  
PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: Fosfato  
Pt: Platina  
R: Raio maior

r: Raio menor

s: Segundo

S: Sulfeto

$S_2^-$ : Íon sulfeto

Se: Selênio

Sn: Estanho

$SO_4^{2-}$ : Sulfato

Zn: Zinco

$\pi$ : Pi

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	22
1.2 JUSTIFICATIVA .....	25
1.3 OBJETIVOS .....	26
1.3.1 Objetivo Geral .....	26
1.3.2 Objetivos Específicos .....	26
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	27
2.1 RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO.....	27
2.1.1 Legislação Ambiental .....	34
2.2 POLÍTICAS PÚBLICAS DE SANEAMENTO EM GOIÁS .....	36
2.2.1 Desenvolvimento industrial em Goiás.....	38
2.3 SISTEMAS SIMPLIFICADOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	39
2.4 ESGOTOS E EFLUENTES INDUSTRIAIS .....	40
2.4.1 Usos da água na indústria e influências.....	44
2.4.2 Características dos Efluentes Industriais .....	46
2.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	50
2.5.1 Tratamento biológico de efluentes .....	52
2.5.2 Disposição de efluentes no Solo.....	52
2.5.2.1 Escoamento Superficial .....	53
2.5.2.2 Infiltração Lenta ou Irrigação .....	54
2.5.2.3 Infiltração Rápida .....	54
2.5.2.4 Infiltração Subsuperficial .....	55
2.6 APLICAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA AGRICULTURA/SOLO .....	55
2.6.1 Tratamento de Esgotos/Efluentes com Plantas.....	58
2.7 BAMBU .....	60
2.7.1 <i>Espécies de Bambu Utilizadas na Pesquisa</i> .....	66
2.7.2 Tratamento de Efluentes com Bambu. ....	68
2.7.3 Trabalhos de Pesquisas Desenvolvidos por outras Instituições.....	69
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	70
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO .....	71
3.2 ORIGEM DO EFLUENTE INDUSTRIAL .....	72

3.2.1 Das Indústrias instaladas no Distrito industrial de Senador Canedo.....	72
3.2.2 Estação de Tratamento de Efluentes do Distrito Industrial de Senador Canedo.....	73
3.3 DESENVOLVIMENTO DOS EXPERIMENTOS.....	74
3.3.1 Aplicação dos efluentes em tambores.....	75
3.3.1.1 Procedimentos de coleta e pontos de amostragem do efluente.....	82
3.3.2 Aplicação dos efluentes no solo a campo.....	86
3.3.2.1 Procedimentos de coleta e pontos de amostragem de água do lençol freático.....	88
3.4 METODOLOGIA DE ANÁLISES DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS.....	88
3.5 AVALIAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS.....	90
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>91</b>
4.1 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	91
4.2 AVALIAÇÃO DOS EFLUENTES BRUTOS E TRATADOS NA ETE INDUSTRIAL.....	92
4.2.1 Parâmetros de entrada nas unidades de pesquisa.....	95
4.2.2 Qualidade do efluente percolado nos tambores.....	97
4.2.3 Qualidade da água do lençol freático nas parcelas vegetadas com bambu no solo em condições de campo.....	103
4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	103
4.4 APRECIACÃO GERAL DA PESQUISA.....	114
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>116</b>
<b>6 SUGESTÕES.....</b>	<b>117</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>118</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>119</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A conclusão de que a água é um recurso limitado e finito é praticamente um consenso mundial, há muito tempo divulgado e conhecido. Observando a história do homem, constata-se que os vales fluviais férteis que dispunham de água em abundância foram os sítios iniciais da civilização, onde a maior parte da água utilizada destinava-se à agricultura, enquanto somente uma pequena parcela era consumida pela população (MANCUSO, 2002).

A existência humana e as atividades agrícolas e industriais dependem fundamentalmente da água para sua sobrevivência e continuidade. O aumento da população e a necessidade crescente de produção de alimentos, continuamente em uma escala cada vez maior, aliada ao aumento paralelo da geração de resíduos e esgotos, promovem sem sombra de dúvida uma desigual pressão nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Por outro lado, a distribuição não uniforme de água no planeta, onde algumas regiões detêm uma quantidade de água doce mais que suficiente para a sua população, enquanto outras não dispõem deste recurso em quantidade e qualidade, inclusive para sua sobrevivência, vem levando ao êxodo para outras regiões e muitas das vezes gerando conflitos e guerras entre povos (AGENDA 21, 1996).

Segundo a Agenda 21 (1996), a crescente expansão demográfica e o desenvolvimento tecnológico trazem como consequência direta o aumento do consumo de água e a ampliação constante do volume de efluentes produzido. Os efluentes industriais, não submetidos a um tratamento adequado ou mesmo tratados, ainda são emitidos com teores e concentrações de poluentes acima da capacidade de suporte dos cursos d'água e promovem a contaminação e eutrofização dos corpos receptores, desencadeando desequilíbrios ecológicos e degradação da biota aquática. Além das implicações ambientais destacam-se, também, prejuízos referentes à saúde pública e à economia da região (NETO, 2008).

Estudos e pesquisas comprovam que a maioria das doenças associadas à ausência de saneamento básico está relacionada à água contaminada. Assim, políticas voltadas para prover a população de uma melhor qualidade da água, o tratamento dos efluentes e um eficiente programa educacional de higiene tendem a contribuir para a redução destes níveis de doenças (NOZAKI, 2007).

Para enfrentar os desafios da escassez e da poluição, a grande ferramenta será a gestão do suprimento e da demanda de água. A gestão do suprimento significa a adoção de políticas e ações relativas à quantidade e qualidade da água desde sua captação até o sistema de distribuição. A perspectiva de suprimento a partir de águas de superfície vem se tornando

cada dia mais difícil, em virtude do crescimento dos custos de construção, devido às distâncias cada vez maiores dessas fontes, exigindo obras de grande porte e complexidade, além da acirrada oposição dos setores e entidades ambientalistas. A gestão da demanda trata do uso eficiente e de ações para evitar o desperdício. Dessa forma, além de medidas para reduzir o índice elevado de perdas nas redes públicas, também a adoção de práticas e técnicas mais racionais de uso, a exemplo da irrigação por gotejamento na agricultura, deve ser praticada (DERÍSIO, 1992).

Em Goiás, a Bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte é a que sofre maior pressão antrópica. Ocupa uma área de 12.180 Km<sup>2</sup> (3,57% da área total do estado) e concentra 2.210.764 habitantes (Censo Demográfico de 2000) ou o equivalente a 44 % da população do estado, estimada em 5.926.300 habitantes (IBGE, 2009). O trecho situado desde a área das nascentes do Rio Meia Ponte em Itauçu-GO, até a ponte na GO-020 na saída de Goiânia para Bela Vista-GO, apresenta uma situação crítica em decorrência de inúmeros conflitos instalados de uso de água, incluindo o abastecimento público da região metropolitana de Goiânia-GO, o suprimento de indústrias e da agricultura. A situação é agravada pela utilização do rio como corpo receptor de esgotos (SEMARH, 2006).

A região do entorno de Goiânia tem um potencial de conflito muito grande em função do uso do solo e da água disponível. Goiânia e entorno têm hoje a necessidade de retirar água para abastecer mais de 1.300.000 (um milhão e trezentos mil) habitantes, representando quase toda a água produzida pela região, considerando a vazão mínima com tempo de recorrência de 10 (dez) anos. O abastecimento da Região Metropolitana de Goiânia é um dos usos consuntivos de maior impacto, entretanto, a irrigação também se desenvolve com muita rapidez na mesma área de influência. A retirada de água para captação industrial também promove mais uma grande pressão, pois, mesmo tratando os efluentes, as cargas remanescentes estão exigindo alta capacidade de autodepuração do Rio Meia Ponte (ANA, 2008).

Será imprescindível que os novos projetos para atender a demanda mundial sejam concebidos dentro de uma perspectiva de sustentabilidade econômica, social e ambiental. A solução vai exigir tanto a exploração cuidadosa de novas fontes e o investimento em novas formas de controle da poluição, quanto medidas para estimular o uso mais eficiente e controlado de recursos naturais como a água (WREGGE, 2000).

Dentre as diversas modalidades de tratamento de efluentes, sabe-se que os resíduos e efluentes podem ser tratados e dispostos de várias formas, sendo o recurso solo uma das mais utilizadas, desde a antiguidade, não obstante seja a água o meio receptor mais

impactado nas suas características e qualidade. No entanto, se reconhece a função do solo neste contexto e sua primordial e particular importância na minimização destas influências (Von SPERLING, 2005).

Os processos naturais de autodepuração, tanto na água quanto no solo, comprovadamente tratam esgotos, reduzindo sua carga poluidora através de processos físicos, químicos e biológicos. Sendo o solo a forma mais antiga adotada como disposição e tratamento. Para entendê-los é necessário imaginar que o solo é mais que um simples meio físico, formado por substâncias minerais e orgânicas que junto à vegetação superior, a energia solar e a água, asseguram a continuidade de um dos ciclos mais importantes da natureza, que é a transformação da matéria orgânica em energia renovável (CORAUCCI FILHO, 2003).

Na natureza, em diversos ecossistemas pode-se observar a ação desses processos naturais de depuração, constatando-se que a água contaminada após passar pelo conjunto solo-planta se apresenta naturalmente com uma melhor qualidade visual e de aspecto. Neste sentido, verifica-se que os sistemas artificiais desenvolvidos dentro deste princípio podem ser aplicados em tratamento de esgotos e outros tipos de efluentes (ALMEIDA, 2005).

Esses sistemas denominados de tratamento com plantas apresentam várias vantagens quando comparados aos sistemas convencionais. Produzem efluentes de boa qualidade, apresentam baixos custos de construção, fácil operação e pouco ou nenhum consumo de energia elétrica, podem ser implantados e operados por pessoas sem nível técnico elevado, são sistemas mais flexíveis e menos susceptíveis às variações nas taxas de aplicação de esgoto do que os sistemas mais comumente utilizados (ARIAS; BRIX, 2003; NOGUEIRA, 2003; ALMEIDA, 2005).

O funcionamento da ETE Industrial de Senador Canedo ao longo dos últimos anos não tem sido satisfatório em termos de eficiência, fato comum em praticamente todas as estações de tratamento de efluentes de distritos industriais, salvo poucas exceções. (SEMARH, 2006).

A experiência de tratamento de efluentes industriais através da irrigação de solo com bambu é ainda muito pouco pesquisada e com raras referências na literatura mundial. Desta forma esta pesquisa traz uma nova contribuição e uma alternativa diferente a ser avaliada pelos pesquisadores interessados em aprofundar nos estudos sobre este assunto.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), estabelece que os efluentes só podem ser lançados nos corpos de água após o devido tratamento e que suas concentrações de contaminantes não podem ultrapassar os limites impostos pela lei e, tampouco podem elevar os níveis nos corpos receptores acima dos limites estabelecidos para cada classe de enquadramento do corpo d'água.

A disposição de esgoto no solo é um processo viável e aplicado em diversos locais do mundo, sendo a forma mais antiga de depuração controlada de esgotos (ANDRADE NETO, 1997). É uma forma prevista pela Resolução Conama nº 357, condicionado ao fato de que “não poderá causar poluição ou contaminação das águas”.

Segundo Imhoff e Imhoff (2002), para os esgotos tipicamente domésticos não é necessário mais que um tratamento primário seguido de um secundário, para atender às exigências legais. Todavia, vários dos sistemas atuais de tratamento não têm conseguido o nível de eficiência necessário, principalmente para os efluentes industriais, estes mais concentrados. Assim, os corpos receptores têm recebido cargas poluidoras acima da sua capacidade de autodepuração.

Elevar o nível de tratamento e a eficiência das atuais estações é imperativo e requer mais investimentos na implantação e operação de unidades complementares. Além de que, a pré-disposição mais manifestada pelos empreendedores industriais quando os custos se elevam, quase sempre não são voltados para os investimentos em controle, mas ao aumento da capacidade produtiva em detrimento da melhoria da qualidade ambiental. Como solução alternativa para esse problema, não implicando em maiores investimentos, o presente trabalho propõe realizar a disposição dos efluentes de estações de tratamento de efluente industrial em solo vegetado com bambu (ALMEIDA, 2005).

Neste sentido, esta pesquisa de disposição de efluentes industriais em solo vegetado com bambu se justifica por buscar o desenvolvimento e a utilização de uma alternativa de baixo custo, de fácil acesso, eficiente e ecologicamente correta para o tratamento final dos efluentes industriais; evitando que sejam encaminhadas cargas poluidoras aos corpos d'água. Caracteriza-se, ainda, por ser economicamente interessante, considerando as possibilidades do posterior uso do bambu em obras civis e outras atividades de cunho econômico e social como o artesanato e movelaria, o que minimiza a exploração dos recursos florestais.



## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de um sistema de disposição de efluentes industriais em solo vegetado com bambu no tratamento final do efluente da ETE do Distrito Industrial de Senador Canedo – GO.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Especificamente, objetivou:

- Caracterizar o efluente da ETE do Distrito Industrial de Senador Canedo – GO;
- Avaliar a eficiência das espécies de bambu *Guadua angustifolia* Kunth, *Guadua chacoensis* e *Dendrocalamus giganteus* Munro, plantadas em tambores preenchidos com solo da região no tratamento do efluente da ETE do Distrito Industrial de Senador Canedo – GO, em três diferentes taxas de aplicação;
- Verificar se a disposição do efluente da ETE do Distrito Industrial de Senador Canedo – GO em solo vegetado com as três espécies de bambu, em condições de campo, acarreta a contaminação do lençol freático local.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**

A água é um recurso natural reconhecidamente limitado e constante. A questão dos recursos hídricos não pode ser minimizada nem adiada, uma vez que já se encontra inserida numa crise de caráter universal, que vem sendo agravada pelas mudanças climáticas (ANA, 2008).

Para Carvalho (1980), a água é um solvente versátil freqüentemente usado para transportar produtos residuais para longe do local de produção e descarga. Infelizmente, os produtos residuais transportados por ela, são em sua maioria tóxicos, e sua presença pode degradar seriamente o ambiente do rio, lago ou riacho receptor. Com isso, a qualidade da água doce natural está sendo alterada, a nível mundial, sendo que os problemas são rapidamente agravados em países tropicais, onde os custos do tratamento de águas poluídas têm compartilhado fundos com outras atividades mais urgentes (FALKENMARK; ALLARD: 1991).

Nos dois últimos séculos a população da Terra cresceu mais de oito vezes, enquanto a quantidade de água utilizada aumentou 35 vezes. Em quarenta anos (1950 a 1990), o consumo de água mundial passou de estimados  $1.360 \text{ Km}^3 \text{ ano}^{-1}$  para  $4.130 \text{ Km}^3 \text{ ano}^{-1}$ . Este consumo é distribuído entre a agricultura, setor que mais consome com 69%, seguido pela indústria com 23% e finalmente o consumo doméstico com 8%. Em países em desenvolvimento o setor da agricultura chega a consumir 80% da água disponível. Há casos em que as atividades agrícolas interferem diretamente na disponibilidade de água para consumo humano (BRANCO, 2003).

Os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais evidentes e frequentes, principalmente devido ao elevado crescimento populacional, carência de alimentos, necessidade de maior produção e aumento da atividade industrial e por conseqüência, o também aumento da produção de resíduos. Com estes fatores, os problemas decorrentes da ação antrópica têm se agravado com o tempo, atingido dimensões catastróficas, podendo ser percebidas através de alterações na qualidade do solo, do ar e da água (UNESCO, 2001).

A poluição ambiental de uma forma geral tornou-se uma discussão de interesse público, em todas as partes do mundo. Os prejuízos causados pelos problemas ambientais não estão afetando apenas os países desenvolvidos, mas também as comunidades em desenvolvimento já sofrem os graves impactos da poluição ao meio ambiente. Isto é

decorrente do rápido crescimento econômico associado à exploração acelerada dos recursos naturais até pouco tempo intocáveis. Paralelo ao aumento dos problemas causados pela contaminação ambiental encontra-se os processos de produção utilizados na extração de matérias-primas e sua transformação em múltiplos produtos destinados ao consumo mundial (BRAILE, 1993).

A atividade industrial tem uma expressiva contribuição na contaminação ambiental, principalmente das águas dos rios, visto que a maiorias dos processos industriais utilizam grandes volumes de água tomados destes recursos naturais, que são devolvidos na forma de rejeitos líquidos contendo espécies tóxicas ou difíceis de serem degradadas (MOTA, 2006a).

A instalação e operação de uma atividade industrial têm uma fundamental importância no contexto sócio-econômico do estado e principalmente para a região onde ela se implanta. Tanto que os próprios governos estaduais e municipais são altamente envolvidos, seja pelos tributos a serem arrecadados, seja, pelo número de empregos ofertados à população da região, o que leva estes poderes do executivo a facilitar através de incentivos fiscais, aquisição de áreas e disponibilização de infra-estrutura despendida à indústria candidata (BRANCO, 2004).

A falta de disciplina no uso dos recursos hídricos e a urbanização desordenada obrigam grandes cidades a buscar água para o abastecimento público em distâncias cada vez maiores, seja pela qualidade ou quantidade da água necessária. Para muitos pesquisadores em um futuro próximo a água poderá se tornar a causa de grandes conflitos mundiais (BARROS et al., 1995).

As ações do homem relacionadas aos recursos hídricos foram frequentemente associadas a doenças humanas, principalmente doenças causadas por organismos veiculados por meio aquático. Regiões de grande densidade populacional são as primeiras áreas de risco, embora águas de áreas isoladas também possam sofrer degradação, seja por meio de ocorrências naturais ou de ações antropogênicas (CETESB, 1992).

O consumo de água aumenta em função do aumento da população e da produção industrial. A quantidade de água retirada dos rios é crescente, também aumentando a diversidade e complexidade da poluição neles descartada e que podem tornar a água imprópria para os usuários de jusante, a menos que sejam adotadas metodologias avançadas e onerosas de tratamento tanto para os despejos quanto para as águas de abastecimento. Estas águas poderão ainda conter traços de compostos orgânicos que afetarão o gosto e odor, ou outros com danos ainda piores à saúde, como os compostos químicos (HOUK, 1992).

A rápida urbanização contribuiu para gerar junto ao fator poluição sérios problemas de drenagem, agravados pela inadequada deposição de lixo, retirada da vegetação ciliar e assoreamento dos corpos d'água e consequente diminuição das velocidades de escoamento das águas, que afetam principalmente as populações de baixo poder aquisitivo, residentes em periferias urbanas, carentes de serviços essenciais de saneamento (BRANCO, 1993).

Diante de uma situação de ameaça à manutenção da vida na Terra, surge a preocupação para que sejam adotadas medidas efetivas visando a preservação e recuperação dos recursos hídricos, como forma vital de garantir as reservas de água com a qualidade adequada para o ser humano e também para as demais formas de vida que dependem deste recurso natural (FREITAS, 2003).

Como parte dessas medidas observa-se que o governo, de uma forma ainda não ideal em detrimento da indisponibilidade de recursos, vem procurando implantar estações de tratamento de esgotos (ETEs) em médios e grandes núcleos urbanos, no sentido de atender a pressões externas e ainda compatibilizar críticas de setores produtivos, tendo em vista ser o lançamento de esgotos brutos, domésticos e industriais a causa principal da degradação dos corpos hídricos receptores (MANCUSO, 2002).

Há uma demanda crescente por água, decorrente da expansão das atividades econômicas e do aumento da população, que tem resultado na poluição cada vez maior dos recursos hídricos. O desenvolvimento nos moldes atuais já deu provas de que não é sustentável, pois a quantidade já escassa de água uma vez mais utilizada passa a ter a sua qualidade comprometida, limitando ainda mais uma nova possibilidade de uso. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento e implantação de novas tecnologias ou alternativas que possam reverter esse processo, preservando a qualidade das águas (TOMAZ; PLÍNIO, 2001).

Conforme levantamento realizado pela ANA – Agência Nacional de Águas, a demanda de água retirada dos corpos d'água para fins de saneamento e consumo (vazão de retirada) no país é de  $1.592 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , sendo que cerca de 53% deste total ( $841 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) são consumidos, não retornando às bacias hidrográficas. Do total, 40% são destinadas à irrigação; 27% são destinados para abastecimento urbano; 17% para indústria; 13% para animal e 3% para abastecimento rural (ANA, 2007).

A globalização da economia, em atendimento aos princípios éticos universais, levou a uma conscientização da necessidade de um desenvolvimento o mais próximo possível do sustentável, visando à preservação e manutenção do meio ambiente (FANE et al., 2002). As indústrias têm que se adequar para atender a rigorosos padrões de qualidade, inclusive os

relacionados ao desempenho ambiental, através da certificação ISO 14.000.

Em busca desta certificação as empresas têm que cumprir exigências objetivando o desenvolvimento, implementação e manutenção de sistemas de gerenciamento ambiental, assegurando a concordância com políticas e objetivos ambientais estabelecidos. Com esse objetivo cumprem não só critérios específicos de desempenho ambiental, mas necessitam organizar políticas e metas levando em consideração as informações sobre os efeitos no meio ambiente (KIPERTSTOK et al., 2003).

Portanto, a opção pelo desenvolvimento sustentável, processo que deve compatibilizar no espaço e no tempo o crescimento econômico, com a conservação ambiental, a qualidade de vida e a equidade social, tornam o uso das águas superficiais e subterrâneas, bem como, a qualidade dos efluentes líquidos lançados, fatores importantes na determinação de custos finais, através da cobrança pela utilização destas águas (REBOUÇAS, 1997).

Dentre alguns dos problemas a serem equacionados, destacam-se: a pouca eficiência das ETEs que não conseguem atender os limites estabelecidos pela legislação para lançamentos; a má operação e manutenção ou mesmo o dimensionamento inadequado dos sistemas de tratamento implantados e que muitas das vezes não acompanham a expansão das atividades industriais; a fiscalização não adequada por parte das autoridades responsáveis, como consequência, o agravamento da poluição dos corpos hídricos pelos lançamentos de resíduos industriais poluentes acima da sua capacidade natural de autodepuração e assimilação nessas coleções, podendo influenciar na saúde e diminuindo a sua qualidade e disponibilidade para outros usos à jusante, incluindo o abastecimento público (AGENDA 21, 1996).

Os corpos hídricos, receptores dos rejeitos da vida moderna, com sua capacidade de autodepuração muitas vezes excedida (MANCUSO, 2002), têm sua qualidade cada vez mais deteriorada, evidenciando a necessidade de tratar os efluentes. A legislação brasileira, atentando para esta necessidade apresenta leis que limitam a qualidade de efluentes para lançamento nos corpos hídricos que tendem a ser cada vez mais restritivas (MOTA, 1997).

Desta forma, aumenta o interesse pela conformidade das leis e suas aplicações, levando ao melhor uso tecnológico para o tratamento de efluentes líquidos industriais (WHITE; HOWE, 1988; ANDRADE NETO, 1997; IMHOFF; IMHOFF, 2002; CORAUCCI FILHO et al., 2003), que se fundamentam na busca da utilização de matérias primas alternativas não poluidoras, na redução do consumo de água e outros recursos naturais, adoção do reuso e/ou reciclagem de insumos e produtos.

É de amplo conhecimento que as reservas de água da Terra são limitadas.

Sabendo-se ainda que seu volume é constante e está sempre a recircular passando por sistemas de depuração naturais que asseguram uma qualidade requerida e necessária ao seu determinado uso. No ciclo hidrológico natural o homem sempre negligenciou a necessidade e função destes filtros naturais, correndo o risco de em pouco tempo não mais dispor de água limpa ou em condições de uso, isto devido ao mau uso e considerando que a demanda por água no mundo cresce de maneira assustadora (MEYBEK; HELMER, 1989).

Para que se entenda o comprometimento governamental e político na questão, bem como a necessidade de envolvimento de setores da comunidade, é importante que se retrate um pouco a história do saneamento no país e no estado de Goiás.

No período do Brasil – Colônia não havia ainda grandes aglomerados urbanos e habitacionais, havia disponibilidades de recursos hídricos, menor volume e potencial de poluição dos esgotos produzidos e maiores condições de autodepuração dos corpos hídricos. A maioria das ações de saneamento adotadas era de forma isolada e parcial, para apenas um setor da sociedade. Esta iniciativa, portanto, atendia somente uma parcela da população, caracterizando uma precariedade no quadro das condições sanitárias à época, o que culminava na ocorrência de grandes epidemias que assolavam a população. Esta condição de necessidade de melhoria das condições sanitárias levou o poder público a intervir nos serviços de saneamento (BRASIL, 2004b).

Principalmente na década de 60, as políticas governamentais para o setor de saneamento básico foram caracterizadas por medidas esporádicas e localizadas, quase sempre em detrimento das demandas por bens e serviços decorrentes do crescimento da população urbana. Com o atendimento precário promovido por parte dos municípios, a falta de investimento no setor foi apontada como causa das altas taxas de mortalidade infantil e agravamento das condições sanitárias (IBGE, 2002).

No período de 1964 a 1985 os governos locais foram esvaziados pela centralização do poder do Estado brasileiro, quando se tornaram apenas gestores da política central. Todos os recursos do setor de saneamento básico no Brasil eram coordenados pelo Banco Nacional da Habitação (BNH), que através do Planasa – Plano Nacional de Saneamento incentivou a criação de companhias estaduais, sob a forma de economia mista e a concessão dos serviços pelos municípios aos estados. O objetivo do Planasa era o de estabelecer uma solução definitiva e realista para o déficit de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Dentre as metas estabelecidas na década de 80 constava ter a população urbana com 90% do serviço de abastecimento de água com boa qualidade e 65% com eficientes esgotamentos sanitários (IBGE, 2002).

No início dos anos 80 o acirramento da crise econômica combinado com o modelo de poder centralizado do BNH, resultou em uma política seletiva que privilegiava as companhias estaduais em detrimento dos municípios e interesses locais. Os governos estaduais se tornaram então, responsáveis pela negociação com os municípios e ao mesmo tempo se beneficiavam com os recursos do Planasa à medida que os municípios aderiam ao plano (IBGE, 2002; BRASIL, 2004b).

Por outro lado, os estados experimentaram a resistência de municípios que se opunham ao que consideravam uma ingerência na economia e vida da população local. Partindo daí alguns municípios criaram suas próprias companhias municipais de saneamento para gerenciamento dos serviços de água e esgoto na região. O governo federal então encontrou obstáculos e dificuldades para o cumprimento das metas estabelecidas, mesmo agregando os resultados dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pelos municípios que não aderiram ao Planasa (IBGE, 2002).

Considerando as tendências de redefinição do papel do estado a partir da constituição de 1988, a ênfase na descentralização e na privatização retornou a responsabilidade de política pública ao poder local. O processo de municipalização, no entanto, encontrou vários desafios, entre eles, a incapacidade dos municípios de atender com eficiência a demanda de implantação e manutenção dos serviços de saneamento (IBGE, 2002).

Com a criação da FUNASA – Fundação Nacional de Saúde, advinda da reforma administrativa implantada no Ministério da Saúde em 1990, foi também criado o DENASA – Departamento Nacional de Saneamento, responsável pela política e gestão dos recursos destinados a área de saneamento no país (BRASIL, 2004b).

Apesar dessa iniciativa e esforço por parte do governo, principalmente em relação ao esgotamento sanitário, o saneamento no Brasil ficou muito aquém do esperado e necessário, conforme levantado em uma pesquisa denominada de PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2000 pelo IBGE, sendo investigados todos os municípios brasileiros, o que permitiu uma avaliação sobre a oferta e qualidade dos serviços prestados (IBGE, 2002).

É de conhecimento público a crise que atravessou o saneamento no Brasil, conforme identificado pelas pesquisas realizadas pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e pelo IBGE no final dos anos 80 e início dos anos 90, persistindo ainda em algumas regiões do país. Os dados referentes ao esgotamento sanitário são alarmantes, indicando índices de cobertura da população por redes coletoras de esgotos em menos de 30% e um

percentual de municípios que possuem estações de tratamento inferior a 10%. Mesmo em municípios que incluem esta pequena parcela, em geral as estações de tratamento atendem apenas uma parte da população, muitas vezes as eficiências são reduzidas e os problemas operacionais das ETES são freqüentes (IBGE, 2009).

Entre os serviços de saneamento, o esgotamento sanitário é o que tem menor presença na maioria dos municípios brasileiros. Dos 4.425 municípios pesquisados em 1989, menos da metade (47%) tinha serviços de esgotamento sanitário e 11 anos mais tarde os avanços não foram significativos: dos 5.507 municípios, apenas 52,2% eram servidos. Apesar de entre 1989-2000 ter havido um aumento de 24% no número de municípios, os serviços de esgotamento sanitário não acompanharam este crescimento, pois foi constatado um aumento de apenas 10% neste item (IBGE, 2002).

No país, as diferenças regionais também se impõem, dada à grande abrangência territorial. Enquanto na Região Sudeste é de 70,5% a proporção de domicílios atendidos, nas Regiões Norte e Nordeste o serviço alcança, respectivamente, apenas 44,3% e 52,9% dos domicílios (Quadro 01). Em 116 municípios, 10 não contam com qualquer rede distribuidora de água, foram encontrados como principais alternativas para o abastecimento das populações a utilização de chafarizes e fontes, poços particulares e abastecimento por caminhões-pipas bem como utilização direta de cursos de água (IBGE, 2000).

Região	Nº de domicílios	Abastecimento de água		Esgotamento sanitário, rede e fossa séptica	
		Défice	Défice (%)	Défice	Défice (%)
Norte	2.809.912	1.460.770	51,99	1.809.015	64,38
Nordeste	11.401.385	3.832.238	33,61	7.074.641	62,05
Centro Oeste	3.154.478	845.630	26,81	1.867.729	59,21
Sudeste	20.224.269	2.360.528	11,67	3.573.507	17,67
Sul	7.205.057	1.436.562	19,94	2.609.759	36,22
<b>Brasil</b>	<b>44.795.101</b>	<b>9.935.708</b>	<b>22,18</b>	<b>16.934.651</b>	<b>37,80</b>

**Quadro 01** Distribuição regional dos défices em saneamento básico no Brasil (IBGE, 2000).

Segundo Neto (2008), o tema saneamento no Brasil sempre se mostrou polêmico e controvertido, do ponto de vista regulatório, se considerado a força dos aspectos relacionados à responsabilidade dos entes de Estado competentes pela gestão deste serviço.

Num país de grandes dimensões territoriais, com um sistema tripartido de gestão (federal, estadual, municipal), o saneamento é um assunto que de forma constante teve permanentes disputas entre Estados e Municípios, acarretando discussões em tribunais entre prestadores de serviços e os consumidores pela cobrança e fornecimento de serviços de saneamento (ALCHIO, 2007).



Uma visão desta controvérsia pode ser observada quando no momento da captação para distribuição da água, despejo de efluentes, captação de águas pluviais ou de deposição de resíduos sólidos, este espaço institucional de regulamentação é ocupado conjuntamente pela Lei do Saneamento nº 11.445/07 (BRASIL, 2007) e pela Lei das Águas, Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997).

Mesmo considerando clara a definição do espaço regulatório da primeira no tocante aos aspectos do abastecimento de água e manejo de efluentes, vários pontos em comum podem ser estabelecidos entre a mesma e a Lei Federal nº 9.433/97, que define a Política Nacional de Recursos Hídricos, os princípios e instrumentos da sua gestão (ALOCHIO, 2007).

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2005), falta saneamento adequado para quase 29% da população urbana brasileira. Para reduzir de forma significativa o enorme *déficit* no tratamento de esgotos no Brasil, é necessário que seja empreendido um grande esforço na implantação de novos sistemas de tratamentos, que demanda vultosos orçamentos e investimentos financeiros. Nas condições da realidade brasileira atual, a adoção de dispositivos de tratamento mais simples e também eficientes no tratamento de esgotos sanitários é uma necessidade mais do que imperativa (AISSE, 2000).

Do ponto de vista das condições de saneamento mais abrangentes, a inexistência de rede geral de esgoto compromete o meio ambiente e a saúde da população que utiliza os rios, lagos e solo contaminados por esgotos lançados sem tratamento (HESPANHOL, 1999).

Por outro lado, a poluição dos rios trás outros prejuízos pelas possibilidades de não utilização dos rios pela população, não só para abastecimento, balneabilidade, mas também como uma fonte alternativa de alimentos principalmente para as famílias de baixa renda e o homem do campo, que dependem de alimentação de peixes que poderiam apreender e consumir como fonte de proteínas e que por sua vez dependem dos rios com água de boa qualidade como *habitat*. Quanto melhor a qualidade da água, maior biodiversidade se apresenta como opção alimentar (BRANCO, 1993).

### **2.1.1 Legislação Ambiental**

Em Goiás o controle industrial antes de 1978 era amparado, do ponto de vista ambiental, apenas por portarias e decretos vinculados à lei federal. A legislação própria que veio respaldar o desenvolvimento industrial, já emergente no estado, e garantir a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no estado, foi implementada em 1978. Foi a Lei

estadual nº 8.544, regulamentada em 1979 por meio do Decreto nº 1.745/79 (GOIÁS, 1979).

A Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Ela estabelece o enquadramento de corpos d'água em classes, que visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e também institui fundos através da cobrança pelo uso da água, que seriam recursos para os custos de combate à poluição das águas, gerenciados pelos comitês das respectivas bacias, através de ações preventivas (BAUMGARTEN, 2001).

Em Goiás, a Lei nº 13.123, foi elaborada em julho de 1997, referente à Política Estadual de Recursos Hídricos, a qual estabelece que o estado deve promover ações integradas nas bacias hidrográficas (GOIÁS, 1997).

Todos os corpos d'água no estado de Goiás de acordo com a Resolução Conama nº 357/2005, em função da falta de enquadramento, são consideradas às águas doces de classe 2. As condições e os padrões previstos para esta classe são citados nos artigos 14 e 15 desta resolução, são apresentados no Quadro 02.

PARÂMETROS	CONDIÇÕES E PADRÕES PARA CORPOS D'ÁGUA
Efeito tóxico crônico a organismos	Não verificação comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método reconhecido.
Materiais flutuantes (espumas naturais)	Virtualmente ausentes
Oleos e graxas	Virtualmente ausentes
Gosto ou Odor	Virtualmente ausentes
Corantes (fontes antrópicas)	Não é permitida a presença de corantes que não podem ser removidos por coagulação, sedimentação e filtração.
Resíduos sólidos objetáveis	Virtualmente ausentes
Coliformes termotolerantes	Uso de Recreação: Ver Conama nº 274 de 2000. Demais usos: Não exceder o limite de 1.000 coliformes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.
DBO 5 dias a 20°C	Até 5 mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
OD	Não inferior a 5 mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
Turbidez	Até 100 UNT
Cor verdadeira	Até 75 mg Pt L <sup>-1</sup>
pH	6,0 a 9,0
Fósforo Total	Ambiente lântico: 0,03 mg L <sup>-1</sup> Ambientes intermediários: até 0,05 mg L <sup>-1</sup>
Nitrato	Até 10,0 mg N L <sup>-1</sup>
Nitrito	Até 1,0 mg N L <sup>-1</sup>
Nitrogênio Amoniacal Total	20,0 mg N L <sup>-1</sup> , para pH ≤ 7,5;*

**Quadro 02** Condições e padrões para corpos d'água determinados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama (CONAMA, 2005, 2008).

## 2.2 POLÍTICAS PÚBLICAS DE SANEAMENTO EM GOIÁS

Segundo a Saneago (2008), em 54% dos municípios atendidos pela empresa no Estado de Goiás a expansão urbana descontrolada já compromete o abastecimento público de água. Segundo levantamento feito pela estatal, o crescimento das cidades ao longo do tempo levou à degradação das áreas de captação, influenciando negativamente na qualidade e quantidade de água. Os municípios em questão concentram 3,78 milhões de pessoas, ou seja, 63,8 % da população goiana estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009).

Em 32% das cidades a situação é considerada crítica. Em 22% se situa em caso de alerta, com grande possibilidade de se tornar crítica. Nos dois casos, a recomendação feita pela Saneago às prefeituras é impedir a implantação de novos loteamentos nas áreas acima das zonas de captação de água, sob pena de desabastecimento futuro e outros problemas. Um dos critérios de classificação dos problemas foi considerado a proximidade da área urbana da área de captação de água. Quando nas cidades de pior situação, a expansão urbana já está dentro das áreas de captação de água. Nas cidades em estado de alerta, conforme relatório técnico, a distância é de até 500 metros da bacia de captação (SANEAGO, 2009a).

Conforme estudo e informações do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2009) levantados no período de 2002-2008 os índices de coleta de esgoto em Goiás retrocederam nos últimos cinco anos. Serviços básicos de saneamento como o esgotamento sanitário, sem considerar o tratamento dos esgotos, não foram condizentes com a expansão urbana, sendo que a população aumentou junto a outras demandas inerentes e o saneamento se apresentou deficitário, numa situação superior a da maioria dos estados brasileiros. A Tabela 01 expressa a situação dos sistemas de água e esgotos em Goiás (IBGE, 2009).

**Tabela 01** Sistemas de água e esgoto em operação em Goiás em diferentes anos.

Ano	Água				Esgoto			
	População atendida (mil hab)	% da Pop. atendida	Volume (mil m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )		População atendida (mil hab)	% da Pop. atendida	Volume (mil m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	
			Produzido	Faturado			Faturado	Tratado
1995	2.785	79	226.483	143.739	1.192	34	70.980	-
2000	3.853	83	256.582	167.742	1.519	33	83.140	-
2005	4.297	81	298.118	187.850	1.710	32	87.891	68.423
2006	4.430	81	309.899	187.167	1.804	33	89.474	67.716
2007	4.128	85	321.840	200.013	1.749	36	96.024	75.994
2008	4.330	86	320.951	205.115	1.872	37	99.188	77.961

Fonte: Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO, 2009).

A região Centro-Oeste apresentou o nível mais baixo entre as regiões brasileiras. Comparando os estados, Amapá e Goiás se destacaram como os que menos investiram em saneamento nos últimos cinco anos. No estado do Amapá, em 16 anos a quantidade de habitantes sem esgotos teve um decréscimo de 2%. Em Goiás a redução foi de 4 %, muito distante da meta preconizada pela ONU, que é de reduzir até 2015 em 50% as pessoas sem acesso à rede de esgoto no Brasil, conforme os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODM. Os avanços na coleta e tratamento de esgotos em Goiás foram praticamente nulos no período, enquanto que nos demais estados a média de redução dos domicílios sem coleta de esgotos foi em torno de 40% (IPEA, 2009).

A situação de ligações de esgoto por categoria em Goiás entre os anos de 1995, 2000, 2005 e 2008 é apresentada na Tabela 02, onde se verifica que o crescimento de implantação de novas ligações foi limitado a pouco mais de 50% em 15 anos.

**Tabela 02** Ligações de esgoto por categoria em Goiás em diferentes anos.

Ano	Total	Residencial	Comercial	Industrial	Pública	Social	Comercial 2
1995	208.966	189.632	15.781	1.831	1.722	-	-
2000	310.788	277.028	26.845	3.644	3.271	-	-
2005	409.265	346.151	23.331	3.668	4.401	16.911	14.803
2006	439.073	370.636	25.463	3.831	4.749	18.858	15.536
2007	477.571	406.953	30.607	4.126	5.176	18.004	12.705
2008	512.708	437.666	35.507	4.662	5.558	17.907	11.408

Fonte: Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO, 2009).

A falta de saneamento básico tem reflexos diretos na saúde pública, com o aumento das doenças de veiculação hídrica. Segundo a Organização das Nações Unidas, no mundo, a cada dia morrem cerca de 25 mil pessoas, na maioria crianças, em consequência de doenças causadas pelo consumo de água sem qualidade adequada ou mesmo devido à sua falta. Como resultado dessa situação há aproximadamente 1 bilhão de casos de diarreia que provocam a morte de 4,6 milhões de crianças de até 5 anos, a cada ano (AGENDA 21,1996).

A pesquisa evidencia uma realidade no momento de sua realização e que revela um quadro deficitário, embora Goiás tenha investido nos últimos anos em rede e tratamento de esgoto, sendo 34 obras de saneamento em andamento com recursos do PAC, com 14 previstas para entrega em até 2010, conquanto, 20 destas estações estão ainda em fase de implantação e programadas para serem inauguradas depois de 2010. Considerando a demanda, verifica-se que o quantitativo total é ainda insuficiente para atender a necessidade que se faz presente no estado (O POPULAR, 2010).

Segundo Hespanhol (1999), a saúde e o saneamento básico têm uma relação direta entre si. Assim, afirma:

- Devem ser adotados padrões de qualidade para a água potável; devem ser implementadas medidas para garantir uma água saudável; as fontes de água devem ser protegidas contra a poluição, especialmente de resíduos industriais.
- A igualdade de direito de todos ao acesso e suprimento de água e aos serviços de saneamento pode exigir uma ação específica a ser tomada com respeito às necessidades das populações de renda mais baixa.
- A participação pública nos projetos rurais administrativos de suprimento de água é o fator mais importante para garantir em última instância a sua viabilidade; melhorias na saúde e no bem-estar devem ser usadas como indicadores nos objetivos e sucesso do projeto, em vez de se usar exclusivamente o critério da recuperação dos custos.
- Nas situações de seca, o fornecimento de água deverá dar prioridade às necessidades domésticas sobre os outros usos.

### **2.2.1 Desenvolvimento industrial em Goiás**

O desenvolvimento industrial em Goiás foi dinamizado nas últimas três décadas, onde o estado tido como produtor de matéria-prima em decorrência de suas atividades na agricultura e pecuária, que sempre despontaram a nível nacional, resolveu investir no beneficiamento de seus produtos primários e com isso agregar valores e gerar empregos na área com o incremento dos distritos industriais no estado (GOIASINDUSTRIAL, 2008).

Neste sentido, foram projetados e instalados os Distritos Industriais, distribuídos em várias regiões do estado. Como exemplos podem-se citar: o pólo Químico-Farmacêutico em Anápolis, a Indústria Perdígão em Rio Verde, a montadora Mitsubishi em Catalão, o Pólo Petroquímico e Indústria de Papéis Jaepel em Senador Canedo, dentre outras (SEPLAN, 2008).

Segundo Fonseca (2001), os argumentos utilizados pela Goiasindustrial para atrair empreendimentos: a localização estratégica de Goiás, no centro geográfico do país, onde se situa o entroncamento de importantes vetores logísticos nacionais (rodoviários, ferroviários e aviários), colocando o Estado como a principal rota do agronegócio do País e no centro estratégico do continente sul-americano; sempre prevaleceu. Atualmente a Goiasindustrial conta com 33 distritos industriais e quase 400 empresas distribuídas em 30 municípios, que representam todas as regiões do Estado (Quadro 03).

**Quadro 03** Municípios goianos em que se localizam os Distritos Industriais.

1	Abadiânia	11	Goianira	21	Orizona
2	Anápolis	12	Goiás	22	Paraúna
3	Anicuns	13	Goiatuba	23	Piracanjuba
4	Aparecida de Goiânia	14	Inhumas	24	Pontalina
5	Bela vista de Goiás	15	Itapuranga	25	Poragantu
6	Cabeceiras	16	Itumbiara	26	Rio Verde I e II
7	Caldas Novas	17	Jussara	27	Rubiataba
8	Catalão	18	Luziânia	28	São Miguel do Araguaia
9	Ceres	19	Mineiros I e II	29	Senador Canedo I e II
10	Goianésia	20	Morrinhos	30	Uruaçu

Fonte: Goiasindustrial (2009)

### 2.3 SISTEMAS SIMPLIFICADOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Analisando a situação de *déficit* sanitário, aliada ao quadro epidemiológico e ao perfil sócio-econômico das comunidades brasileiras de menor renda, constata-se que existe uma tendência para os sistemas simplificados de coleta e tratamento de esgotos. Estes sistemas devem conjugar baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização e sustentabilidade do sistema como um todo. Considerando a aplicação e operacionabilidade, se distinguem dois tipos distintos de sistemas de tratamento: os sistemas individuais, caracterizados pelas residências familiares e os sistemas coletivos que contemplam um contingente populacional maior. Para os sistemas individuais, são sugeridos: fossa seca, nas suas diversas modalidades, tanque séptico + infiltração no solo e tanque séptico + filtro anaeróbio. Para os sistemas coletivos de tratamento de esgotos são usualmente adotados: lagoas de estabilização, tanque séptico + filtro anaeróbio e reator anaeróbio de manta de lodo (Von SPERLING, 1996).

No que se refere aos sistemas coletivos de tratamento de esgotos, embora existam outras modalidades e alternativas que possam também ser utilizadas, entende-se que no Brasil, as relacionadas acima encontram uma maior receptividade e aplicabilidade, tanto pela disponibilidade de área, como pelas condições climáticas favoráveis. De um modo geral, as alternativas devem atender em maior ou menor grau aos principais requisitos que devem ser observados, num estudo técnico-econômico de escolha de alternativas. Segundo Chernicharo (1997), os principais requisitos para escolha do sistema de tratamento são:

- Baixo custo de implantação;
- Elevada sustentabilidade do sistema, (relacionada à pouca dependência de fornecimento de energia, de peças e equipamentos de reposição, etc);
- Simplicidade operacional, de manutenção e de controle (mínima dependência de

- operadores e engenheiros especializados);
- Baixos custos operacionais;
  - Adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos);
  - Pouco ou nenhum problema gerado com o lodo gerado na estação de tratamento;
  - Existência de flexibilidade em relação às expansões futuras e ao aumento de eficiência;
  - Possibilidades de aplicação em menor escala (sistemas descentralizados) com pouca dependência de grandes interceptores;
  - Fluxograma simplificado (poucas unidades integrando o sistema de tratamento);
  - Elevada vida útil;
  - Ausência de problemas que causem transtornos a circunvizinhança;
  - Possibilidades de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e fertilização de culturas agrícolas;
  - Existência de experiência práticas.

## **2. 4 ESGOTOS E EFLUENTES INDUSTRIAIS**

O esgoto sanitário, segundo a definição da Norma Brasileira Registrada – NBR 9648, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1986), é o “despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. As características dos esgotos variam quantitativa e qualitativamente, com a sua utilização.

De acordo com a origem, o esgoto pode ser:

- Sanitário – comum ou doméstico, proveniente de residências, edifícios comerciais ou instituições que contenham banheiros, lavanderias ou cozinhas, enfim, da atividade doméstica (aparelhos sanitários, cozinhas, lavagem de roupas, etc.);
- Industrial – emissões provenientes de processos industriais, extremamente diversificados e adquirindo características próprias em função do processo industrial empregado;
- Pluvial – decorrente da coleta da precipitação atmosférica e drenagem urbana.

O esgoto sanitário, apesar de constituído de 99,8% de água, contém impurezas que impedem o seu uso direto e sucedâneo como água natural, sendo composto essencialmente por matéria orgânica em decomposição, uma das principais causas de suas características indesejáveis (McGHEE; STEEL, 1991). Apresenta características de perenidade, embora sofrendo acentuada variação de fluxo em decorrência das atividades humanas, variação mais facilmente perceptível nas redes de pequena extensão (DACACH, 1991).

Com relação às características dos efluentes industriais, estas são inerentes à composição das matérias primas e das águas de abastecimento de cada processo industrial. A concentração dos poluentes nos efluentes é função das perdas e do consumo de água no processamento industrial (Von SPERLING, 1996).

Após a utilização das águas pelas indústrias, os vários resíduos e ou energias que compõem o processo são incorporados alterando-lhes suas características físicas, químicas e sensoriais, originando assim os efluentes líquidos industriais. Para a avaliação da carga poluidora dos efluentes industriais e esgotos sanitários são necessárias as medições de vazão *in loco* e a coleta de amostras para análise em laboratório de diversos parâmetros sanitários que representam a carga orgânica e a carga tóxica. Os parâmetros utilizados são conjugados de forma que melhor signifiquem e descrevam as características de cada efluente e sua natureza (Von SPERLING, 2005).

Os efluentes industriais podem ser perenes ou não, em função da atividade da própria indústria, o que pode representar uma contribuição localizada com grande volume, ao contrário do sanitário. A composição é função da tecnologia e do produto, podendo variar de orgânico a mineral, seja a indústria do tipo alimentícia, de processamento químico, de eletrodeposição, etc. Geralmente é mais rico em sólidos dissolvidos minerais (AISSE, 2000).

As águas pluviais são tipicamente intermitentes e sazonais, de conformidade com a precipitação atmosférica. A composição é variável com a duração das chuvas, sendo mais semelhante ao sanitário nas primeiras águas, pois carrega os resultados da lavagem operada na atmosfera, nos telhados, nos pisos, nas sarjetas e na própria tubulação (BRANCO, 1989).

É difícil uma mesma rede veicular somente um tipo de esgoto, uma vez que, mesmo numa comunidade urbana residencial, sempre haverá uma parcela mínima de contribuição industrial e algumas ligações clandestinas de águas pluviais. Os esgotos industriais, por sua vez, via de regras vêm acompanhados de esgoto sanitário dos operários da indústria. Nas redes dos sistemas unitários a admissão de águas pluviais determina a alteração periódica sensível das características do líquido transportado (MOTA, 1997).



Uma quarta denominação de contribuição proveniente da infiltração pode ser levantada, nos casos de redes assentadas em nível inferior ao do lençol freático incidente na região. Eventualmente, em áreas drenadas essa contribuição toma o aspecto invertido, denominados de fuga, ou mais propriamente vazamento. A água infiltrada não possui características de esgoto, sendo reflexo da composição adjacente à rede coletora instalada na região (AISSE, 2000).

O primeiro passo no estudo preliminar de projetos é o conhecimento das características das águas residuárias industriais. Os possíveis tipos de tratamento só podem ser aplicados a partir do levantamento detalhado destas características. A caracterização dos esgotos sanitários é bem definida, podendo as suas variáveis de concentração ser relacionadas aos fatores sócio-econômicos da população. Com relação aos efluentes industriais, devido à diversidade dos processos industriais, a composição e concentração sofrem grandes variações, tanto quantitativa quanto qualitativamente (NUNES, 2001).

No processo industrial a água pode ser utilizada de diversas formas, tais como: incorporação aos produtos; limpeza de equipamentos, tubulações e pisos; águas de sistemas de resfriamento e geração de vapor; aspersão sobre pilhas de minérios para evitar o arraste de finos e sobre áreas de tráfego para evitar poeiras; irrigação; oficinas de manutenção, dessedentação, higiene e limpeza dos funcionários, etc. Desta forma pode-se afirmar que com exceção dos volumes de águas incorporadas aos produtos e pelas perdas por evaporação, as águas podem tornar-se contaminadas por resíduos do processo industrial ou pelas perdas de energia térmica, dando origem assim aos efluentes líquidos industriais (Von SPERLING, 2005).

A poluição das águas pode ser definida como qualquer alteração física, química ou biológica da qualidade de um corpo hídrico, capaz de ultrapassar os padrões estabelecidos para a classe, conforme o seu uso preponderante. Considera-se a ação dos agentes: físicos materiais (sólidos em suspensão) ou formas de energia (calorífica e radiações); químicos (substâncias dissolvidas ou com potencial solubilização); biológicos (microrganismos). Pode-se denominar poluição industrial o evento que se origina devido a perdas de energia, produtos e matérias-primas, ou seja, decorrente da ineficiência dos processos industriais (METCALF; EDDY, 1991; DERÍSIO, 1992; Von SPERLING, 1996).

A poluição e a contaminação da água podem ser advindas de vários fatores, naturais ou antrópicos, sendo a influência humana talvez a mais severa e persistente, levando assim a quadros e cenários de escassez (FREITAS, 2003; NOZAKI, 2007). Segundo o IBGE, 58% da população não têm acesso a rede coletora de esgotos e 84% dos municípios

brasileiros, não contam com nenhum tipo de tratamento de esgotos (IBGE, 2002).

Conforme Branco (1993), a poluição urbana é provocada pelo fluxo unidirecional de matérias primas para o processamento e o consumo (dissipação) na cidade. Na área urbana e suas imediações se dá a liberação no ambiente aéreo, solo e água, dos produtos da industrialização e da própria alimentação doméstica. Além de afetarem a saúde da população, tais elementos comprometem um mínimo de sustentação desejável de vida nos rios, solo e ar, e ferem a sensibilidade estética da população da cidade.

Os esgotos podem ser classificados em dois grupos principais: esgotos sanitários e os industriais. Os esgotos sanitários incluem predominantemente os despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, de infiltração, e eventualmente uma fração não significativa de despejos industriais (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

As características dos esgotos podem ser físicas, químicas e biológicas. As físicas podem ser interpretadas pela obtenção das grandezas correspondentes às determinações de teor de matéria sólida, temperatura, odor, cor, turbidez e variação de vazão. Já as características químicas dependem da origem do esgoto, e podem envolver substâncias oriundas de matéria orgânica ou inorgânica. Algumas características biológicas são essenciais no tratamento de esgotos sanitários, envolvendo a existência de microrganismos de águas residuárias, os indicadores de poluição, as variações de vazão, entre outras (CAMPOS et al., 2002).

Os efluentes industriais têm características próprias em função da matéria prima, do processo de industrialização e do produto industrializado. Normalmente a água residuária pode ser o próprio produto acabado, ser utilizado como meio de transporte, fazer parte do processo de fabricação, resfriamento, como fonte de vapor e produção de energia, limpeza de pisos e equipamentos, higiene e limpeza de funcionários, etc. Invariavelmente compõe os efluentes industriais um percentual de esgotos sanitários advindos dos funcionários das empresas. Por exemplo; pode-se prever que nos efluentes de uma indústria alimentícia seja predominante um maior percentual de matéria orgânica em sua composição. Já na indústria química, que pode emitir poluentes extremamente perigosos ao meio ambiente, a água é usada na fabricação de mais de 150 produtos importantes, vindo o recurso ar posteriormente. Daí suas características serem predominantemente de compostos químicos (FERNANDES, 1997).

Conforme Von Sperling (2005), a vazão de efluentes advindos dos despejos industriais é função precípua do tipo e porte da indústria. Desta forma, mesmo no caso de duas indústrias que fabriquem essencialmente o mesmo produto, as vazões de despejos podem ser bastante diferentes entre si, dependendo do tipo de processo utilizado, do grau de

reciclagem e da existência de pré-tratamento. Os volumes dos efluentes industriais são muitos variáveis e situam em uma ordem de 50% a superior 1.000%, em relação ao volume da produção.

#### **2.4.1 Usos da água na indústria e influências**

Dentro da área industrial a água pode ser utilizada de diversas formas, como matéria prima, incorporada aos produtos, meio de transporte, limpeza de equipamentos e pisos, águas de resfriamento e geração de vapor e energia, etc. Paralelo ao uso no processo industrial, a água também é utilizada para fins sanitários, sendo, portanto, gerados os esgotos sanitários industriais que na maior parte das vezes são tratados internamente pela indústria, separados em tratamentos específicos ou tratados em conjunto nas etapas biológicas dos tratamentos de efluentes industriais. Estas águas residuárias, neste caso os esgotos sanitários, contêm excrementos humanos líquidos e sólidos, produtos diversos de limpezas, resíduos alimentícios, produtos desinfetantes e também pesticidas. Os microorganismos presentes nos esgotos originam-se basicamente dos excrementos humanos (BRAILE, 1993).

De acordo com Arreguin Cortes (2006) os usos da água na indústria podem ser divididos nos grupos: transferência de calor, geração de energia e aplicação a processos.

Após a utilização das águas pelas indústrias, os diversos resíduos e ou energias são incorporados alterando-lhes as características físicas e sensoriais, gerando assim os efluentes líquidos. Para a avaliação da carga poluidora dos efluentes industriais e esgotos sanitários são necessárias as medições de vazão *in loco* e a coleta de amostras para análises de diversos parâmetros sanitários que representam a carga orgânica e a carga tóxica dos efluentes. Os parâmetros utilizados são conjugados de forma que melhor signifiquem e descrevam as características de cada efluente (HESPANHOL, 1997).

Os esgotos sanitários são compostos de matéria orgânica e inorgânica. Os principais constituintes orgânicos são: proteínas, açúcares, óleos e gorduras, microorganismos, sais orgânicos e componentes dos produtos de saneamento (surfactantes). Os principais constituintes inorgânicos são sais formados de ânions (cloretos, sulfatos, nitratos, fosfatos) e cátions (sódio, cálcio, potássio, ferro e magnésio) (Von SPERLING, 1996).

Diferente do esgoto sanitário, o consumo de água na atividade industrial pode variar de uma mesma indústria para outra, dependendo do processo e do produto final acabado. Da mesma forma também variam os efluentes gerados, tanto em volume quanto em

características. Portanto, caracterizar com precisão o consumo de água e os efluentes industriais de um complexo empresarial multi-operacional como é um Distrito Industrial, não se torna uma tarefa muito fácil a ser concluída em curto prazo (Von SPERLING, 1996).

A quantidade de água utilizada para o atendimento das diversas atividades industriais é influenciada por vários fatores como o ramo de atividade, capacidade de produção, condições climáticas da região, disponibilidade de água, método de produção, instalações, prática operacional, cultura local, inovação tecnológica, investimentos em pesquisa, etc.

Quando imprópriamente manuseados, depositados e dispostos no solo, água e ar, os despejos industriais podem atingir a saúde humana e todas as formas de vida que compõem os recursos naturais. A exposição humana (ocupacional ou não ocupacional) a despejos industriais tem provocado efeitos na saúde que compreendem desde dores de cabeça, náuseas, irritações na pele e pulmões, a sérias reduções das funções neurológicas e hepáticas. Evidências dos efeitos genotóxicos à saúde, como câncer, defeitos congênitos e anomalias reprodutivas, também têm sido mencionadas. Aumento de incidência de carcinomas gastrointestinais, de bexiga, anomalias reprodutivas e malformações congênitas têm sido encontradas em populações que vivem próximas a perigosos depósitos de rejeitos industriais (HOUK, 1992).

Dos vários prejuízos da poluição, um dos principais efeitos é o de eliminar drasticamente os organismos aquáticos, com maior destaque para os peixes dos rios; o que compromete diretamente a alimentação e o desenvolvimento de populações inteiras de seres humanos em todo o mundo, principalmente nos países em desenvolvimento e em processo de industrialização. O que é necessário para impedir o aniquilamento de um povo é garantir a compatibilidade da produção com a sobrevivência dos peixes. Difícil, talvez, será dizer qual a maior perda em dinheiro: se o custo do tratamento dos resíduos da indústria ou a destruição dos peixes, às vezes pouco comerciáveis. Mas, é muito fácil perceber que a maior perda, para o país, será sem dúvida a resultante da degenerescência de seu povo pela fome (BRANCO, 1993).

Na Tabela 03 são apresentados dados internacionais de distribuição do consumo de água na indústria por tipo de atividade. É importante destacar que os valores podem estar desatualizados tendo em vista que novas tecnologias industriais são constantemente desenvolvidas.

**Tabela 03** Distribuição do consumo de água na indústria por atividade.

Segmento industrial	Distribuição do consumo de água (%)		
	Resfriamento sem contato	Processos e atividades afins	Uso sanitário e outros
Carne enlatada	42	46	12
Abate e limpeza de aves	12	77	12
Laticínios	53	27	19
Frutas e vegetais enlatados	19	67	13
Frutas e vegetais congelados	19	72	8
Moagem de milho a úmido	36	63	1
Açúcar de cana de açúcar	30	69	1
Açúcar de beterraba	31	67	2
Bebidas maltadas	72	13	15
Indústria têxtil	57	37	6
Serrarias	58	36	6
Fábrica de papel e celulose	18	80	1
Cloro e Álcalis	85	14	1
Gases Industriais	86	13	1
Pigmentos inorgânicos	41	58	1
Produtos químicos inorgânicos	83	16	1
Materiais plásticos e resinas	93	7	*
Borracha sintética	83	17	*
Fibras de celulose sintéticas	69	30	1
Fibras orgânicas não celulósicas	94	6	*
Tintas e pigmentos	79	17	4
Produtos químicos orgânicos	90	9	1
Fertilizantes nitrogenados	92	8	*
Fertilizantes fosfatados	71	28	1
Negro de fumo	57	38	6
Refinaria de petróleo	95	5	*
Pneus	81	16	3
Cimento	82	17	1
Aço	56	43	1
Fundição de ferro e aço	34	58	8
Cobre primário	52	46	2
Alumínio primário	72	26	2
Automóveis	28	69	3

\* Valor inferior a 0,5 % do volume total de água consumido. Fonte: Van Der Leeden, Troise e Todd (1990).

#### 2.4.2 Características dos Efluentes Industriais

Devido à multiplicidade nos processos de atividades industriais, existem composições e concentrações diferenciadas dos efluentes emitidos por cada processo e tipo de produção. Os parâmetros de importância maior e mais comum na maioria das atividades industriais são apresentados a seguir:

### **- Matéria Orgânica**

Pelo fato de provocar o imediato consumo de oxigênio dissolvido no meio através dos microrganismos que a utilizam em suas atividades metabólicas, ela é considerada um dos principais poluentes dos cursos hídricos. Dentre os seus elementos encontramos nitrogênio, fósforo, enxofre e ferro. É possível encontrar, também, tanto nos efluentes domésticos como industriais, outros compostos como as proteínas, carboidratos, lipídios e ainda fenóis, uréia, pesticidas, surfactantes, etc (METCALF; EDDY, 1991).

A matéria orgânica é degradada por microrganismos que utilizam como nutrientes essenciais o nitrogênio e fósforo para o seu crescimento. Sabe-se que em algumas águas residuárias industriais estes elementos são deficientes, enquanto nos esgotos sanitários eles aparecem em abundância. O nitrogênio é encontrado em concentração elevada nas proteínas e uréia. Os açúcares, amidos e celulose são os carboidratos mais encontrados nas águas residuárias. Os açúcares se apresentam solúveis, o amido insolúvel e a celulose é o mais resistente à degradação microbiana. Os lipídios são insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos e são encontrados nas carnes, cereais e algumas frutas (NUNES, 2001).

### **- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio**

A DBO é definida quimicamente como a quantidade de oxigênio requerida para oxidar a matéria orgânica biodegradável com o auxílio de microrganismos, principalmente bactérias decompositoras, incubadas num período de 5 dias a 20°C. Se a quantidade de matéria orgânica é pequena, as bactérias decompositoras necessitarão de pequena quantidade de oxigênio para decompô-la, sendo a DBO baixa. As moléculas orgânicas de estruturas mais complexas e altos valores energéticos da matéria orgânica são utilizadas pelos seres heterótrofos (bactérias) como fonte de alimento e energia. Para ocorrer este tipo de processo é necessário que os organismos aeróbios respirem. Quando estes organismos respiram, retiram do meio certa quantidade de oxigênio, ou seja, provocam uma demanda de oxigênio (SILVA, 1990).

Segundo Von Sperling (1996), a DBO é um parâmetro adequado para avaliar a biodegradabilidade da matéria orgânica em um ambiente aeróbio, não se tornando um bom indicador em meio anaeróbio. No dimensionamento das unidades de tratamento biológico de efluentes este parâmetro é considerado como um dos mais importantes.

### **- DQO – Demanda Química de Oxigênio**

A DQO é necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica. Na avaliação

da DQO além da matéria orgânica biodegradável, também é oxidada a matéria orgânica não biodegradável e outros componentes inorgânicos (sulfetos como exemplo). Pode ser também utilizada na quantificação de matéria orgânica, principalmente quando as águas residuárias contêm substâncias tóxicas. Uma das grandes vantagens em relação à análise de DBO é o tempo de realização da análise, que é em torno de duas horas. A relação DQO/DBO é muito importante na avaliação dos possíveis tipos de unidades de tratamento a adotar, considerando que é importante identificar o grau de biodegradabilidade das águas residuárias, como também pode-se eliminar os testes de DBO no controle de estações de tratamento, caso se conclua que esta relação é constante (NUNES, 2001).

### **- Sólidos Totais**

Sólidos totais são os sólidos que permanecem como resíduos da evaporação de uma amostra quando submetida a uma temperatura de 105°C. A determinação da concentração dos sólidos totais de uma água residuária tem uma fundamental importância, quando se determina também as formas em que se encontram, como tamanho, fração volátil, fixa e sedimentável. É um dos parâmetros também importantes no estudo dos possíveis tipos de tratamento a ser adotado para águas residuárias, bem como na avaliação das condições de poluição dos cursos d'água (SILVA, 1990).

### **- pH**

A concentração de íons de hidrogênio em um determinado meio é representada por este parâmetro, que dá uma condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade. A faixa de pH varia de 0 a 14. O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração molar de íons de hidrogênio:  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$  para coeficiente de atividades hidrogeniônicas unitário (ESTEVES, 1998). O pH é um parâmetro muito especial nos ambientes aquáticos, podendo ser a causa de muitos eventos químicos e biológicos. Pode, também, ser consequência de uma série de outros fenômenos. Por exemplo, o pH alcalino é responsável por uma maior percentagem de amônia não-ionizada presente na água, sendo este composto bastante tóxico. Além deste composto, o pH também exerce uma forte influência sobre a toxicidade de outros parâmetros químicos, tornando-os mais tóxicos e biodisponíveis.

O pH pode ser o resultado de uma outra série de fatores, tais como, abundância de fito plâncton nos tanques realizando a fotossíntese. Assim, altos valores de pH podem estar associados também à proliferação de vegetais em geral, pois com o aumento da fotossíntese, há consumo de gás carbônico e, portanto, a diminuição do ácido carbônico da água e por

consequência o aumento do pH (Von SPERLING, 1996).

#### **- Temperatura**

A temperatura das águas residuárias pode ser decorrente do processo industrial ou mesmo das condições de clima na região. Do ponto de vista do tratamento biológico aeróbio, temperaturas altas diminuem a concentração de oxigênio dissolvido interferindo na velocidade de degradação da matéria orgânica, elevando a atividade dos microrganismos e por consequência o acréscimo de consumo de oxigênio. Nos sistemas anaeróbios, temperaturas muito baixas retardam o processo de digestão. Nos processos físico-químicos de coagulação/floculação, existe a influência na formação de flocos, com temperaturas mais altas podendo acelerar a reação (NUNES, 2001).

#### **- Compostos Tóxicos**

Estes compostos são altamente danosos ao tratamento biológico, devido a sua toxidez e interferência inibidora no processo. Nas águas residuárias industriais, é comum se encontrar maiores concentrações de compostos com capacidade tóxica, como: cianetos, sulfetos e metais pesados tais como: cobre, cromo, chumbo, mercúrio, níquel, cádmio, etc. Estes compostos são encontrados em concentrações altamente elevadas em alguns despejos industriais (galvanoplastia como exemplo).

#### **- Nutrientes**

Os chamados nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, são elementos essenciais ao crescimento dos microrganismos responsáveis pela degradação das águas residuárias. As principais fontes de nitrogênio são as proteínas e a uréia. O fósforo tem sua origem nas proteínas e nos detergentes sintéticos. Uma das grandes preocupações com os nutrientes é a eutrofização dos corpos d'água receptores, considerando-se que os efluentes, mesmo tratados podem carrear concentrações destes nutrientes, suficientes para proliferar grandes quantidades de algas (HUSSAR et al., 2004). Em algumas atividades industriais (poucas) existem quantidades suficientes que atendem aos requisitos para tratamento biológico. Além dos esgotos sanitários, efluentes de laticínios, matadouros, frigoríficos, alimentos, etc. são propícios à concentração destes nutrientes. Outros tipos de efluentes não são ricos em nutrientes, à exemplo de indústrias fabris e de beneficiamento de produtos inorgânicos.



### - Indicadores de Contaminação Fecal

A identificação de presença dos agentes patogênicos principalmente bactérias, protozoários e vírus, em uma amostra de água é extremamente difícil, em razão de suas baixas concentrações, o que demandaria o exame de grandes volumes da amostra para que fosse detectado um único ser patogênico. O estudo das bactérias do grupo coliformes supera os obstáculos nesse sentido. Apesar destes organismos não serem predominantemente patogênicos, podem oferecer a indicação de quando uma água está contaminada por fezes humanas ou de outros animais de sangue quente e conseqüentemente a sua possibilidade para transmitir doenças (Von SPERLING, 2005).

A contribuição de coliformes totais e fecais dos seres vivos varia de  $10^9$  a  $10^{12}$  e de  $10^8$  a  $10^{11}$  organismos.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, respectivamente, o que corresponde, aproximadamente, às concentrações de  $10^6$  a  $10^9$  e de  $10^5$  a  $10^8$  organismos por 100 mL de esgoto (FEAM, 2005). A Organização Mundial de Saúde, em seus Guias de 1995, citou a *Escherichia coli* como a principal bactéria do grupo de coliformes fecais, para indicador de poluição fecal.

## 2.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Os sistemas de tratamentos de efluentes objetivam primordialmente atender à legislação ambiental e em alguns casos ao reuso de águas. Para a definição do processo de tratamento dos efluentes industriais são testadas e utilizadas diversas operações unitárias. Os processos podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos em função da natureza dos poluentes a serem removidos e ou das operações unitárias utilizadas para o tratamento.

Os sistemas de tratamento de efluentes são dimensionados buscando a estabilidade da matéria orgânica, ou seja, transformação dos poluentes dissolvidos e em suspensão em gases inertes e ou sólidos sedimentáveis para a posterior separação das fases sólida/líquida. Sendo assim, se não houver a formação de gases inertes ou lodo estabilizado, não se deve considerar que houve tratamento. A poluição não deve ser transferida de forma e lugar. É necessário conhecer o princípio de funcionamento de cada operação setorizada, bem como a ordem de associação no conjunto dessas operações. Estes são fatores que definirão a viabilidade dos processos de tratamento (Von SPERLING, 2005).

Os sistemas de tratamentos industriais devem ser utilizados não apenas com o objetivo mínimo de tratar os efluentes, mas também de atender a outras premissas. Um ponto importante a ser observado é que não se devem gerar resíduos desnecessários decorrente do uso e operação do sistema de tratamento. A estação de tratamento não deve gerar incômodos,

seja por ruídos ou odores, nem causar impacto visual negativo. Deve-se sempre tratar também os esgotos sanitários gerados na própria indústria, evitando-se a sobrecarga no sistema público. Assim, cada indústria deve controlar a sua carga poluidora, considerando que é a responsável legal pelos seus resíduos gerados (GOIÁS, 1978; BRASIL, 1998).

Os processos de tratamento a serem adotados, as suas formas construtivas e os materiais a serem empregados são considerados a partir dos seguintes fatores: a legislação ambiental regional; os recursos hídricos disponíveis na região; o clima; a cultura local; os custos de investimento; os custos operacionais; a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes industriais; a qualidade do efluente tratado; a segurança operacional relativa aos vazamentos de produtos químicos utilizados ou dos efluentes; explosões; a geração de odor; a interação com a vizinhança; a confiabilidade para atendimento à legislação ambiental; as possibilidades de reuso de água e dos efluentes tratados na área industrial (GIORDANO, 2004).

Dependendo das condições das águas receptoras e da eficiência dos processos de tratamento, pode-se classificar o tratamento das águas residuárias industriais nos seguintes níveis ou fases:

#### **- Tratamento Preliminar**

Remove apenas os sólidos muito grosseiros, flutuantes e materiais sedimentáveis, por meio das unidades: grades, desarenadores, caixas de retenção de óleos e graxas e peneiras.

#### **- Tratamento Primário**

Remove sólidos remanescentes do tratamento preliminar, matéria orgânica em suspensão e parcialmente a DBO, contando com as seguintes unidades: decantação primária, precipitação química de baixa eficiência, flotação e neutralização.

#### **- Tratamento Secundário**

Atua na remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão. A DBO é removida quase que totalmente nesta fase. Dependendo do sistema adotado, há eficiências de remoções altas. Sendo as unidades relacionadas: Processos de lodos ativados, Lagoas de estabilização, Sistemas Anaeróbicos de alta eficiência, Lagoas aeradas, Filtros biológicos e Precipitação química com alta eficiência.

#### **- Tratamento Terciário ou Avançado**

Objetiva obter um efluente de alta qualidade ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuárias. Os processos terciários são os seguintes: Adsorção em carvão ativo, Osmose inversa ou reversa, Eletrodialise, Troca iônica, Filtros de areia, Remoção de nutrientes, Oxidação química e Remoção de organismos patogênicos.

### **2.5.1 Tratamento biológico de efluentes**

O tratamento de despejos de uma indústria alimentícia, por exemplo, é, em sua maioria, do tipo biológico. A função de um processo de tratamento biológico é remover a matéria orgânica do efluente industrial, através do metabolismo de oxidação e de síntese de células. Este tipo de tratamento é normalmente usado em virtude da grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável, presente em sua composição (BRAILE, 1993).

### **2.5.2 Disposição de efluentes no Solo**

Os esgotos e efluentes podem ser aplicados ao solo nu ou vegetado, de modo a depurá-los com eficiência, fundamentalmente por um dos seguintes processos: irrigação, infiltração/percolação e escoamento à superfície (Von SPERLING, 1996).

**Irrigação:** A irrigação com despejos residuários pode ser definida como a descarga controlada do efluente sobre o solo com a finalidade de suportar o crescimento de plantações. Assim, os esgotos são aplicados em solos cobertos por vegetação com o objetivo de auxiliar a agricultura ou a silvicultura. A irrigação pode ser executada fundamentalmente por meio de três sistemas distintos de aplicação: aspersão, aplicação na superfície e gotejamento.

**Infiltração:** Esse processo é similar aos filtros intermitentes de areia, onde a maior porção dos esgotos infiltra-se no solo, ou a ele incorpora-se, embora uma parte evapore. Tanto quanto na irrigação, a aplicabilidade da infiltração rápida depende de o solo apresentar uma camada espessa acima do lençol freático, mais do que naquele método, entretanto, são exigidas grandes permeabilidades e boas características de drenagem, para que se tornem viáveis as elevadas taxas de aplicação normalmente empregadas.

**Escoamento Superficial:** Recomendado para terrenos que apresentam baixa permeabilidade, o método de escoamento superficial, também pode ser perfeitamente utilizado para solos com maior porosidade. No processo de tratamento de esgotos por escoamento à superfície, o efluente do tratamento é lançado na parte superior de um plano

inclinado por meio de aspersores ou através de tubos perfurados, sendo que a parcela líquida efluente é recolhida na parte inferior através de canais de drenagem que transportam o líquido tratado ao corpo receptor.

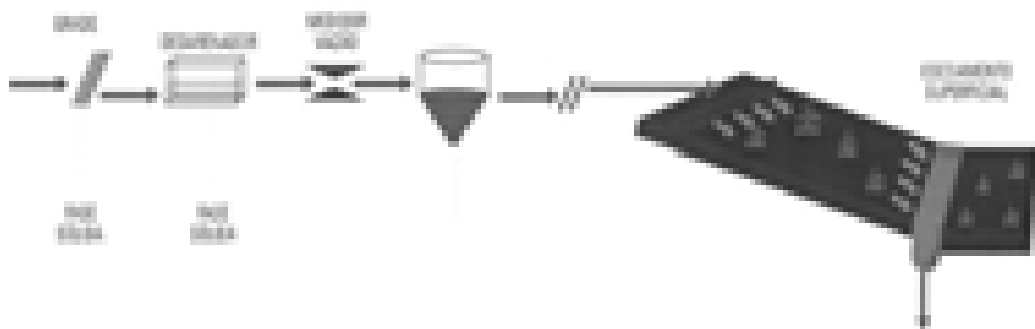
A disposição no solo é definida como aplicação planejada e controlada de um resíduo determinado sobre a superfície do solo, a fim de se alcançar um grau específico de tratamento por meio de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem naturalmente no sistema água-solo-planta (METCALF; EDDY, 1991).

A aplicação de águas residuárias no solo consiste não apenas da utilização do efluente como um valioso recurso de água e nutrientes, mas também como uma forma de tratamento (CORAUCCI FILHO et al., 2003).

### 2.5.2.1 Escoamento Superficial

O escoamento superficial é um método de tratamento no qual o efluente é filtrado e estabilizado. Durante o processo uma parte do efluente evapora-se, outra se infiltra no solo, e o restante é coletado em canais situados na parte inferior do terreno. Ao escoar pela superfície de um terreno recoberto por uma vegetação, geralmente grama, cria-se condições para o desenvolvimento de uma microfauna que promove a remoção da matéria orgânica e a retenção dos sólidos em suspensão (COURACCI FILHO et al.; 2003).

No escoamento superficial o efluente é aplicado na parte mais alta do terreno, em faixas com declividade de 2% a 8%, e coletado na parte inferior das faixas, de onde é captado para lançamento em corpos receptores (Figura 01). Os terrenos utilizados devem possuir baixa permeabilidade, para evitar risco de contaminação do lençol freático (LUCAS FILHO et al.; 2001). A depuração do esgoto depende da absorção de minerais pelas plantas e da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, nos filmes biológicos desenvolvidos na interface da planta com a superfície do solo (Von SPERLING, 1996).

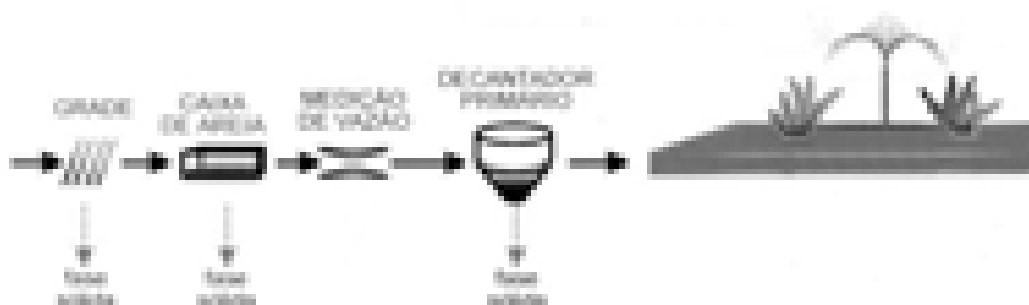


**Figura 01** Método de escoamento superficial de efluentes no solo (Von SPERLING, 1996).

### 2.5.2.2 Infiltração Lenta ou Irrigação

Consiste na aplicação do esgoto sobre uma área com vegetação, com a finalidade de fornecer água e nutrientes para o crescimento das plantas (Figura 02). Parte do esgoto aplicado é evaporado e parte é percolado podendo atingir o lençol freático, mas a maior parte é absorvida pelas plantas e transpirada para a atmosfera. Esse método é aplicado aos solos com permeabilidade de moderada lenta para moderada rápida e a profundidade do lençol freático deve estar no mínimo a 0,6 m da superfície, para que não ocorra sua contaminação. As técnicas de aplicação dos efluentes sobre a superfície podem ser por sulcos, aspersão ou inundação.

É o sistema de disposição no solo mais utilizado ultimamente, sendo o efluente aplicado por aspersão, irrigação localizada ou por superfície, com taxas em torno de  $30-50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  para áreas de cultivo agrícola e acima de  $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  para áreas gramadas (METCALF; EDDY, 1991).



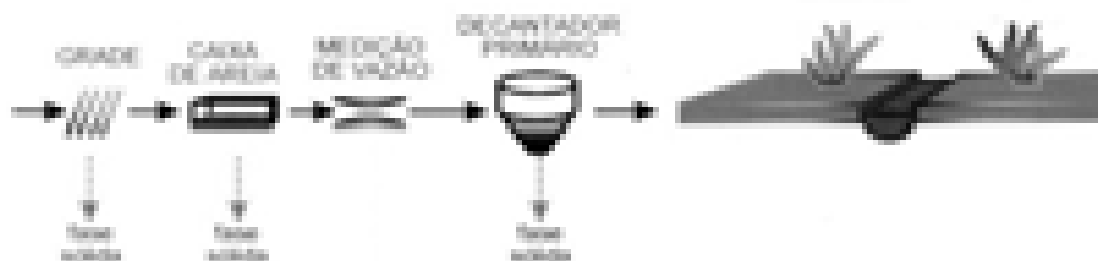
**Figura 02** Método de infiltração lenta com irrigação por aspersão (Von SPERLING, 1996).

### 2.5.2.3 Infiltração Rápida

Em sistemas de infiltração rápida, o efluente pode ser aplicado no solo usando-se os mesmos métodos de irrigação, porém, neste caso, o solo deve ter permeabilidade que possibilite a infiltração e percolação de grandes volumes de água, além de grande profundidade, de forma a permitir o tratamento adequado do efluente. Quando alguma cultura é cultivada na área de disposição, esta deve ser tolerante ao excesso de água e aos constituintes do efluente, pois neste método de disposição do efluente, uma menor área é requerida para o mesmo volume de efluente (DEEMER; PRESLEY, 1983).

No processo de infiltração rápida (Figura 03) o esgoto é disposto em faixas e devido às altas taxas de aplicação as perdas por evaporação são pequenas e a maior parte do líquido percola pelo solo, sofrendo assim o tratamento. A aplicação é feita de forma

intermitente, de modo a permitir um período de descanso para o solo, no qual ele seca e restabelece as condições aeróbias. Esse método é aplicado a solos arenosos com alta permeabilidade devendo a profundidade do lençol freático estar a, no mínimo, 1,5 m, e para maior segurança profundidades maiores de 4,5m (Von SPERLING, 1996).



**Figura 03** Método de infiltração rápida de efluente no solo (Von SPERLING, 1996).

#### 2.5.2.4 Infiltração Subsuperficial

De acordo com Von Sperling (1996), o esgoto pré-decantado é aplicado abaixo do nível do solo. Os locais de infiltração são preenchidos com um meio poroso no qual ocorre o tratamento. Os tipos mais comuns são as valas de infiltração e os sumidouros.

### 2.6 APLICAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA AGRICULTURA/SOLO

A utilização de águas residuárias na agricultura remonta há 5.000 anos atrás, estando associada aos sistemas de esgotos dos velhos palácios e cidades da Civilização Minoana (Grécia). Na Europa e Estados Unidos, no período entre os séculos XVI e XIX, eram bastante conhecidas “as fazendas de esgotos”. Concebidas inicialmente para dispor os esgotos no solo, as águas dessas fazendas eram circunstancialmente aproveitadas para a produção de culturas (METCALF; EDDY, 2003).

Ceballos et al. (2000) relatam que na Inglaterra a prática das fazendas de esgotos tinha a aprovação da Comissão Real de Disposição de Esgotos. Esta comissão, em 1950, estabeleceu que a maneira correta de eliminar ou descartar os esgotos de uma cidade era sua aplicação contínua sobre o solo e assim agindo, a poluição dos rios seria evitada. Em 1875 já existiam 50 fazendas, só na Grã-Bretanha. Em 1898 esta política foi modificada pela Comissão de Disposição de Esgotos da Grã-Bretanha, que passou a recomendar o uso de filtros para esgotos utilizados na irrigação.

Na França, também na metade do século XIX, parte das águas residuárias de Paris, já era usada para irrigação e o restante descarregado no rio Sena. A partir de 1904 cessaram as descargas no rio e toda a vazão passou a ser destinada às fazendas de esgotos que ocupavam uma área de 5.300 ha. (CEBALLOS et al., 2000).

A cidade de Melbourne, na Austrália, amplamente citada na literatura, implantou, em 1897, a fazenda Werribbee para descartar seus esgotos, aproveitando-os no plantio de forrageiras destinadas a pastagem de bovinos e ovinos. O empreendimento funciona até a época atual, com sucesso, e irriga 5.000 ha. com o efluente do maior sistema de lagoas de estabilização do mundo (CEBALLOS et al, 2000).

O aproveitamento das águas residuárias em larga escala, ainda que não planejado, teve início em meados do século XIX, tendo contribuído, nas décadas de 1840 e 1850, para as grandes epidemias de doenças de veiculação hídrica, como o cólera e febre tifóide. Tal fato deveu-se à inexistência de tratamento adequado à água e aos esgotos, pelo desconhecimento dos princípios básicos sanitários. Na segunda metade do século XIX, o desenvolvimento da microbiologia tornou clara a vinculação de doenças à contaminação dos recursos hídricos (ASANO; LEVINE, 1996). Então, começaram a surgir soluções propostas pela engenharia para as alternativas de suprimento de água e a disposição mais segura dos esgotos (MOTA, 2006b).

Em 1912, esgotos inicialmente brutos e depois tratados em tanques sépticos, foram usados no Golden Gate Park, em São Francisco – USA, para irrigar a grama e alimentar os lagos ornamentais. Posteriormente, em 1932, foi construída próxima ao parque uma estação de tratamento de esgotos sendo que o uso dos esgotos tratados continuou até 1985 (METCALF; EDDY, 1991).

Mais recentemente, na região do Mediterrâneo, o uso de esgotos tratados para fins não potáveis, vem ganhando aceitação por parte da população em geral e dos gerenciadores das fontes de água. Na Sicília, sudeste da Itália, sucessivas secas forçaram as autoridades a implementar o reuso para a irrigação. Calcula-se que naquele país, as águas residuárias tratadas contribuem com cerca de 15% da disponibilidade total de água (SHELEF; AZOV, 1987).

Das substâncias que compõem as características dos efluentes industriais, algumas podem liberar nutrientes nos corpos receptores dos efluentes das estações de tratamento e que vêm assumindo importância cada vez maior (DACACH, 1991), destacando-se as fontes de nitrogênio e fósforo que podem contribuir para a eutrofização de corpos de água e trazer consideráveis prejuízos econômicos e ambientais. De outro lado, nitrogênio e fósforo são de

fundamental importância na reutilização do efluente quando na irrigação (fertirrigação) de várias culturas, sendo classificados como macronutrientes essenciais, indispensáveis ao desenvolvimento das plantas e absorvidos em grandes quantidades (FEIGIN et al., 1991).

As formas mais utilizadas para a disposição final de efluentes líquidos são os cursos d'água e o mar. No entanto, a disposição no solo é também um processo viável e aplicado em diversos locais do mundo, sendo a forma mais antiga de depuração controlada de esgotos (ANDRADE NETO, 1997). O procedimento é previsto pela Resolução nº 357 (CONAMA, 2005), condicionado ao fato de que “não poderá causar poluição ou contaminação das águas”.

A disposição de efluentes no solo vegetado é uma metodologia já anteriormente adotada e pode ser considerada além de uma forma de tratamento de efluentes, também como uma técnica para evitar a contaminação direta dos cursos d'água (METCALF; EDDY, 1991).

A aplicação de esgotos no solo pode ser considerada uma forma de disposição final, de tratamento ou ambos (SOUSA et al., 2005). Os esgotos podem então ser aplicados no solo onde se constituem fontes de água e nutrientes para o sistema solo-planta e conduzem à recarga do lençol subterrâneo e, ou, à evapotranspiração. Os poluentes no solo têm basicamente três possíveis destinos: adsorção à matriz do solo, absorção pelas plantas e contaminação da água subterrânea (METCALF; EDDY, 1991).

Vários mecanismos, de ordem física (sedimentação, filtração, radiação, volatilização, desidratação), química (oxidação, redução, precipitação, adsorção, troca iônica e complexação) e biológica (biodegradação e predação) atuam na remoção dos poluentes no solo (Von SPERLING, 1996).

Dentre as formas mais comuns de aplicação no solo, Von Sperling (1996), Andrade Neto (1997) e Telles (2003) citam a infiltração lenta ou fertirrigação. Nessa forma os esgotos são aplicados no solo para suprir água e nutrientes, necessários ao desenvolvimento das plantas. Algum líquido pode ser evaporado ou percolado além do alcance das raízes das plantas, mas a maior parte é incorporada ao tecido vegetal ou transpirada para a atmosfera. Pode ser realizada por aspersão, por sulcos ou por inundação. A infiltração lenta é o sistema que requer maior área superficial por unidade de esgoto tratado. Todavia, é o sistema natural com maior eficiência.

A aplicação de esgotos e efluentes no solo pode ser considerada uma forma de disposição final, de tratamento ou ambos. A disposição de efluentes no solo é fonte de água e nutrientes para o sistema solo-planta e conduz a recarga do lençol subterrâneo e/ou a evapotranspiração (CUNHA, 2006).



### 2.6.1 Tratamento de Esgotos/Efluentes com Plantas

Na natureza existem vários ecossistemas que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano. Nesses ambientes pode-se observar a ação depuradora das águas, que após passarem pelo solo, sofrem um processo de purificação, sendo que este mecanismo natural decorre de três fatores principais (ALZUGARAY; ALZUGARAY, 1988; TRATAMENTO, 2002).

- Ação de filtragem mecânica – a qual depende fundamentalmente da estrutura e granulometria do solo e da sua composição química;
- Ação físico-química – para retenção de ânions e cátions. Esta ação está intimamente ligada com a capacidade de troca catiônica dos solos;
- Ação biológica – que pode ser ativa através dos seguintes mecanismos:
  - 1) ação dos microrganismos do solo – que decompõem a matéria orgânica, ativam os processos biogeoquímicos e atuam sobre microrganismos que existem nas águas poluídas;
  - 2) ação das plantas – que crescem e retiram nutrientes ao mesmo tempo em que o sistema radicular melhora as condições físico-químicas do solo.

Utilizando os princípios básicos de modificações da qualidade da água nesses ecossistemas naturais, foram desenvolvidos sistemas artificiais com diferentes tecnologias que podem ser aplicados na depuração de esgoto doméstico e de diversos outros tipos de efluentes, como águas lixivantes, efluentes de variadas indústrias e da agro-pecuária, escorrências de minas e águas pluviais (TRATAMENTO..., 2002).

Esses sistemas representam uma tecnologia emergente, de baixos custos energéticos, eficiente e esteticamente aceitáveis, susceptível de se revelar como uma boa alternativa aos sistemas convencionais no tratamento de águas residuárias. São conhecidos em português, pelas denominações de trincheiras filtrantes, lagoas ou leitos de macrófitas, alagados construídos, fito-lagunagem, fito-ETARs – Estações de Tratamento de Águas Residuárias através de Plantas ou ainda, sistemas de zona de raízes (DIAS et al., 2002).

A vegetação desempenha um papel fundamental no tratamento de efluentes com plantas pela transferência de oxigênio, através das raízes e rizomas, ao fundo das bacias de tratamento, propiciando um ambiente adequado ao desenvolvimento de microrganismos que atuam no tratamento biológico. No entanto, a remoção de contaminantes das águas residuárias ocorre em completas interações de fenômenos de natureza química, física e biológica. Trata-se do complexo substrato-microrganismo-planta que promove a melhoria da qualidade da

água, e não somente as plantas ou qualquer componente isolado (STOWELL et al., 1979).

Segundo Armstrong (1979), as raízes das plantas utilizadas no tratamento de esgotos devem prover superfície para fixação das bactérias aeróbias e fornecer-lhes oxigênio, retirar nutrientes da solução e absorver consideráveis volumes de água. Assim, a seleção das plantas para uma estação de tratamento deve ser criteriosa, e será influenciada pela capacidade da planta em se enraizar e desenvolver no meio saturado em esgoto, sua habilidade em tratar esgotos a níveis aceitáveis e o montante de massa a ser produzido.

Tanto a parte aérea das plantas quanto a subterrânea (raízes) possui espaços intercelulares, também chamados de poros, nos quais se localizam gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{HSO}_2$ ). De uma forma geral, a parte aérea da planta não tem muita dificuldade de obter oxigênio, pois está envolta pelo ar (20% de oxigênio). Todavia, as raízes, que também necessitam de oxigênio para respiração, pois para absorção e o acúmulo de íons é necessário energia, estão em um ambiente (o solo) que, dependendo de suas propriedades físicas, pode acumular pouco oxigênio. A dificuldade é aumentada quando o solo se encontra saturado de água, pois a difusão de oxigênio na água é 10.000 vezes menor do que no ar. Assim é necessário que as plantas possuam um dispositivo que garanta o fornecimento de oxigênio às raízes (BRIX; SHIERUP, 1990).

Outra maneira encontrada pelas plantas para superar a deficiência de oxigênio é a formação de cavidades no centro dos cilindros vasculares. Foram avaliadas plântulas de ervilha (*Pisum sativum* L. cv. Alaska) sob diferentes condições de temperatura, umidades e concentração de oxigênio no substrato. Quando submetidas à temperatura de 25°C, as raízes primárias sempre formavam longas cavidades lisigíneas no centro do cilindro vascular. O mesmo não ocorria quando a temperatura era de 10°C. De outro lado, quanto menor a disponibilidade de oxigênio no substrato, maior foi a formação das cavidades. As raízes primárias, que não desenvolveram cavidades a 25°C, apresentaram espaços intercelulares no tecido parenquimatoso de seus cilindros vasculares. Os resultados suportam a hipótese de que em altas temperaturas, a elevada demanda respiratória excede a taxa de difusão de oxigênio para o centro das porções maduras das raízes da ervilha que formam cavidades. E esta situação é agravada por condições de alagamentos. Portanto, as cavidades vasculares devem funcionar como um tipo de aerênquima, concluem os autores (GLADISH; NIKI, 2000).

## 2.7 BAMBU

Conforme citado por Judziewicz et al. (1999), o Brasil é o país com maior diversidade de espécies de bambu no Novo Mundo. Em relação aos bambus herbáceos há duas subfamílias, três gêneros e sete espécies, enquanto em relação aos bambus lenhosos há 18 gêneros, sendo seis endêmicos, e 155 espécies, sendo que 83% destas são também endêmicas. Os gêneros com maior número de espécies são *Merostachys* Spreng (53 espécies) e *Chusquea* (40 espécies). Ao todo são 34 gêneros e 232 espécies no Brasil, sendo que algumas ainda não foram formalmente descritas, além de 174 espécies (75%) serem consideradas endêmicas (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004).

No Brasil as espécies nativas geralmente são conhecidas pelos nomes de taquari, taquara, taboca, jativoca, taquaruçu, taboca-açu, conforme a região de ocorrência. (FILGUEIRAS, 1988) identificou e descreveu nove espécies de bambus no estado nativo na APA de São Bartolomeu, Distrito Federal. Das nove espécies encontradas, sete habitavam exclusivamente as matas ciliares: *Guadua paniculata*, *Olyra ciliatifolia*, *O. humilis*, *O. latifolia*, *O. taquara*, *Merostachys multiramea* e *Radiella esenbeckii*. *A Apoclada canavieira* é encontrada exclusivamente no cerrado *sensu strictu* e a *Actinocladum verticillatum* é encontrada ora no ecótono entre a mata ciliar e o cerrado, ora entre o brejo e a mata ciliar e, mas raramente, em cerrado. A espécie *Olyra taquara* habita preferencialmente matas ciliares inundadas (SILVA, 2005).

As espécies exóticas mais comuns no Brasil são: *Bambusa vulgaris* Schrad, *B. vulgaris* var. *vittata*, *B. tuldoides*, *Dendrocalamus giganteus* e algumas espécies de *Phyllostachys*. Essas espécies, todas de origem asiática, foram trazidas pelos primeiros colonizadores portugueses, posteriormente pelos orientais e difundiram-se facilmente pelo país. Esta dispersão ocorreu de forma tão generalizada que muitos leigos acreditam ser nativa a espécie *Bambusa vulgaris* (SILVA, 2005).

Filgueiras e Gonçalves (2004) descreveram algumas diferenças básicas entre as duas principais famílias de bambus que são a família das gramíneas e a subfamília *Bambusoideae*. Esta subdivisão separou os bambus em herbáceos e lenhosos (Tabela 04).

Os bambus lenhosos são caracterizados por rizomas fortes, bem desenvolvidos, brotos protegidos por folhas caulinares, completo sistema de ramificação, lâmina foliar descídua, florações cíclicas e monocárpicas e por se desenvolverem em locais abertos, são polinizados pelo vento. Existe no mundo um total de 90 gêneros e 1.200 espécies de bambus. Todavia, existem muitas divergências com relação a esta diversidade (LONDOÑO, 2002).

**Tabela 04** Principais diferenças entre bambus herbáceos e bambus lenhosos.

<b>Características</b>	<b>Herbáceos</b>	<b>Lenhosos</b>
Comprimento	Geralmente 2 m	1-35 m
Ramificações	Simples	Complexas
Resistências do colmo	Não lignificado	Lignificado
Folha do colmo	Ausente	Presente
Lígula externa	Ausente	Presente
Flores	Unissexuais	Bissexuais
Florescimento	Contínuo (policárpico)	Sazonal (monocárpico)
Exposição direta ao sol	Intolerante	Tolerante

Fonte: Filgueiras e Gonçalves (2004).

Conforme Soderstrom e Calderón (1979), os bambus ocorrem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa. Estes totalizam 90 gêneros e 1100 espécies, que se distribuem desde 51° de latitude Norte (Japão) até 47° latitude Sul (Chile) e desde o nível do mar até 4.300 metros de altitude, reportada nos Andes equatorianos.

Liese e Kumar (2003) em seus trabalhos registram mais de 1.575 espécies. Segundo Kumar (2002) apud Silva (2005), são 1.200 espécies distribuídas em 75 gêneros existentes no mundo e a NMBA – National Mission on Bamboo Applications (2004), apresenta 111 gêneros e 1.600 espécies em seus anais. Uma das possíveis explicações para estas divergências pode estar relacionada ao fato da flor e o fruto não estarem presentes em grande parte do material botânico coletado para a identificação, devido aos diferentes intervalos de florescimento que ocorrem em muitas espécies. Considerando que estes dois órgãos vegetais têm um grande número de informações botânicas, as suas ausências poderiam induzir a opiniões equivocadas no processo de identificação. Outra possibilidade poderia estar associada à prática comum da propagação da espécie por clones. A parte de uma planta que sofreu uma mutação e que foi posteriormente utilizada como propágulo, poderia dar origem a uma nova planta com algumas diferenças morfológicas e ser considerada por engano como uma nova espécie (SILVA, 2005).

No continente Americano existem 41 gêneros e 440 espécies distribuídas desde o Norte do México até o Chile, com uma só espécie no Sudeste dos Estados Unidos. Cerca de oitenta e cinco por cento dos bambus herbáceos do mundo se encontram no Neotrópico. Sua distribuição é registrada desde o México até a Argentina, sendo o Brasil o país mais rico em gêneros e espécies. Estes bambus diferem dos lenhosos por terem colmos herbáceos, sistema simples de ramificação, sistema rizomático simples, florações frequentes, não cíclicas, e crescem geralmente nos sub-bosques da selva tropical e subtropical abaixo dos 1.500 m de

altitude (LONGHI; RODRIGUEZ, 1998).

Quanto à cultura do bambu a vantagem é a sua pouca exigência com relação ao solo, uma vez que produz bem em quase todos os tipos, porém, os solos férteis, soltos e bem drenados, com pH entre 5,0 e 6,5 são os mais adequados para o seu desenvolvimento (PEREIRA, 2001). Solos muito úmidos ou com lençol freático alto podem inibir o seu bom desenvolvimento, enquanto solos salinos não são adequados ao seu cultivo. Quanto à necessidade de chuvas, de uma maneira geral, os bambus se desenvolvem bem com precipitações de 1.000 ou mais milímetros anuais (SEPÚLVEDA et al., 2004).

Embora sejam gramíneas, os bambus possuem o hábito arborescente e da mesma forma que as árvores apresentam uma parte aérea formada pelo colmo, folhas e ramificações e outra subterrânea constituída pelo rizoma e raiz (Figura 04).

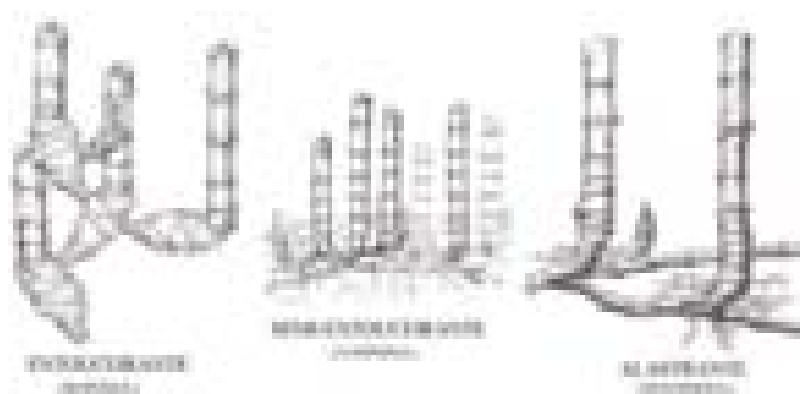


**Figura 04** Partes constituintes da planta do bambu (SILVA, 2005).

#### **- Rizomas**

Das partes do bambu o rizoma é um caule subterrâneo constituído de nós e entrenós e folhas reduzidas a escamas que se desenvolve paralelamente à superfície do solo. Não deve ser confundido com a raiz que é uma parte distinta da planta e com algumas funções complementares e outras completamente diferentes (Figura 05). Quanto ao tipo de rizoma basicamente existem dois grupos distintos de bambu: os entouceirantes (simpodiais) e os alastrantes (monopodiais). Alguns autores propõem o semi-entouceirante (anfipodial) como um terceiro grupo que dispõe de ambas características anteriores (SILVA, 2005).

Dos bambus entouceirantes, os gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua* são os principais representantes. A maior parte destes bambus tem um melhor desenvolvimento em climas tropicais. Já em temperaturas baixas apresentam um crescimento mais lento. Os seus rizomas são sólidos, com raízes na sua parte inferior e se denominam paquimorfos por serem curtos e grossos.



**Figura 05** Diferentes tipos de rizomas de bambu, quanto à formação de touceiras (SILVA, 2005).

Os novos rizomas são originados das gemas laterais. Muitas destas gemas permanecem inativas de forma permanente ou temporária. Apenas a gema apical do rizoma pode dar origem ao um novo colmo e por conseqüência cada rizoma emitirá no máximo um colmo. Este processo continua de tal maneira que o desenvolvimento dos rizomas forma uma touceira densa e concêntrica (SILVA, 2005).

Os bambus alastrantes ou leptomorfos têm uma melhor resistência ao frio. A China é o principal centro de origem e tem como representante mais conhecido o gênero *Phyllostachys*. Os rizomas leptomorfos raramente são sólidos e de um modo geral apresentam diâmetros menores que o dos seus colmos correspondentes. Segundo Silva (2005), estes bambus são considerados invasores, necessitando de cuidados especiais para serem cultivados. Estes cuidados referem-se à necessidade de manter a floresta plantada confinada em uma área previamente definida, evitando desta forma conflitos com vizinhos, com as áreas de reserva legal, áreas de preservação permanente e a competição com outras culturas na mesma propriedade.

#### - Raízes.

Com relação aos bambus não é adequado a utilização do termo sistema radicular, sendo mais indicado sistema subterrâneo, que define o conjunto rizomas e raízes. As raízes dos bambus partem dos rizomas, se lançam na projeção da copa numa profundidade diretamente proporcional às dimensões de cada espécie (FILGUEIRAS, 1986). Por ser uma monocotiledônea, a raiz é fasciculada, destituída da raiz principal. Além de fixar a planta juntamente com os rizomas, as raízes têm a função de extrair nutrientes e água do solo.

#### - Folhas e Ramificações.

Não diferente de outras plantas, as folhas dos bambus (Figura 06) têm a função de elaborar as substâncias necessárias ao rápido crescimento da planta realizando a fotossíntese. As características como dimensão, formato da lâmina e presença de pelos nas folhas são informações taxonômicas de grande importância na identificação das espécies (SILVA, 2005).

Durante o desenvolvimento da planta, uma grande quantidade de folhas é depositada constantemente no solo. Este fenômeno de renovação demonstra que esta planta tem uma notável capacidade de reposição foliar (LONDOÑO, 2002).



**Figura 06** Diferentes Folhas do bambu (SILVA, 2005).

Os bambus quando nas primeiras fases do seu desenvolvimento têm os seus colmos protegidos pela folha do colmo que apresenta-se como uma bainha com uma área muitas vezes superior ao da lâmina. Quando o ápice do colmo ultrapassa o dossel, alcançando a luz, aumenta a emissão de ramificações e o solo na projeção da planta fica tomado pelas folhas caulinares que vão gradativamente se desprendendo do colmo. Nos bambus do gênero *Guadua* as folhas caulinares são mais persistentes e podem acompanhar o colmo por boa parte da sua existência (AZZINI et al., 1981).

Nos bambus, as ramificações originam-se das gemas localizadas nos nós e são sempre alternadas. Podem ser diferentes entre as espécies, além de outras características, pelo número e a posição que partem do colmo assim como pela presença ou não de espinhos. Espinhos são comuns nos bambus do gênero *Guadua*, embora não sejam restritivos, representam uma dificuldade a mais no manejo de florestas comerciais de tais bambus. São tão agressivos que podem facilmente perfurar um calçado (FILGUEIRAS, 1986).