

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

Curso de Engenharia Civil

Moacir da Luz Soares

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
TRATAMENTO DE ESGOTO PARA UM CAMPUS
UNIVERSITÁRIO**

Ijuí/RS

2010

Moacir da Luz Soares

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
TRATAMENTO DE ESGOTO PARA UM CAMPUS
UNIVERSITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

**Ijuí
2010**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.

Prof. Giuliano Crauss Daronco, M.Sc. Eng. – Orientador
UNIJUÍ/DeTec

Banca Examinadora

Prof. Raquel Kohler, Mestre Planejamento Urbano
UNIJUÍ/DeTec

Dedico este trabalho a minha família, a qual sempre acreditou e participou, me apoiando nessa conquista.

AGRADECIMENTOS

Existem circunstâncias na vida em que é fundamental poder contar com o apoio e a ajuda de algumas pessoas.

A essas pessoas, as quais pude contar para a realização deste trabalho de conclusão, os mais sinceros agradecimentos:

Ao professor Giuliano Daronco, orientador deste trabalho, pelas indispensáveis sugestões e discussões;

Aos colegas, Luís Souza e Tâmelá Campos, pelas sugestões e imprescindível ajuda na coleta de dados;

À professora Doris Montardo, pela sua atenção e contribuição com informações e dados fornecidos;

À Instituição Educacional, por conceder a realização deste trabalho, com o fornecimento de dados, necessários para o presente estudo.

RESUMO

As cobranças atuais da legislação, de acordo com Ministério das Cidades (2010) e da sociedade em geral, quanto às responsabilidades ambientais têm impulsionado o governo, os municípios, as instituições, empresas e indústrias a um maior compromisso com o meio ambiente. Sendo assim, um dos indicadores da responsabilidade ambiental de uma organização, seja controlada pelo Estado ou privada, é a minimização, tratamento e destino adequado de suas águas residuárias. No entanto, o procedimento para se atingir o ideal não só técnico como também econômico é complexo e, deve-se avaliar a relação custo/benefício na escolha da melhor e mais oportuna solução para o tratamento. Este trabalho apresenta alternativas possíveis de aplicação no tratamento do esgoto doméstico, gerado no campus da Unijuí – Ijuí/RS, com base técnica e econômica. Para a escolha da mais oportuna alternativa, foi aplicado um modelo da CETESB (1988), que diz respeito a um algoritmo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos. O modelo seleciona algumas das opções estudadas, e a partir destas, através de um comparativo, utilizando critérios como demanda de área, potência para aeração, volume de lodo e custos de implantação, operação e manutenção, tem-se a estimativa dos valores de cada sistema. Cinco sistemas foram selecionados pelo algoritmo e, a partir destes, a análise dos critérios identificou como sistema mais viável a opção reator anaeróbio de fluxo ascendente. A fim de garantir um efluente final com maior qualidade, cujo destino final será o corpo receptor do Arroio Espinho, optou-se por sugerir um sistema com pós-tratamento. Assim, o sistema composto por Reator anaeróbio de fluxo ascendente seguido de filtro anaeróbio, foi a alternativa indicada para o tratamento do esgoto doméstico, gerado no campus da Instituição, apresentando um demanda de área de 742 m², dispensando potência para aeração, um volume de lodo a ser disposto de 222 m³/ano, custos estimados de implantação de R\$ 426.362,50 e custos estimados de operação e manutenção de R\$ 33.367,50. Os resultados encontrados sugerem que a metodologia adotada poderá auxiliar na escolha de sistemas de tratamento de esgotos domésticos para pequenas comunidades, através de seu pré-dimensionamento, com base em particularidades típicas de cada localidade.

Palavras-chaves: tratamento de esgoto doméstico, meio ambiente, modelo de tomada de decisão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Gráfico de proporções residenciais esgotadas, por estratos populacionais – 2000.	22
Figura 02: Gráfico da rede coletora de esgoto nos municípios brasileiros.....	23
Figura 03: Evolução percentual das principais variáveis do esgotamento sanitário – Brasil – 2000/2008.	24
Figura 04: Sistema separador absoluto.....	27
Figura 05: Sistema combinado.	27
Figura 06: Hidrograma típico da vazão afluente a uma ETE.	29
Figura 07: Impurezas contidas na água.	29
Figura 08: Composição dos esgotos domésticos.	30
Figura 09: Fluxograma genérico de tratamento de esgoto sanitário com níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário.	34
Figura 10: Esquema com as associações de sistemas anaeróbios seguidos de aeróbios para tratamento secundário.....	36
Figura 11: Aspectos críticos e importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgoto. .	37
Figura 12: Sistema de tanque séptico – esquema geral.	39
Figura 13: Tanque séptico de câmara única.	40
Figura 14: Tanque séptico de câmaras em série.	40
Figura 15: Sistema tanque séptico – sumidouro.....	41
Figura 16: Sistema tanque séptico – valas de infiltração.....	41
Figura 17: Esquema de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente.	42
Figura 18: Sistema tanque séptico – filtro anaeróbio.	42
Figura 19: Sistemas de lagoas de estabilização.	44
Figura 20: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa.....	45
Figura 21: Fluxograma típico de um sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas.....	46
Figura 22: Fluxograma típico de um sistema de lagoas aeradas facultativas.....	47
Figura 23: Fluxograma típico de um sistema de lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de decantação.....	49
Figura 24: Fluxograma típico de um sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série.	49

Figura 25: Fluxograma típico de um sistema composto por reator UASB seguido por lagoas de polimento em série.....	50
Figura 26: Fluxograma típico de um sistema de infiltração lenta por aspersão.	51
Figura 27: Fluxograma típico de um sistema de infiltração rápida.	53
Figura 28: Fluxograma típico de um sistema de escoamento superficial.....	54
Figura 29: Fluxograma típico de um sistema com reator anaeróbio de fluxo ascendente.	54
Figura 30: Representação esquemática do funcionamento de um reator UASB.....	55
Figura 31: Vista do valo de oxidação da ETE – UFRN.	58
Figura 32: Fluxograma para o planejamento de estações de tratamento de esgotos.	60
Figura 33: Algoritmo para seleção de sistemas de tratamento de esgotos em pequenas comunidades.	62
Figura 34: Vista aérea do campus da Unijuí – Ijuí/RS.....	70
Figura 35: Perfil litológico.	71
Figura 36: Vista aérea do espaço físico do campus da Unijuí – Ijuí/RS.	75
Figura 37: Região disponível para locação da estação de tratamento.	76
Figura 38: Medição da declividade na região disponível.	77
Figura 39: Energia elétrica próxima à região disponível.....	79
Figura 40: Calha do Arroio Espinho.	81
Figura 41: Gráfico demanda de área média.....	83
Figura 42: Gráfico do volume médio de lodo desidratado a ser disposto anualmente.....	84
Figura 43: Gráfico dos custos médios de implantação.....	86
Figura 44: Gráfico dos custos médios anual de operação e manutenção.	86
Figura 45: Fluxograma típico de um sistema com reator UASB seguido de filtro anaeróbio.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Consumo de água típico de alguns estabelecimentos institucionais.....	28
Quadro 02 – Composição do esgoto doméstico.	31
Quadro 03 – Principais características físicas dos esgotos domésticos.....	32
Quadro 04 – Algumas alternativas de degradação biológica para tratamento de esgoto.	35
Quadro 05 – Comparação entre sistemas aeróbios e anaeróbios de tratamento de águas residuárias.....	36
Quadro 06 – Dados da região disponível dentro da área de projeto.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesquisa e medidas saneadoras na Inglaterra do século XIX.....	18
Tabela 2 – Primeiras estações de tratamento de esgotos (1910 – 1930).	19
Tabela 3 – Histórico do saneamento no Brasil.....	19
Tabela 4 – Proporção de municípios, por condição de esgotamento sanitário – 2000.....	21
Tabela 5 – Áreas estimadas para tratamento de esgotos por sistemas com fossas sépticas. ...	43
Tabela 6 – Possíveis faixas de variação do coeficiente de infiltração.....	43
Tabela 7 – Áreas e volumes estimados requeridos no tratamento de esgoto domésticos por UASB.	57
Tabela 8 – Áreas aproximadas requeridas no tratamento de esgotos por valos de oxidação.	59
Tabela 9 – Comparação entre as opções de tratamento de esgotos utilizadas no trabalho. ...	66
Tabela 10 – Características típicas dos sistemas de tratamento de esgoto estudados, expresso em valores per capita.	69
Tabela 11 – Resultados dos ensaios de infiltração.	73
Tabela 12 – Declividade média e restrições quanto ao uso do solo.	77
Tabela 13 – Características do solo da região disponível.....	78
Tabela 14 – Nível médio do lençol freático.	78
Tabela 15 – Valores médios estimados de potência e custos de sistemas com aeradores de superfície.	79
Tabela 16 – Pré-seleção de alternativas, conforme algoritmo da CETESB (1988).	80
Tabela 17 – Demanda de área pela estação de tratamento de esgoto.....	82
Tabela 18 – Volume de lodo pela estação de tratamento de esgoto.....	84
Tabela 19 – Custos provocados pela estação de tratamento de esgoto.	85
Tabela 20 – Resumo comparativo entre alternativas estudadas – População de 7415 habitantes.....	88
Tabela 21 – Principais características estimadas dos sistemas UASB seguidos de pós-tratamento – População de 7415 habitantes.	91
Tabela 22 – Esgoto coletado e tratado, segundo classes de tamanho da população – Brasil 2000.	93
Tabela 23 – Distribuição das cidades em classes de tamanho da população – Brasil 2004.....	93

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP: *Analytic Hierarchy Process* (Processo de Hierarquia Analítica)

BNH: Banco Nacional de Habitação

CAESB: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

EIA: Estudo de Impacto Ambiental

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR: Norma Brasileira

OMS: Organização Mundial da Saúde

PAC: Programa de Aceleração do Crescimento

PLANASA: Plano Nacional de Saneamento

PLANSAB: Plano Nacional de Saneamento Básico

PND: Programa Nacional de desestatização

RIMA: Relatório de Impacto Ambiental

RS: Rio Grande do Sul

SFS: Sistema Financeiro do Saneamento

SNIS: Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento

UASB: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (Reator anaeróbio de fluxo ascendente)

UNEP: *United Nations Environment Programme* (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)

UNIJUÍ: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

%: Por cento

°C: graus *Celcius*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA DA PESQUISA	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO	13
1.4 OBJETIVOS.....	13
1.4.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.5 JUSTIFICATIVAS	13
1.6 SISTEMATIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 UM BREVE HISTÓRICO DE TRATAMENTO DO ESGOTO	17
2.2 CONSIDERAÇÕES ATUAIS SOBRE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL.....	21
2.3 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS.....	26
2.3.1 DEFINIÇÃO DE ESGOTO	26
2.3.2 DA QUANTIDADE DE ESGOTOS	27
2.3.3 DA QUALIDADE DE ESGOTOS	29
2.3.4 PORQUE E COMO TRATAR OS ESGOTOS	32
2.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	33
2.5 SISTEMAS DE TRATAMENTO UTILIZADOS NO ESTUDO.....	36
2.5.1 FOSSAS SÉPTICAS	38
2.5.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	44
2.5.3 DISPOSIÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO	50
2.5.4 REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE	54
2.5.5 VALOS DE OXIDAÇÃO.....	57
2.6 USO DE TÉCNICAS QUANTITATIVAS	59
2.7 ESCOLHA DO SISTEMA MAIS ADEQUADO.....	60
2.8 FATORES RELEVANTES PARA A ESCOLHA DA ALTERNATIVA DE TRATAMENTO.....	63
2.9 PROCESSO DE DECISÃO ENTRE AS ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO.....	65
3. MÉTODO E MATERIAIS	67
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	67
3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA	67
3.2.1 PROCEDIMENTO DE COLETA E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	67
3.2.2 ESTUDO DE CASO	70
3.2.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	74
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	75
4.1 APLICABILIDADE DO ALGORITMO DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	75
4.1.1 DISPONIBILIDADE DE ÁREA	75
4.1.2 DECLIVIDADE DO TERRENO	77
4.1.3 PERMEABILIDADE DO SOLO	78
4.1.4 NÍVEL MÉDIO DO LENÇOL FREÁTICO.....	78
4.1.5 AVALIAÇÃO DISPONIBILIDADE/INTERESSE EM IMPLANTAR AERADORES DE SUPERFÍCIE	79
4.1.6 PRÉ-SELEÇÃO ENTRE ALTERNATIVAS ESTUDADAS	80

4.2	AVALIAÇÃO DAS RESTRIÇÕES AMBIENTAIS	80
4.3	AVALIAÇÃO ALTERNATIVAS <i>VERSUS</i> CRITÉRIOS.....	82
4.3.1	CRITÉRIO: DEMANDA DE ÁREA	82
4.3.2	CRITÉRIO: POTÊNCIA PARA AERAÇÃO.....	83
4.3.3	CRITÉRIO: VOLUME DE LODO.....	84
4.3.4	CRITÉRIO: CUSTOS.....	85
4.3.5	ANÁLISE DOS CRITÉRIOS	87
4.4	PROPOSTA PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO	89
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
5.1	CONCLUSÕES	93
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	ANEXO A – CONTRIBUIÇÃO DIÁRIA DE DESPEJOS POR TIPO DE PRÉDIO E DE OCUPANTES	99
	ANEXO B – PLANTA PLANIALTIMÉTRICA	101
	ANEXO C – PLANTA DE COBERTURA DE SOLOS	103

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tema da pesquisa

Tratamento de esgoto doméstico.

1.2 Delimitação do tema

Esta pesquisa está norteada em apresentar alternativas de tratamento para o esgoto doméstico, gerado no Campus da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijuí) /Ijuí – RS.

1.3 Formulação da questão de estudo

Qual a melhor alternativa, técnica e econômica, para o tratamento do esgoto doméstico gerado no Campus da Unijuí/Ijuí – RS?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

A busca da melhor alternativa, técnica e econômica, para o tratamento do esgoto doméstico gerado no Campus da Unijuí/Ijuí – RS.

1.4.2 Objetivos específicos

- Apresentar alternativas possíveis de aplicação no tratamento do esgoto;
- Analisar as alternativas selecionadas, de acordo com um algoritmo para seleção de sistemas de tratamento, conforme a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1988);
- Sugerir a aplicação do sistema mais viável, com base técnica e econômica.

1.5 Justificativas

O trabalho se explica pelo fato de estarmos vivendo um novo momento nos setor de saneamento básico, o assunto ganha a cada dia, maior destaque pelo impacto que representa e por uma crescente preocupação com a qualidade de vida, a saúde humana e o meio ambiente.

Atualmente, segundo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) (2009 apud Revista CREAMJ, 2010) somente 42% dos brasileiros são atendidos por rede de

esgoto. Seguindo o ritmo atual de investimento, o país demorará em torno de 40 anos para cumprir a meta do milênio (representada por uma série de oito compromissos aprovados entre líderes de 191 países membros das Organizações das Nações Unidas), que seria oferecer, até 2015, rede de coleta de esgotos a 70% da população. Contudo, a cobertura a rede geral de esgoto é apenas uma condição necessária para viabilizar o tratamento, que é a condição suficiente que os benefícios da coleta se materializem na sua integridade.

Portanto, é notório que estamos diante de importantes avanços e também desafios. A Universalização do Saneamento Básico foi assumida como um compromisso de toda a sociedade brasileira, conforme a Lei nº 11.445 (2007, p.01), que “estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico”.

Outra relevante iniciativa, também pautada pela Lei nº 11.445 (2007), é a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), cuja proposta é buscar o desenvolvimento de mecanismos de gerência dos serviços e incentivar o desenvolvimento de modelos alternativos de administração que permitam obter níveis crescentes de eficiência e eficácia e a sustentabilidade social, ambiental, econômica e financeira do saneamento básico, com vistas ao alcance das metas de universalização. A determinação era de até dezembro de 2010 todos os municípios brasileiros deveriam ter elaborado seus planos de saneamento básico, uma das orientações mais rígidas e efetivas do PLANSAB. Porém, conforme Decreto Nº 7.217 (de 21 de junho de 2010) que adiou o prazo do PLANSAB para 2014 com a seguinte redação no Art. 26:

§ 2º A partir do exercício financeiro de 2014, a existência de plano de saneamento básico, elaborado pelo titular dos serviços, será condição para o acesso a recursos orçamentários da União ou a recursos de financiamentos geridos ou administrados por órgão ou entidade da administração pública federal, quando destinados a serviços de saneamento básico. (DECRETO Nº 7.217, DE 21 DE JUNHO DE 2010, p. 10).

Partindo desse pressuposto, conforme Conselho em Revista (2010), especialistas apontam o importante papel dos profissionais da Engenharia no desenvolvimento do PLANSAB nos municípios. Os técnicos ainda enfatizam as seguintes áreas e ações em que os profissionais da área tecnológica podem atuar: construção de novos sistemas, expansão e recuperação dos sistemas existentes, tratamento específico conforme as diversidades e no sentido da superação das desigualdades regionais e sociais.

Mais um fato, segundo um novo relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2010), que apela para transformar esgoto insalubre em um recurso

econômico ambientalmente seguro, é a constatação que a água contaminada e poluída agora mata mais pessoas do que todas as formas de violência, incluindo as guerras. Além disso, recomenda sistemas de reciclagem de água e projetos multimilionários para o tratamento dos esgotos.

É perceptível que no início deste século o mundo enfrenta uma crise da água, tanto de quantidade e qualidade, ocasionada pelo crescimento populacional contínuo, industrialização, padrões de vida crescentes e más estratégias de uso da mesma (UNEP, 2010).

Segundo uma publicação do Instituto Eco Planeta (2010), o relatório intitulado de água doente, apresenta outros dados relevantes, como a constatação de que 90% das águas residuais descarregadas diariamente nos países em desenvolvimento não é tratada, assim contribuindo para a morte de cerca de 2,2 milhões de pessoas por ano por doenças diarréicas, ocasionadas por água imprópria para consumo humano e higienização. Pelo menos 1,8 milhões de crianças menores de cinco anos morrem anualmente de doenças relacionadas com a água, representando uma morte no mundo a cada 20 segundos. Devido a essas questões, o alerta para a necessidade de adoção de medidas urgentes.

"Se o mundo pretende sobreviver em um planeta de seis bilhões de pessoas, caminhando para mais de nove bilhões até 2050, precisamos nos tornar mais inteligentes sobre a administração de água de esgoto". (UNEP, 2010, p. 06).

A publicação abaixo mencionada, do Instituto Akatu, faz uma reflexão a respeito de percepções sobre nossas atitudes perante o despejo com o meio ambiente.

Trata-se de um dado concreto de que nós, humanos, somos diretamente prejudicados por nossas ações irresponsáveis contra o meio ambiente. Portanto, espera-se que informações como essas possam sensibilizar aquela parcela da população que ainda não se preocupa com a conservação do meio ambiente, que descartam de forma incorreta materiais perigosos para a saúde humana. Por outro lado, é um estímulo e incentivo para aqueles que têm essa preocupação, no sentido de que devem redobrar seus esforços, sensibilizando familiares, vizinhos e até colegas de trabalho. (INSTITUTO AKATU, 2010, p. 01).

Por fim, a necessidade de reflexão acerca dos desafios e oportunidades para o aperfeiçoamento do Saneamento Básico, esclarece o desenvolvimento dessa pesquisa. Com isso, torna-se possível o estudo de opções de tratamento de esgotos de pequenas bacias hidrográficas, com populações reduzidas, no qual, o campus da instituição corresponde, servindo de alternativa de tratamento para pequenos municípios.

1.6 Sistematização do trabalho

O estudo foi estruturado em cinco capítulos, além das referências bibliográficas e dos anexos complementares, sendo assim distribuídos:

O capítulo 1 apresenta o tema da pesquisa, a delimitação do tema, a formulação da questão de estudo, o objetivo geral, os objetivos específicos e a justificativa pela realização do trabalho.

No capítulo 2 é desenvolvida a revisão da literatura, abordando um breve histórico de tratamento de esgotos, como também algumas considerações atuais sobre esgotamento sanitário no Brasil, classificação e características dos mesmos, ainda abordará os sistemas de tratamentos de esgotos utilizados no estudo.

Também é assunto do segundo capítulo o uso de técnicas quantitativas, fatores mais relevantes e processos de decisão, os quais auxiliam na escolha do sistema mais adequado.

O capítulo 3 abordará a metodologia, tratando da classificação da pesquisa, planejamento da mesma, como também dos procedimentos de coleta e interpretação dos dados.

No capítulo 4 é realizada a aplicabilidade do algoritmo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos (CETESB, 1988), como também uma avaliação das restrições ambientais, um comparativo entre as alternativas selecionadas pelo modelo, considerando critérios como demanda de área, potência para aeração, volume de lodo e custos. Ao final do capítulo, foi sugerido um sistema para o tratamento do esgoto doméstico gerado no campus da Unijuí – Ijuí/RS.

O capítulo 5 expõe as considerações finais referentes ao trabalho realizado, além de sugestões de estudos futuros relacionados ao tema.

Por fim, o trabalho exhibe as referências bibliográficas utilizadas na sua elaboração, como também os anexos necessários para um melhor entendimento e compreensão da leitura do texto abordado.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Um breve histórico de tratamento do esgoto

Analisando a história de tratamento no mundo, desde os tempos mais remotos, quando os homens começaram a se assentar em cidades, a coleta das águas servidas, passava a ser uma preocupação já daquela época. Em 3750 a.C. se tem notícia que eram construídas galerias de esgotos na Babilônia e na Índia. No ano 3100 a.C., o emprego de manilhas cerâmicas era utilizado para essa finalidade (NETTO, 1984 apud NUVOLARI, 2003).

Na Idade Média, não se tem conhecimento de grandes realizações nos serviços de esgotamento sanitário, cuja negligência, certamente foi às causas das grandes pestes ocorridas na Europa, no período entre os séculos XIII e XIX, coincidindo com o desordenado crescimento de algumas cidades (SAWYER e CARTY, 1978 apud NUVOLARI, 2003).

De acordo com o mesmo autor, a história registra, entre os anos 1345-1349, uma terrível pandemia de peste bubônica na Europa, com 43 milhões de vítimas fatais, num período que a população mundial não atingia a 400 milhões. Hoje em dia, temos conhecimento que a peste é transmitida por pulgas infectadas por ratos, isso comprova que a limpeza não era precisamente uma característica daquelas populações.

A seguir, Nuvolari (2003) faz uma reflexão das possíveis causas das epidemias ocorridas naqueles tempos.

A Inglaterra certamente foi um dos países europeus mais castigados por epidemias. As causas dos surtos epidêmicos naquele país hoje parecem bem evidentes, podendo-se citar: tendo sido o berço da revolução industrial sofreu intensa migração populacional do campo em direção as cidades; as cidades ainda não contavam com a necessária infra-estrutura urbana para atender a esse novo contingente populacional; nos rios ingleses, de curta extensão, contavam-se diversas cidades ao longo de seus cursos, não apresentando, portanto, condições naturais propícias à autodepuração; não somente os ingleses mas o mundo desconhecia o microbiologia e a relação entre certas doenças e a qualidade das águas.(NUVOLARI, 2003, p. 02).

Acredita-se que pelos problemas apresentados, a Inglaterra foi o primeiro país a se comprometer de iniciar pesquisas voltadas as necessidades de saneamento. Fato que se comprova na Tabela 1, na qual descreve estudos relevantes na garantia de qualidade das águas.

Tabela 1 – Pesquisa e medidas saneadoras na Inglaterra do século XIX

Ano	Ocorrência
1822	Primeiro levantamento das condições sanitárias do Rio Tâmsa.
1848	Editadas as primeiras leis de saneamento e saúde pública.
1854	John Snow prova cientificamente relação entre doenças e a qualidade das águas.
1857	Criado o Conselho de Proteção das Águas do Rio Tâmsa.
1865	Primeiros experimentos sobre microbiologia de degradação de lodos.
1882	Início das investigações sobre os fundamentos biológicos que deram origem ao processo de lodos ativados para o tratamento de esgotos.
1914	Ardem e Lockett apresentam o processo de lodos ativados para o tratamento de esgotos.

Fonte: Adaptado de Metacalf e Eddy (1977, apud Nuvolari, 2003)

Conforme Neto (1997, apud NUVOLARI, 2003, p. 03) coloca que “Concomitantemente, em 1872 na França, Jean Louis Mouras descobre as vantagens de se acumular o lodo dos esgotos em um tanque, antes de lançá-lo numa fossa absorvente; surge o tanque séptico”.

Com o crescimento exponencial das cidades no mundo inteiro, sendo datados a partir do final do século XIX e início do século XX, vários países seguiram o exemplo dos ingleses e, dessa forma, teve início à preocupação com o tratamento de seus esgotos. Podendo ser citado o sistema separador absoluto, caracterizado pela construção de canalizações exclusivas para os esgotos, tendo sido implantado pela primeira vez nos EUA em 1879 (NETTO, 1973 apud NUVOLARI, 2003).

Pode-se afirmar que, a partir dessas primeiras experiências, os países mais desenvolvidos, em especial a Inglaterra, a maioria dos outros países europeus, os EUA, o Canadá, a extinta União Soviética e mais recentemente o Japão, começaram a tratar os esgotos de suas cidades. (NUVOLARI, 2003, p. 03).

Na Tabela 2 são listadas algumas das primeiras estações de tratamento de esgotos construídas no mundo, bem como as suas vazões diárias.

No Brasil, salvo alguns casos isolados, somente a partir de 1970 começou a ocorrer um maior avanço na área de saneamento. De acordo Nuvolari (2003) existe coleta e tratamento, contudo ainda há muito por fazer, quando o assunto é o tratamento dos esgotos.

Tabela 2 – Primeiras estações de tratamento de esgotos (1910 – 1930)

Ano	Inglaterra		Estados Unidos	
	E.T.E	Vazão (m ³ /dia)	E.T.E	Vazão (m ³ /dia)
1914	<i>Salford</i>	303		
1915	<i>Davyhulme</i>	378		
1916	<i>Worcester</i>	7.570	<i>Milwaukee-Wiscosin</i>	7.570
1917	<i>Withington</i>	946	<i>Hoston North-Texas</i>	20.817
1918			<i>Hoston South-Texas</i>	18.925
1920	<i>Tunstall</i>	3.104		
1921	<i>Davyhulme</i>	2.509		
1922			<i>Desplaines-Illinois</i>	20.817
1925			<i>Milwaukee-Wiscosin</i>	170.325
1927			<i>Chicago North-Illinois</i>	662.375

Fonte: Adaptado de Nuvolari (2003)

Nuvolari (2003) diz que:

Hoje, apesar de várias cidades brasileiras já contarem com estações de tratamento de esgotos, a grande maioria nem coleta e nem trata seus esgotos. Fatalmente terão de fazê-lo, sob pena de ficarem sem mananciais de água apropriada para o abastecimento público e amargarem sérios problemas de saúde pública. (NUVOLARI, 2003, p. 05).

Um sucinto histórico do esgotamento sanitário no Brasil pode ser observado na Tabela 3, que descreve os principais acontecimentos desde a implantação da primeira rede coletora de esgotos no país.

Tabela 3 – Histórico do saneamento no Brasil

Ano	Ocorrência
1857	Implantada a primeira rede de esgotos do país, na cidade do Rio de Janeiro.
1876	Projetada e construída por ingleses a primeira rede de esgotos na cidade de São Paulo.
1897	Inaugurada a cidade de Belo Horizonte (já projetada com rede de água e esgoto).
1911	Brado de alerta sobre a crescente poluição do Rio Tietê, a jusante de São Paulo.
1912	Introdução do sistema separador absoluto na cidade de São Paulo.
1913	Primeiro estudo sobre a poluição do Rio Tietê a jusante de São Paulo.
1933	Realizado levantamento sanitário do Rio Tietê a jusante de São Paulo.
1938	Inaugurada a ETE IPIRANGA, em São Paulo, a primeira da cidade.
1958	Estabelecidos os padrões de potabilidade das águas (ABNT).
1963	Estabelecidos os padrões internacionais para a água potável (da OMS).
1966	Fundação da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES).
1973	Criadas as Companhias Estaduais de Saneamento.
1986	Resolução CONAMA n° 001/86 – estabelece diretrizes para elaboração de IEA-RIMA.
2000	Revisados os projetos de potabilidade das águas de abastecimento.

Fonte: Adaptado de Nuvolari (2003)

Conforme Paiva (2008), a partir de 1960 com o crescimento da urbanização, gerou-se amplas pressões sobre o sistema de saneamento, pois se acreditava que o baixo desempenho do sistema comprometia os objetivos de desenvolvimento socioeconômico do país. Em decorrência desse fato, o governo militar priorizou nos planos de desenvolvimento do período na ampliação da cobertura dos serviços de saneamento. Com esse propósito, em 1964 foi criado o Banco Nacional de Habitação (BNH) e o Sistema Financeiro do Saneamento (SFS) dentro do BNH, que passou a centralizar recursos e coordenar as obras do setor, sendo que a maioria dos serviços era de ordem municipal.

Ainda de acordo como mesmo autor, na década de 70, houve uma inversão no setor de saneamento, os serviços que antes eram de responsabilidade dos municípios, agora passam a ser das companhias estaduais.

A partir dos anos 70, com a criação do Plano Nacional de Saneamento (Planasa), cuja principal fonte de recursos era o Fundo de Garantia por tempo de serviço (FGTS)³⁸, essa situação se inverteu. Os municípios foram incentivados a concederem os serviços a companhias estaduais de saneamento, pois esses eram os únicos que tinham acesso aos empréstimos do Planasa. (PAIVA, 2008, p. 93).

Segundo Paiva (2008), os investimentos realizados pelo Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) voltaram-se predominantemente a construção e ampliação dos sistemas, dando menor importância aos aspectos operacionais, pois esse não era financiado pelo BNH. Por consequência, nos anos posteriores o sistema sofreu grande degradação.

Ainda de acordo com Paiva (2008), na década de 80 as companhias de saneamento apresentavam-se financeiramente desestabilizadas, em decorrência das dificuldades enfrentadas pela economia nacional, esgotando-se as fontes de financiamentos aliadas ao crescimento da inflação e vencimento de empréstimos anteriormente firmados. Nos anos 90, tem início a participação do setor privado na área de saneamento, porém sem sucesso.

A partir da década de 1990 inicia-se a participação do setor privado na área de infraestrutura, mediante o Programa Nacional de Desestatização (PND) que forneceu base legal para concessões de serviços públicos em geral, dentre eles o saneamento. Contudo as tentativas de regulação do setor de saneamento em específico e a participação das empresas privadas no setor, não tiveram sucesso. (PAIVA, 2008, p. 95).

Entretanto, segundo a Revista CREA-RJ (2010) uma pesquisa do Ministério das Cidades mostra que, mesmo com todos os recursos reservados para projetos de saneamento nos últimos anos, contando com o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e outros programas, o país ainda encontra dificuldades no setor, cujo compasso atual de investimentos

em obras de coleta de esgotos, levará o Brasil a universalização desse serviço público somente nos próximos 66 anos.

2.2 Considerações atuais sobre esgotamento sanitário no Brasil

Na Tabela 4, numa pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000), demonstra que naquela data cerca de 20% dos municípios tinham seus esgotos coletados e tratados. Em dados mais recentes percebe-se que esgotamento sanitário ainda continua sendo um grande problema para a sociedade brasileira, segundo o Instituto Trata Brasil (2009) numa pesquisa realizada pela entidade, o desinteresse político e a falta de planejamento resultaram no atual retrato do saneamento básico no país, onde apenas um terço do esgoto produzido é tratado. Sendo o restante despejado em rios, lagoas, praias, e mananciais. Ainda o mesmo autor descreve que, existem diferenças regionais, mas não existem regiões sem problemas. De modo que saneamento não é uma prioridade, nem para a população, nem para políticos. Isso demonstra que está é uma questão quase invisível.

No entanto, com a retomada de investimento no setor, desde a criação do Ministério das Cidades, em 2003, o país conseguiu melhorar a abrangência dos serviços de coleta e de tratamento de esgoto.

Tabela 4 – Proporção de municípios, por condição de esgotamento sanitário – 2000

Grandes Regiões	Proporção de municípios com serviço de esgotamento sanitário (%)		
	Sem coleta	Só coletam	Coletam e tratam
Brasil	47,8	32	20,2
Norte	92,9	3,5	3,6
Nordeste	57,1	29,6	13,3
Sudeste	7,1	59,8	33,1
Sul	61,1	17,2	21,7
Centro-Oeste	82,1	5,6	12,3

Fonte: IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 1989/2000

No gráfico apresentado a seguir, na Figura 01, um fato que se comprova, quando comparamos grandes centros urbanos com pequenas e/ou médias cidades, é perceptível que nas cidades com mais de 300 mil habitantes, a coleta e tratamento dos esgotos tem maior relevância confrontando com as cidades de até 50 mil habitantes, como também, é possível verificar diferenças gritantes de região para região. Considerando a região Sul, que têm

45,50% de residências esgotadas onde as populações somam mais de 300 mil habitantes, entretanto, quando se trata de cidades com populações abaixo de 50 mil habitantes, o percentual de residências esgotadas é em torno de 17%. Portanto, é perceptível que na maioria das cidades do interior o tratamento do esgotamento sanitário encontra-se em atraso com relação às capitais.

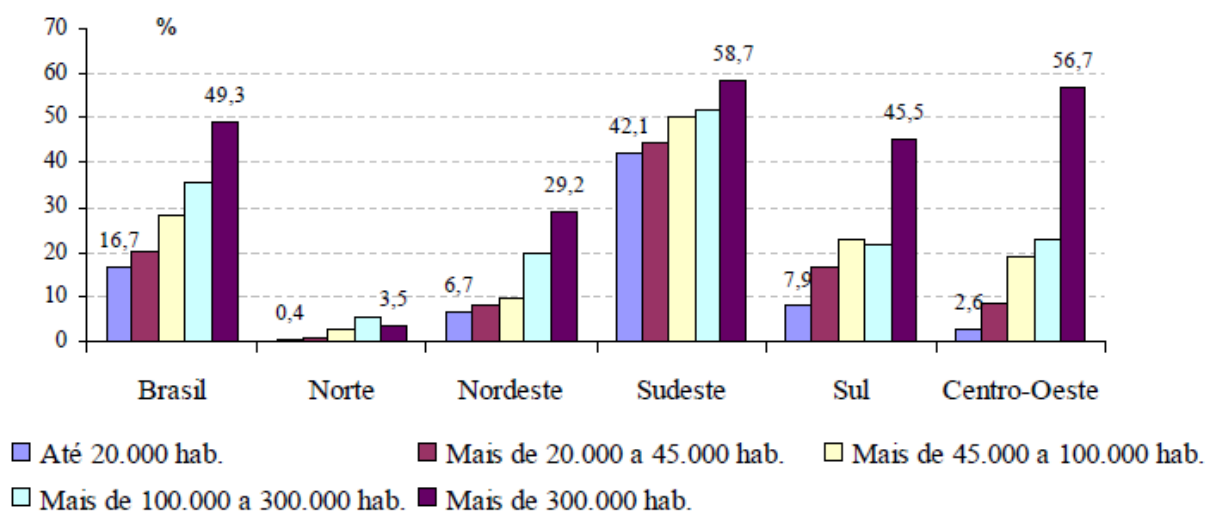


Figura 01: Gráfico de proporções residenciais esgotadas, por estratos populacionais – 2000
Fonte: IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2000)

Cabe salientar, que cidades com mais de 100.000 habitantes, ou até mesmo menores, poderão precisar de mais de uma estação de tratamento, dependendo da topografia ou do arranjo da malha urbana. A concentração do tratamento do esgoto em uma única estação pode induzir ao abatimento de alguns custos. Contudo, a introdução de gastos com energia elétrica e manutenção de dispositivos de recalque, necessários nas regiões mais baixas, poderá elevar os custos. Se for admissível a condução do esgoto todo por gravidade até a estação, possivelmente será alcançada uma redução de problemas, como entupimento de bombas, além da própria economia com mão-de-obra, instalações e energia elétrica (OLIVEIRA, 2005).

A situação do esgotamento sanitário, conforme Tonetti (2008) é preocupante devido à grande quantidade de municípios desassistidos de coleta e tratamentos de seus efluentes. Como também as grandes diferenças regionais nos serviços do setor.

A problemática do saneamento básico no Brasil pode ser medida pelo número de municípios existentes no país sem nenhum tipo de serviço de esgotamento sanitário. Segundo o IBGE (2000), das 5.507 cidades brasileiras 52,2% estavam nesta situação calamitosa. Este quadro também é marcado por desigualdades regionais, sendo que o nível mais baixo está na Região Norte, onde apenas 2,4% dos domicílios são atendidos por rede coletora, seguida pelas Regiões Nordeste (14,7%), Centro-Oeste (28,1%) e Sul (22,5%). (TONETTI, 2008, p. 05).

Em decorrência das precariedades dos sistemas de esgotamento sanitário, esse serviço público, compõe um dos maiores problemas ambiental do país.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), quase 35 milhões de brasileiros (34,8 milhões) não contavam com serviço de rede coletora de esgoto em 2008. Sendo esse número correspondente a 18% da população. Dados que fazem parte da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada no segundo semestre de 2008, em parceria com o Ministério das Cidades.

O levantamento nacional mais recente sobre saneamento básico no Brasil, conforme visto anteriormente, havia sido realizado em 2000. A comparação entre os dados de 2000 e 2008 aponta, segundo o Instituto, a evolução do atendimento de saneamento. Mesmo assim, dos aspectos investigados, o serviço de esgotamento sanitário por coleta de esgoto é o que apresenta os piores índices.

Além da rede coletora de esgoto, que é a forma mais adequada de esgotamento, as principais alternativas para cidades que não contam com o serviço são fossas sépticas, fossas rudimentares, fossas secas, valas a céu aberto e lançamento em corpos d'água (IBGE, 2010).

Ainda de acordo com o mesmo Instituto, entre os municípios, pouco mais da metade (55,2%) tinha serviço de esgotamento sanitário por rede coletora. O serviço falta em 2.495 municípios pelo país, o que corresponde a 44,8% do total.

Na Figura 02, é possível visualizar a porcentagem de municípios com rede coletora em todas as regiões no ano de 2000 e 2008.

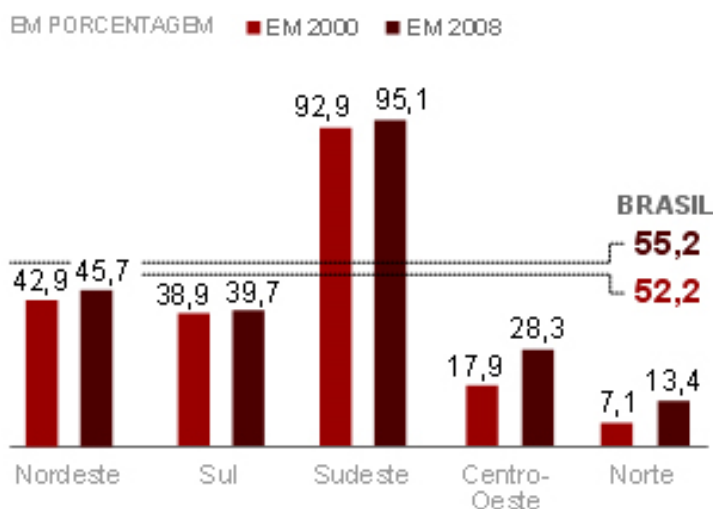


Figura 02: Gráfico da rede coletora de esgoto nos municípios brasileiros
Fonte: IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008)

Conforme o levantamento realizado tanto em 2000, como em 2008, a única região que se manteve acima da média nacional é a região Sudeste, as demais regiões todas se encontravam abaixo da média, sendo a região Norte a pior situação na falta rede coletora de esgotos.

Contudo, fato comprovado pelas informações apresentadas ainda pelo IBGE, demonstram que de 2000 para 2008 aumentou o percentual de municípios com serviço de coleta de esgoto sanitário que realizaram ampliações ou melhorias no sistema. Em 2008, 79,9% deles estavam ampliando ou melhorando o serviço, contra 58% em 2000. O avanço ocorreu em quase todas as regiões, com destaques para o Centro-Oeste, cuja taxa de melhorias ou ampliações passou de 50% dos municípios em 2000 para 78% em 2008; e para o Nordeste, de 47,6% para 73,1%. A exceção foi o Norte, cujo percentual de ampliações e melhorias se reduziu (de 53,1% para 48,3%). Os maiores percentuais foram encontrados no Sudeste (85,4%), Centro-Oeste (78%) e Sul (77,5%). Em 2008 a ampliação ou melhoria do sistema deu-se principalmente na rede coletora (88%) e nas ligações prediais (78,6%). Melhorias que podem ser visualizadas na Figura 03.

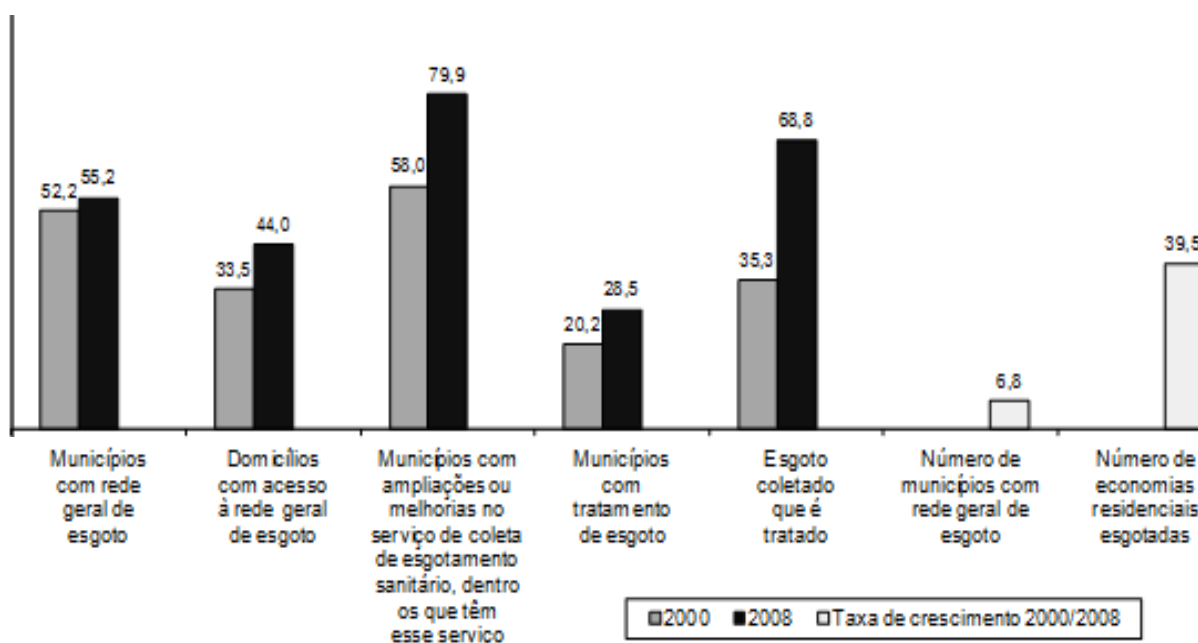


Figura 03: Evolução percentual das principais variáveis do esgotamento sanitário – Brasil – 2000/2008
Fonte: IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008)

No entanto, menos de 30% dos municípios fazem o tratamento do esgoto, conforme segue:

Apenas 28,5% dos municípios brasileiros com esgotamento por rede geral fazia tratamento de esgoto. Entre as regiões, o Sudeste liderava (48,4%), seguido do Centro-Oeste (25,3%), Sul (24,1%), Nordeste (19%) e Norte (7,6%). Com exceção do Distrito Federal, em apenas três unidades da federação mais da metade dos municípios tratavam seu esgoto: São Paulo (78,4%), Espírito Santo (69,2%) e Rio de Janeiro (58,7%). Os menores percentuais foram registrados em Sergipe (9,3%); Amazonas (4,8%); Pará (4,2%); Rondônia (3,8%); Piauí (2,2%) e Maranhão (1,4%). (IBGE, 2010, p. 01).

Apesar de menos de um terço dos municípios terem tratamento de esgoto, o volume tratado representava 68,8% do total coletado no país. Houve melhora considerável frente a 1989 e 2000, quando o percentual de tratamento era, respectivamente, de 19,9% e 35,3%. E em grandes geradores de esgotos, como pode se citar os municípios com mais de 1 milhão de habitantes, o percentual de esgoto tratado foi superior a 90% (IBGE, 2010).

No entanto, um fator que influencia negativamente o desempenho do setor de saneamento é a sobrecarga tarifária existente no país, uma vez que, os custos relativos à implantação e manutenção destes sistemas são relativamente onerosos, por consequência acarretaria a necessidade de uma tarifa elevada a fim de recuperar o total destes recursos investidos. Para ajustar este tipo de problema, é indispensável o estabelecimento de uma nova política de saneamento, com o intuito não somente de permitir auxílio a população de baixa renda, mas também melhorias no sistema de tratamento de esgotos, que se apresenta como o grande problema a ser enfrentado (BASSANI, 2005).

Conforme Revista CREA-RJ (2010) há recursos disponíveis para investimento no setor, possibilitados por programas como o PAC. Porém, existe lacunas que não permitem tais verbas chegarem ao seu destino em tempo hábil.

Segundo especialistas, a solução para os problemas de saneamento básico no país pode estar no investimento eficiente em projetos, como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Saneamento. Mas, na maioria das vezes, os recursos não chegam ao seu destino com rapidez necessária. Um balanço do Ministério das Cidades mostra que, de 2007 até hoje, o governo federal só conseguiu executar 11% dos R\$ 12,6 bilhões reservados para programas de saneamento básico urbano e rural no Orçamento da União. Dos mais de R\$ 8 bilhões do FGTS alocados para financiar esse tipo de obra, desde 2003, apenas 35% foram usados. Segundo o ministério, o governo triplicou os recursos no segundo mandato de Lula, chegando, em 2008, a R\$ 12,20 bilhões para repasses e financiamentos. Mas efetivamente, apenas R\$ 5,7 bilhões foram usados. (Revista CREA-RJ, 2010, p. 18).

A fim de alcançar as metas pretendidas, o governo lançou no início de 2010 o PLANSAB, com novas metas e planos de investimentos no setor (BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

O início da elaboração do Plano pode ser um momento estratégico para instalar no município um fórum permanente de discussão sobre as questões de Saneamento Básico, podendo se configurar no embrião de Conselho da Cidade ou de Conselho Municipal de Saneamento Básico ou equivalente, caso não exista. (BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009, p. 43).

De acordo com critérios do próprio PLANSAB, será uma estratégia do governo para o cumprimento das diretrizes da lei 11.445/2007 e das metas do milênio. O plano será oportuno para a retomada da capacidade orientadora do Estado na condução da política pública de saneamento e, portanto, na definição das estratégias do governo para o setor nos próximos 20 anos, almejando à universalização do saneamento (Revista CREA-RJ, 2010).

2.3 Classificação e características dos esgotos sanitários

2.3.1 Definição de esgoto

Conforme a Norma Brasileira (NBR) 9648 (ABNT, 1986) esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.

De acordo com Von Sperling (1996), o esgoto sanitário é constituído por esgoto doméstico, águas de infiltração e despejos industriais, no qual:

- O esgoto doméstico é proveniente das residências, do comércio e das repartições públicas;
- As águas de infiltração são as que penetram na rede coletora de esgoto através de juntas defeituosas das tubulações, paredes de poços de visita, entre outros. A taxa de infiltração depende muito das juntas das tubulações, do tipo de elementos de inspeção, do tipo de solo e da posição do lençol freático. Os valores médios são de 0,3 a 0,5 L/s.km;
- Os despejos industriais são efluentes de indústrias que, devido às características favoráveis, são admitidos na rede de esgoto. Os esgotos industriais ocorrem em pontos específicos da rede coletora e suas características dependem da indústria.

Sendo a finalidade desta pesquisa, tratar exclusivamente de esgotos de origem doméstica.

2.3.2 Da quantidade de esgotos

No Brasil, adota-se predominantemente o sistema separador absoluto, de esgotamento sanitário, o qual separa as águas pluviais em linhas de drenagem independentes e que não contribuem à estação de tratamento de esgoto (ETE). Na Figura 04 é possível visualizar a funcionalidade do sistema.

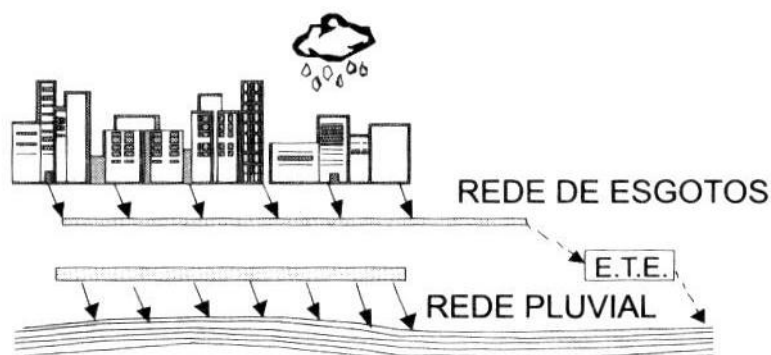


Figura 04: Sistema separador absoluto
Fonte: Von Sperling (1996)

Em outros países, no entanto, adota-se o sistema combinado, no qual os esgotos e as águas pluviais são transportados conjuntamente pelo mesmo sistema. Neste caso, o dimensionamento da ETE tem de levar em consideração a parcela correspondente às águas pluviais (VON SPERLING, 2006). Esse tipo sistema está representado na Figura 05.

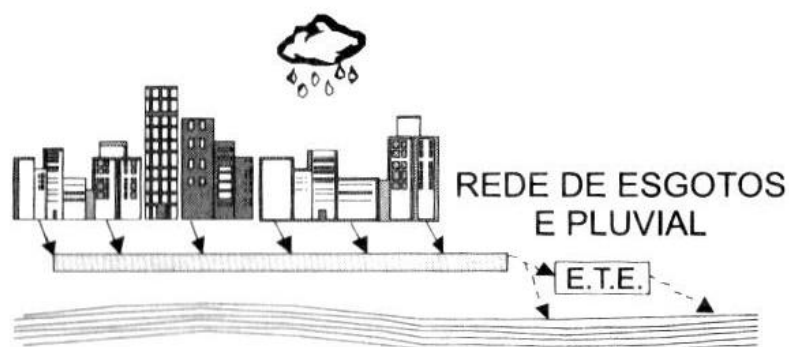


Figura 05: Sistema combinado
Fonte: Von Sperling (1996)

De acordo com a CETESB (1988) a quantidade de esgotos produzida por uma cidade, primeiramente, depende do volume de água consumido, representado no Quadro 01. Quanto mais água é utilizada, mais esgoto é gerado, sendo o consumo de água variável de cidade para

cidade. Conforme Souza (2009), para o correto funcionamento de uma ETE, é fundamental conhecer a população de contribuição a estação, então, deve-se estimar a população atual e realizar uma projeção futura, por sequência calcular a vazão média diária de esgoto.

Estabelecimento	Unidade	Faixa de Vazão (l/unid.d)
Clinica de repouso	Residente	200 – 450
	Empregado	20 – 60
Escola -com lanchonete, ginásio, chuveiros -com lanchonete, sem ginásio, chuveiros -sem lanchonete, ginásio, chuveiros	Estudante	50 – 100
	Estudante	40 – 80
	Estudante	20 – 60
Hospital	Leito	300 – 1000
	Empregado	20 – 60
Prisão	Detento	200 – 500
	Empregado	20 – 60

Quadro 01 – Consumo de água típico de alguns estabelecimentos institucionais
Fonte: NBR-7229/93, Von Sperling (1996)

Sabendo que o volume de esgoto depende do consumo de água, Von Sperling (1996), cita que:

De maneira geral, a produção de esgotos corresponde aproximadamente ao consumo de água. No entanto, a fração de esgotos que adentra a rede de coleta pode variar, devido ao fato de que parte da água consumida pode ser incorporada à rede pluvial (ex: rego de jardins e parques). A fração da água fornecida que adentra a rede de coleta na forma de esgoto é denominada coeficiente de retorno (R: vazão de esgoto/vazão de água). Os valores típicos de R variam de 60% a 100%, sendo que um valor usualmente adotado tem sido de 80% (R=0,8). (VON SPERLING, 1996, p. 55).

O consumo de água e a geração de esgotos em uma localidade variam ao longo do dia (variações horárias), ao longo da semana (variações diárias) e ao longo do ano (variações sazonais). Como pode ser visto na Figura 06 um hidrograma típico da vazão afluyente a uma ETE ao longo do dia. Podem-se observar os dois picos principais: o pico do início da manhã (mais pronunciado) e o pico do início da noite (mais distribuído). A vazão média diária é aquela, na qual, as áreas acima e abaixo do valor médio se igualam (VON SPERLING, 1996).

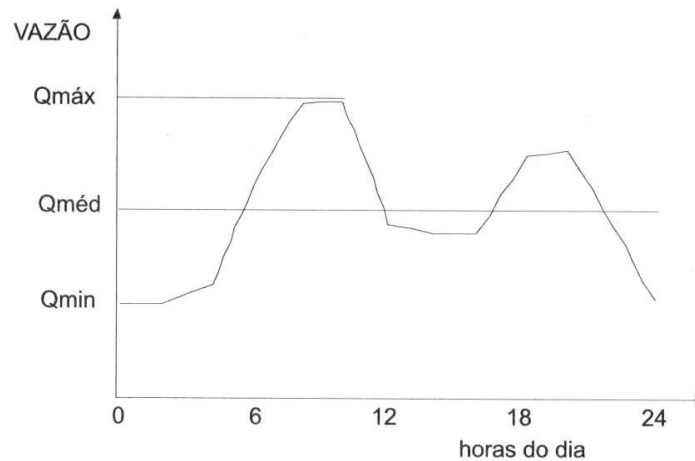


Figura 06: Hidrograma típico da vazão afluyente a uma ETE
Fonte: Von Sperling (1996)

2.3.3 Da qualidade de esgotos

Para Gonçalves (2003), a implantação de uma efetiva barreira de controle de agentes transmissores de doenças infecciosas, cujo contato humano com o esgoto é provável, os sistemas de tratamento de esgotos são, em geral, a técnica mais segura e de menor custo.

Estudos comprovam que a composição dos esgotos domésticos é razoavelmente constante. Este efluente contém aproximadamente 99,9% de água, e o restante é impurezas, que podem ser de natureza física, química e biológica, sendo representado na Figura 07. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos (CETESB, 1988).

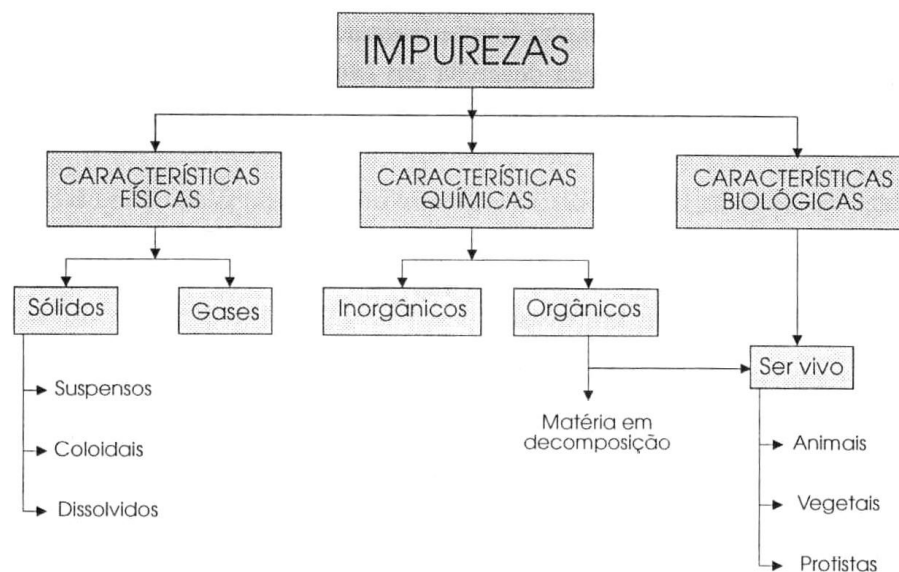


Figura 07: Impurezas contidas na água
Fonte: Von Sperling (1996)

Na Figura 08, pode se perceber que essa percentagem de 0,1% dos sólidos presentes nos esgotos domésticos, se divide entre orgânicos (70%) e inorgânicos (30%), esses compostos de detritos minerais pesados, sais e metais, e aqueles compostos de proteína, carboidratos e gordura.

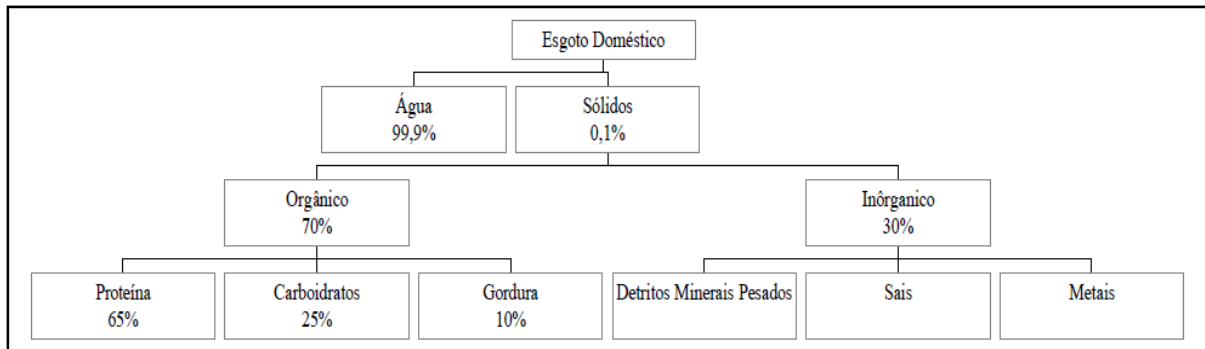


Figura 08: Composição dos esgotos domésticos
Fonte: Oliveira (2004)

Conforme Von Sperling (1996) o potencial poluidor das águas residuárias, pode ser dividido em parâmetros físicos, químicos e biológicos.

No projeto de uma estação de tratamento, normalmente não há interesse em se determinar os diversos compostos dos quais a água residuária é constituída. Isto, não só pela dificuldade em se executar vários destes testes em laboratório, mas também pelo fato dos resultados em si não serem diretamente utilizáveis como elementos de projeto e operação. Assim, é preferível a utilização de parâmetros indiretos que traduzam o caráter ou o potencial poluidor do despejo em questão. Tais parâmetros definem a qualidade do esgoto, podendo ser divididos em três categorias: parâmetros físicos, químicos e biológicos. (VON SPERLING, 1996, p. 59).

De acordo com a CETESB (1988), as impurezas físicas, representadas no Quadro 02, são as substâncias cuja presença afeta as características da água, independentemente de sua natureza química ou biológica. Como exemplo pode-se citar as partículas insolúveis e/ou sólidas que alteram a transparência da água e decantam-se formando o lodo.

Ainda conforme a CETESB (1988), impurezas químicas, exemplificadas no Quadro 02, constituem-se de substâncias orgânicas e minerais solúveis. A fração orgânica de esgoto é representada por proteínas, gorduras, hidratos de carbono, fenóis e por uma série de substâncias artificiais, fabricadas pelo homem, como detergentes e defensivos agrícolas. As substâncias minerais mais importantes são os nutrientes (nitrogênio e fósforo), enxofre, metais pesados e compostos tóxicos.

Quanto às impurezas de natureza biológica, também concebidas no Quadro 02, são representadas pelos seres vivos liberados junto com os dejetos humanos: bactérias, vírus,

leveduras, vermes e protozoários. Alguns desses seres habitam normalmente o intestino humano e não prejudicam a saúde; outros podem causar doenças e são denominados organismos patogênicos.

O Quadro 02, na sequência apresenta a composição dos esgotos domésticos:

Tipos de substâncias	Origem	Observações
Sabões	Lavagem de louças e roupas	
Detergentes	Lavagem de louças e roupas	A maioria dos detergentes contém o nutriente fósforo na forma de polifosfato.
Cloreto de Sódio	Cozinhas e urina humana	Cada ser humano elimina pela urina de 7 a 15 gramas/dia.
Fosfatos	Detergentes e urina humana	Cada ser humano elimina, em média, pela urina, de 1,5 gramas/dia.
Sulfatos	Urina humana	–
Carbonatos	Urina humana	–
Uréia, amoníaco e ácido úrico	Urina humana	Cada ser Humano elimina de 14 a 42 gramas de uréia por dia.
Gorduras	Cozinhas e fezes humana	–
Substâncias córneas, ligamentos da carne e fibras vegetais não digeridas	Fezes humanas	Vão se constituir na porção de matéria orgânica em decomposição, encontrada nos esgotos.
Porções de amido (glicogênio, glicose) e de protéicos (aminoácidos, proteínas, albumina)	Fezes humanas	Idem
Urobilina, pigmentos hepáticos, etc.	Urina humana	Idem
Mucos, células de descamação epitelial	Fezes humanas	Idem
Vermes, bactérias, vírus, leveduras, etc.	Fezes humanas	Idem
Outros materiais e substâncias: areia, plásticos, cabelos, sementes, fetos, madeira, absorventes femininos, etc.	Areia: infiltração nas redes de coleta, banhos em cidades litorâneas, parcela de águas pluviais, etc. Demais substâncias são indevidamente lançadas nos vasos sanitários.	Areias: produção nas ETE's (S. Paulo): Pinheiros: de 0,013 a 0,073 L/m ³
Água	–	99,90%
Em termos elementares, o esgoto doméstico contém:		
Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio, Fósforo, Enxofre e outros microelementos.		

Quadro 02 – Composição do esgoto doméstico
Fonte: Nuvolari (2003)

Além disso, outras alterações físicas podem ocorrer devido à introdução de substâncias que causem cor, odor, turbidez e também elevação da temperatura, conforme se verifica no Quadro 03.

Parâmetro	Descrição
Temperatura	Ligeiramente superior a da água de abastecimento. Variação conforme as estações do ano (mais estável que a temperatura do ar). Influência na atividade microbiana. Influência na atividade dos gases. Influência na viscosidade do líquido.
Cor	Esgoto fresco: ligeiramente cinza. Esgoto séptico: cinza escuro ou preto.
Odor	Esgoto fresco: odor oleoso, relativamente desagradável. Esgoto séptico: odor fétido (desagradável).
Turbidez	Causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão. Esgotos mais frescos ou mais concentrados: geralmente maior turbidez.

Quadro 03 – Principais características físicas dos esgotos domésticos
Fonte: Von Sperling (2006)

2.3.4 Porque e como tratar os esgotos

Com o exposto anteriormente, torna-se mais evidente que o lançamento de esgoto sanitário sem prévio tratamento, num determinado corpo d'água, pode causar a deterioração da qualidade dessa água, como também, a disposição inadequada no solo, pode contaminar o lençol freático, em ambos os casos, passaria a ser uma ameaça à saúde da população.

Além disso, conforme a CETESB (1988), o não tratamento dos esgotos contribui na morte de peixes e outros organismos aquáticos devido à poluição desses corpos receptores.

Outra importante razão para tratar os esgotos é a preservação do meio ambiente. As substâncias presentes nos esgotos exercem ação deletéria nos corpos de água: a matéria orgânica pode ocasionar a exaustão do oxigênio dissolvido com mortes de peixes e outros organismos aquáticos, escurecimento da água e aparecimento de maus odores; é possível que os detergentes presentes nos esgotos provoquem a formação de espumas em pontos de agitação da massa líquida; defensivos agrícolas determinam a morte de peixes e outros animais. (CETESB, 1988, p. 03).

A finalidade do tratamento de esgotos é remover as impurezas físicas, químicas e biológicas, principalmente os organismos patogênicos. Felizmente do ponto de vista técnico, já são conhecidas inúmeras opções para fazer esse tratamento. Isso pode facilitar a escolha de uma técnica mais adequada para cada caso, existindo opções adaptadas tanto para pequenas comunidades quanto para grandes centros urbanos. Cada cidade, com suas características próprias de clima, topografia, preço dos terrenos, características do corpo d'água a ser

utilizado para fazer os despejos tratados irá ditar a técnica ou as técnicas a serem escolhidas (NUVOLARI, 2003).

2.4 Sistemas de tratamento de esgotos

Segundo Oliveira (2004), com a urbanização crescendo de forma exponencial, principalmente no último século, tornou-se impraticável o despejo de esgotos sanitário nos rios e afins, sem um devido tratamento anterior. O contínuo aumento do volume desse resíduo fez com que grande parte dos corpos receptores se tornasse poluídos e, por consequência baixos níveis de oxigênio dissolvido. Graças às propriedades de autodepuração dos corpos d'água, processo natural de degradação e consumo da matéria orgânica pelos organismos que pertencem e esses ecossistemas, há o gradativo tratamento dessas águas podendo torná-las novamente saudáveis para peixes e demais organismos. Um exemplo da autodepuração pode-se citar o Rio Tietê, altamente poluído, na região metropolitana de São Paulo e atração turística em Pereira Barreto, cerca de 600 km adiante.

Oliveira (2004) cita que, desse princípio de autodepuração, inúmeras técnicas surgiram no sentido de aperfeiçoar o processo de tratamento.

Várias formas de tratamento de águas residuárias foram desenvolvidas, partindo do princípio da autodepuração, ou seja, empregando a ação de microrganismos para a remoção da matéria orgânica presente nos esgotos. Esse tipo de tratamento é denominado tratamento biológico. É importante ressaltar que, nas ETE's, procura-se otimizar esses processos, a fim de reduzir custos e incrementar a eficiência de degradação, para se atingir o menor tempo de tratamento no menor espaço possível. (CAMPOS, 1994 apud OLIVEIRA, 2004, p. 15).

Sendo a Norma NBR 12209 (1992), que regulamenta e fixa as condições exigíveis para a elaboração do projeto hidráulico-sanitário de estações de tratamento de esgoto (ETE), cuja aplicação é orientada aos seguintes processos de tratamento:

- a) Separação de sólidos por meios físicos;
- b) Filtração biológica;
- c) Lodos ativados;
- d) Tratamento de lodo.

Uma ETE pode ser composta por várias unidades com diferentes processos de tratamento. De acordo com Von Sperling (1996), a remoção dos poluentes no tratamento do efluente, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada, está usualmente classificada em etapas de tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

Ainda segundo o mesmo autor, o tratamento preliminar compreende as atividades de remoção dos sólidos grosseiros, tais como areia e restos de plantas. Enquanto o tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Em ambos predominam mecanismos físicos de remoção de poluentes. Já no tratamento secundário, no qual prevalecem mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção de matéria orgânica. O tratamento terciário tem a finalidade da remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não satisfatoriamente removidos no tratamento secundário. Contudo, o tratamento terciário é de caso raro no Brasil (VON SPERLING, 2005).

A Figura 09 representa um esquema do conjunto do tratamento de esgoto, desde o esgoto bruto até o final do tratamento.

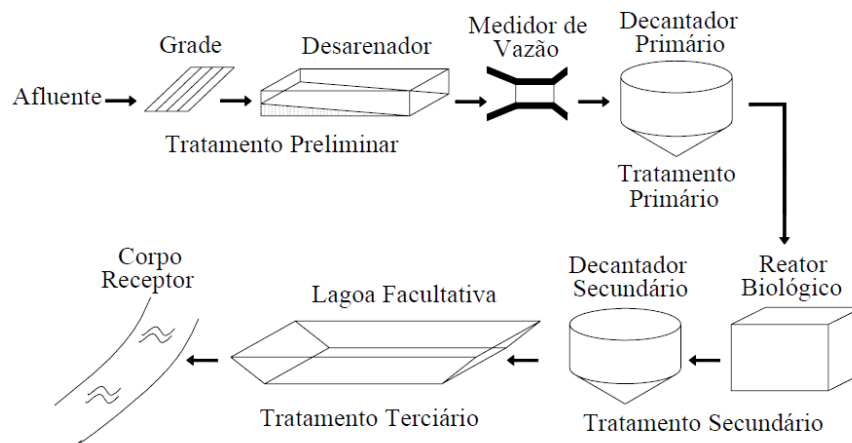


Figura 09: Fluxograma genérico de tratamento de esgoto sanitário com níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário
Fonte: Oliveira (2004)

Para tratamento preliminar, deve ser utilizadas unidades como grades e peneiras para a retirada de sólidos maiores e tanques de decantação para a remoção da areia. Sendo que os resíduos acumulados deverão ter destino apropriado.

No tratamento primário geralmente são empregados decantadores. Seguidamente o tratamento secundário na maioria das vezes é realizado por processo biológicos.

Existe uma grande variedade de alternativas de degradação biológica que utilizam os processos aeróbio e/ou anaeróbio, no Quadro 04 na sequência, é apresentado algumas opções.

Tipo	Processo Predominante
Disposição no solo	Aeróbio e anaeróbio
Lagoa Facultativa	Aeróbio e anaeróbio
Sistema de lagoa tipo australiano	Aeróbio e anaeróbio
Lagoa aerada + lagoa de sedimentação	Aeróbio e anaeróbio
Lodos ativados convencional	Aeróbio
Lodos ativados (mistura completa)	Aeróbio
Valos de oxidação	Aeróbio
Lodos ativados em reator do tipo batelada	Aeróbio
Poço profundo aerado	Aeróbio
Filtro biológico aeróbio	Aeróbio
Filtro anaeróbio	Anaeróbio
Tanque séptico + filtro anaeróbio	Anaeróbio
Reator anaeróbio de manta de lodo	Anaeróbio
Reator anaeróbio compartimentado (com chicanas)	Anaeróbio
Reator anaeróbio de leito fluidificado	Anaeróbio
Reator aeróbio de leito fluidificado	Aeróbio

Quadro 04 – Algumas alternativas de degradação biológica para tratamento de esgoto
Fonte: Oliveira (2004)

A partir das opções apresentadas no Quadro 04, algumas têm recebido maior destaque em ETE's no Brasil, como sistemas de lagoas, lodos ativados, filtro biológico aeróbio e reator anaeróbio de manta de lodo. No entanto, é importante observar que lagoas anaeróbias devem estar suficientemente afastadas de centros urbanos devido a provável geração de odores. Outro sistema, empregado com sucesso, é a associação de reatores anaeróbios seguidos de lodos ativados, no qual é possível a redução da produção de lodos (CHERNICHARO, 2001).

No Brasil duas alternativas têm se destacado, cita Oliveira (2004):

No Brasil, mesmo havendo um grande número de alternativas tecnológicas acessíveis (BNDES, 1997), há um número bem maior de estações do tipo Lodos Ativados, com geração de grandes quantidades de lodo. Os sistemas UASB, além de outros sistemas anaeróbios, são, em muitos casos, vistos como ineficientes, muito sensíveis e causadores de odores por parte dos responsáveis pela escolha do tratamento. Contudo, muitas pesquisas e resultados em ETE's em funcionamento têm provado que eles são totalmente viáveis e aplicáveis a realidade brasileira, além de terem custos menores de implantação e manutenção e gerarem quantidades menores de lodo em relação a processos aeróbios. (OLIVEIRA, 2004, p. 18)

Segundo a mesma autora, os sistemas de tratamento de esgoto possuem atributos que originam vantagens ou desvantagens. Essas características devem ser avaliadas durante a escolha do processo de tratamento, de acordo com o local a ser implantado. No Quadro 05, é possível visualizar algumas das principais características que podem resultar em vantagens e desvantagens dos processos aeróbios e anaeróbios.

Características	Sistemas Aeróbios	Sistemas Anaeróbios
Eficiência	Maior	Menor
Partida	Rápida	Pode ser lenta
Consumo de energia	Alto	Inexpressivo
Estabilidade	Boa, sob aeração	Sensível
Custo de implantação	Maior	Menor
Custo de manutenção	Maior	Menor
Produção de odores	Menor	Maior
Produção de lodo	Maior	Menor

Quadro 05 – Comparação entre sistemas aeróbios e anaeróbios de tratamento de águas residuárias
Fonte: Oliveira (2004)

No Brasil, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas para melhor utilização do grande volume de lodo retirado das estações de tratamento, principalmente com finalidades agrícolas, tomando as devidas precauções quanto ao seu potencial patogênico. Sendo que, para a diminuição da produção de lodo e manutenção de bons índices de eficiência, uma alternativa é a associação de processos biológicos anaeróbios com aeróbios, como sugerem os autores na Figura 10 (CAMPOS *et al.*, 1997 apud OLIVEIRA, 2004).

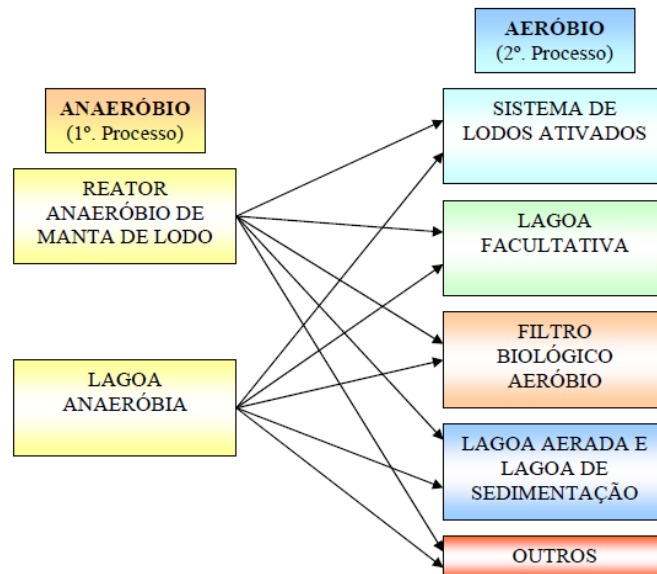


Figura 10: Esquema com as associações de sistemas anaeróbios seguidos de aeróbios para tratamento secundário

Fonte: Campos *et al.* (1997, apud OLIVEIRA, 2004)

2.5 Sistemas de tratamento utilizados no estudo

De acordo com Nuvolari (2003), atualmente no mundo, as técnicas utilizadas no tratamento do esgoto sanitário têm sido muito diversificadas. Sistemas sofisticados de lodos ativados, em nível terciário, de alta eficiência, repleto de equipamentos de última geração, entretanto, espantosos consumidores de energia e que exigem mão-de-obra qualificada na sua

operação, contrapõem-se a simples lagoas de estabilização, de média a boa eficiência, que não consomem energia, são de operação bastante simples, mas que exigem grandes áreas para sua execução. Como também pode se citar outros sistemas anaeróbios, como o Reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) que apresenta baixo custo de implantação e de operação que podem ser implantados como tratamentos precedentes a sistemas aeróbios.

Campos (2000) observa que as modernas técnicas de tratamento compõem-se de sistemas altamente complexos de engenharia, que empregam uma variedade de estágios interdependentes do processo, nos quais cada etapa exerce influência sobre as demais, requerendo mão-de-obra especializada e altos investimentos financeiros.

Segundo Von Sperling (1996) os aspectos importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgotos são: eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, requisitos de área, impactos ambientais, custos de operação, custos de implantação, sustentabilidade e simplicidade. Cada sistema deve ser analisado individualmente, adotando-se a melhor alternativa técnica e econômica.

Na Figura 11 é possível visualizar aspectos relevantes na hora da seleção de sistemas de tratamento de esgotos, confrontando países desenvolvidos com países em desenvolvimento.

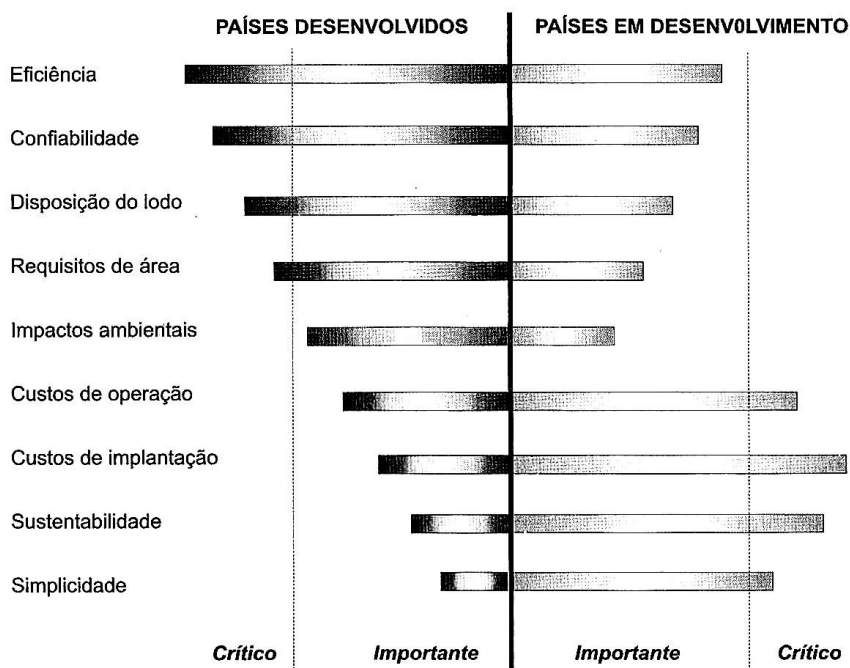


Figura 11: Aspectos críticos e importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgoto
Fonte: Von Sperling (2005)

Para Chernicharo (2001), não existe uma solução que atenda integralmente todas essas condições, mas sim várias alternativas que atendem em maior ou menor grau, aos principais requisitos que devem ser observados num estudo técnico-econômico de escolha de alternativas.

São apresentadas, a seguir, as principais características dos sistemas de tratamento utilizados no estudo de viabilidade técnico/econômico.

2.5.1 Fossas sépticas

A alternativa de fossas sépticas, atualmente denominados tanques sépticos, aplica-se primordialmente ao tratamento de esgoto doméstico e, em casos plenamente justificados, ao esgoto sanitário.

O emprego de unidades de tanque séptico para o tratamento de despejos de hospitais, clínicas, laboratórios de análises clínicas, e demais estabelecimentos prestadores de serviços de saúde deve ser previamente submetido à apreciação das autoridades sanitárias e ambiental competentes, para a fixação de eventuais exigências específicas relativas a pré e pós-tratamento (NBR 7229, 1993).

Por isso, são unidades destinadas a tratar o esgoto de residências e/ou conjunto de residências até no máximo de 500 habitantes, supondo-se uma vazão de esgoto de 150 litros/hab.dia. Esse tratamento, contudo, ocorre a nível primário e o efluente da fossa ou tanque séptico, ainda contém matéria orgânica, patogênicos e nutrientes, portanto, requerendo disposição adequada. As alternativas mais recomendadas para esse tratamento complementar são: infiltrar o efluente no terreno, ou tratá-lo num filtro anaeróbio de fluxo ascendente (CETESB, 1988).

Além disso, a Norma NBR 7229 (1993), específica à necessidade de um tratamento complementar ao tanque séptico, como mostra a Figura 12.

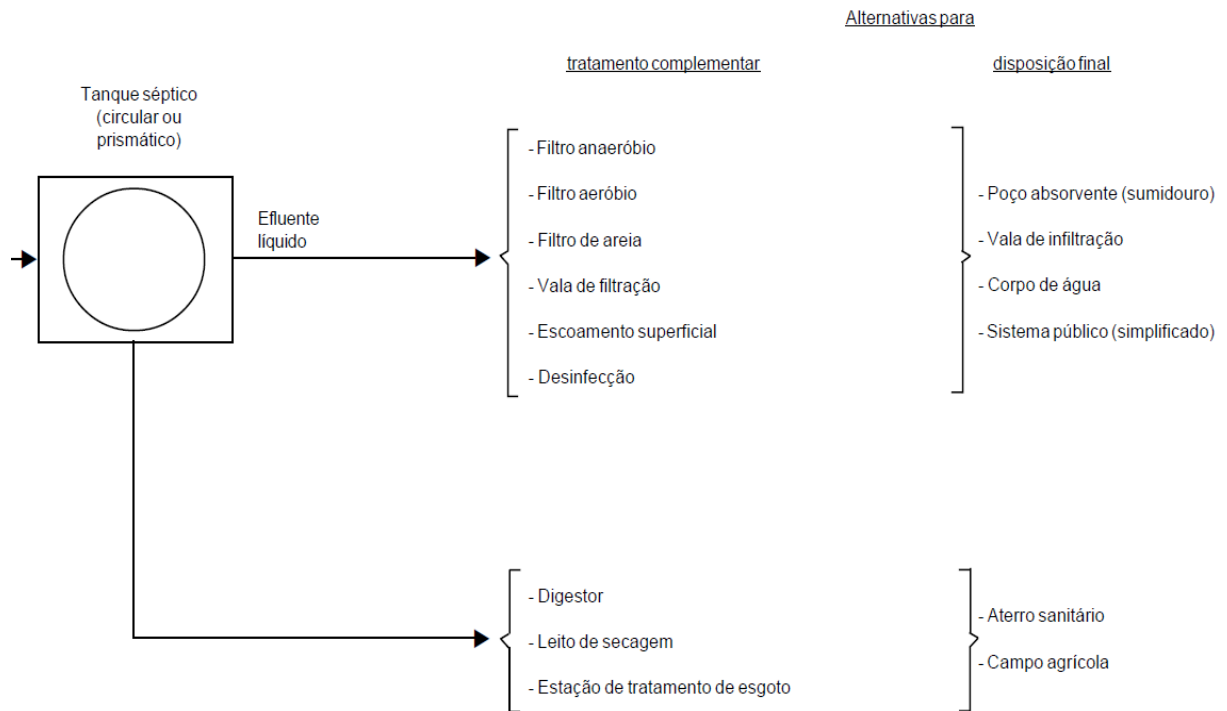


Figura 12: Sistema de tanque séptico – esquema geral
Fonte: NBR 7229 (1993)

Nas fossas o esgoto doméstico é decantado e o lodo que permanece no fundo do tanque entra em decomposição anaeróbia sendo parcialmente digerido.

Na superfície do líquido forma-se uma camada de espuma composta pelas gorduras flutuantes, que deve ser impedida de sair da fossa com o auxílio de um anteparo. O lodo que aos poucos se acumula deve ser periodicamente removido, para garantir um bom funcionamento da unidade (CETESB, 1988).

Os tanques sépticos encontram aplicação nas áreas desprovidas de redes de esgotos. Sendo que, uma de suas principais inconveniências é a falta de destinação correta do efluente e do lodo, ambos contaminados.

Acordo com a Norma NBR 7229 (1993), os tanques sépticos precisam ser corretamente dimensionados. Deve-se verificar, no caso de pré-moldados, a existência no mercado de tanques para o número de pessoas a qual foi projetado e/ou a vazão de esgoto que o mesmo admite, como também no caso dos construídos localmente. Em ambos os casos deve-se respeitar as condições recomendadas pela norma.

Basicamente existem dois tipos principais de fossas sépticas (NBR 7229, 1993):

- de câmara única;
- de câmaras em série;

A de câmara única, é uma unidade formada de apenas um compartimento, em cuja zona superior devem ocorrer processos de sedimentação e de flotação e digestão da escuma, prestando-se a zona inferior ao acúmulo e digestão do lodo sedimentado, identificado na Figura 13. Na Figura 14, a de câmara em série, é uma unidade composta com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos seqüencialmente no sentido do fluxo do líquido e interligados adequadamente, nos quais devem ocorrer, conjunta e decrescentemente, processos de flotação, sedimentação e digestão.

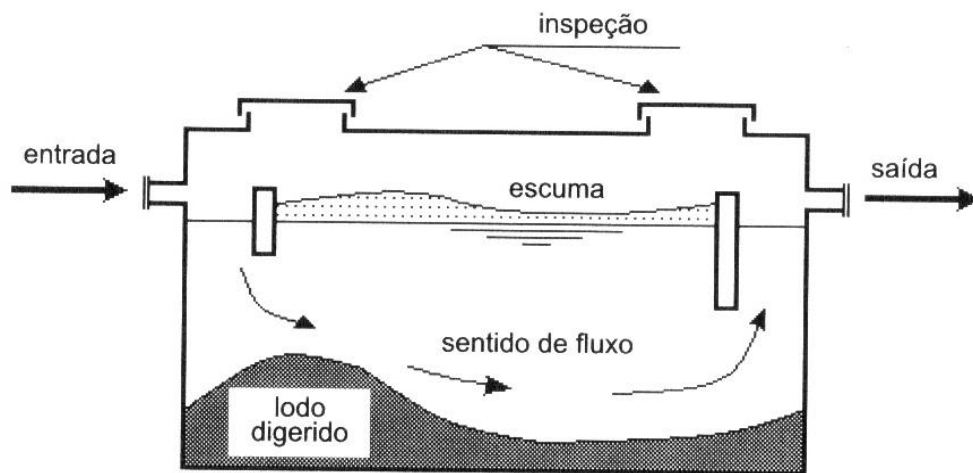


Figura 13: Tanque séptico de câmara única
Fonte: Von Sperling (2005)

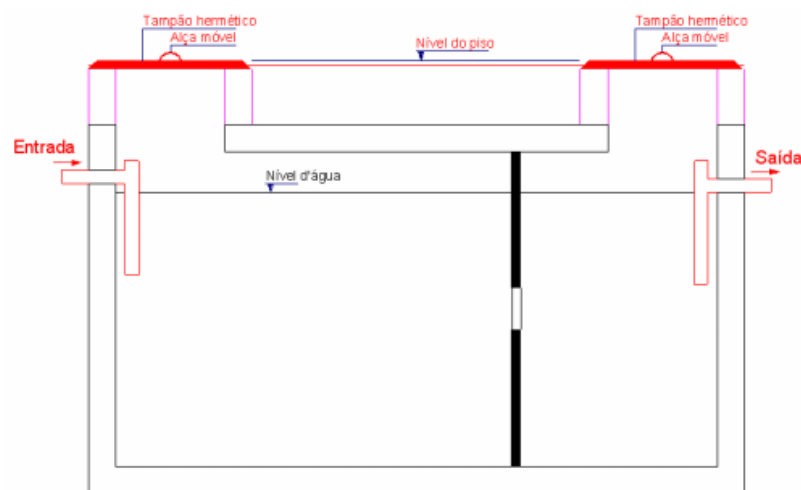


Figura 14: Tanque séptico de câmaras em série
Fonte: AltoQi (s/d)

Quando as condições do solo são favoráveis, o efluente das fossas sépticas pode ser infiltrado através de sumidouros ou de valas de infiltração.

Os sumidouros requerem menor área do terreno, exposto na Figura 15, porém oferecem maior risco de contaminação do lençol freático. De acordo com NBR 7229 (1993), recomenda-se que sejam instalados de maneira que o fundo esteja, pelo menos, 1,5 metros acima do nível do lençol freático e com taxa de infiltração no solo de igual ou superior a 40 l/m².dia (ver Tabela 06). Do mesmo modo, essa norma também especifica os procedimentos para as valas de infiltração. Como tais valas são executadas superficialmente, pode-se aplicar com taxa de infiltração variando entre 20 e 40 l/m².dia (ver Tabela 06), e quando o nível do lençol freático não permitir a implantação de um sumidouro. Naturalmente a desvantagem das valas de infiltração é o fato de requerer grandes áreas, como demonstrado na Figura 16.

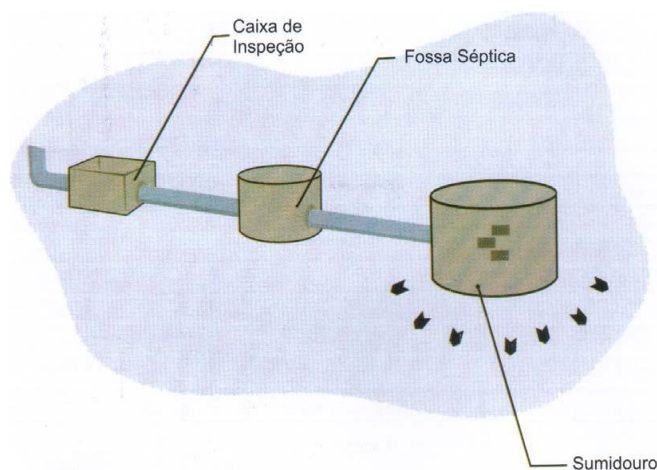


Figura 15: Sistema tanque séptico – sumidouro
Fonte: CAESB (s/d)

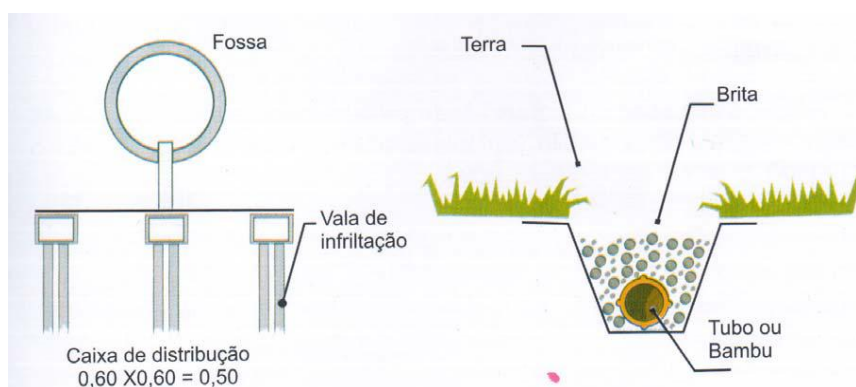


Figura 16: Sistema tanque séptico – valas de infiltração
Fonte: CAESB (s/d)

Uma outra situação, como a CETESB (1988) sugere, na impossibilidade de infiltrar o efluente da fossa devido a fatores como características do solo, nível do lençol freático, não disponibilidade de área, mesmo assim, é necessário tratar esse efluente antes de lançá-lo nos

corpos d'água. Dentre as soluções, recomenda-se o filtro anaeróbico de fluxo ascendente, ilustrado na Figura 17, o qual consiste de um tanque cheio de pedra brita ou outro material inerte por onde o esgoto flui da na parte inferior percolando até a parte superior.

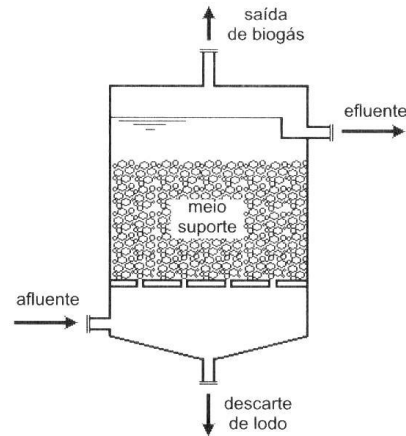


Figura 17: Esquema de um filtro anaeróbico de fluxo ascendente
Fonte: Von Sperling (2005)

A Figura 18 ilustra o sistema de tratamento de tanque séptico seguido de filtro anaeróbico.

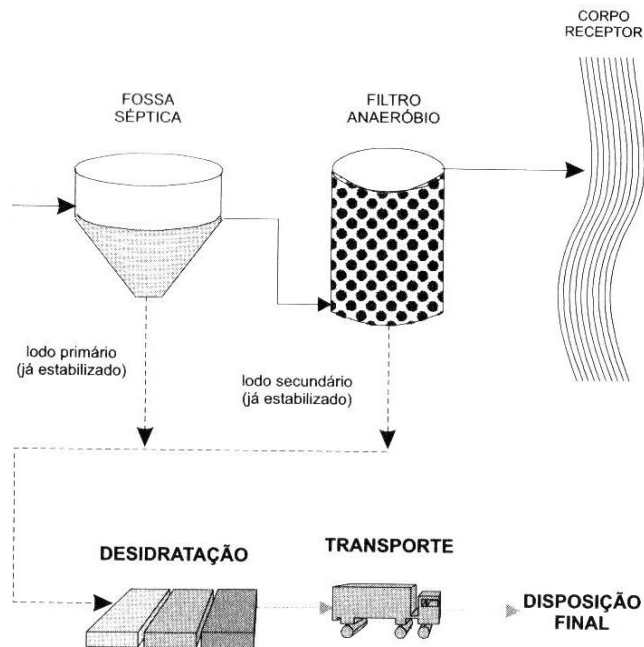


Figura 18: Sistema tanque séptico – filtro anaeróbico
Fonte: Von Sperling (2005)

O tratamento acontece através de processo anaeróbio. Deve se remover o lodo do filtro a cada cinco ou seis meses, o controle operacional é simples e não requer mão-de-obra especializada, também não são necessários equipamentos como bombas de recalque, aeradores de superfície e outros. Pode-se instalar o equipamento abaixo do nível da superfície do solo, para que as variações de temperatura não afetem o processo (CETESB, 1988).

A Tabela 5 apresenta aproximadamente as áreas necessárias para os sistemas de fossa séptica mais tratamento complementar.

A Tabela 6 fornece possíveis faixas de variação do coeficiente infiltração, para a provável constituição dos solos.

Tabela 5 – Áreas estimadas para tratamento de esgotos por sistemas com fossas sépticas

Sistema	Área total necessária (m²)	Área necessária por habitante (m²/hab.)	Observações
População: 50 hab. Contribuição: 150 l/hab.dia			
Fossa séptica de duas câmeras em série + vala de infiltração.	3076	6,15	Altura útil da fossa: 1,50 m Coeficiente de infiltração: 50 l/m ² .dia
Fossa séptica de duas câmeras em série + vala de infiltração.	2086	4,17	Altura útil da fossa: 1,50 m Coeficiente de infiltração: 75 l/m ² .dia
Fossa séptica de duas câmeras em série + filtro anaeróbio.	129	0,26	Projetado conforme Viera & Além Sobrinho.

Fonte: CETESB (1988)

Tabela 6 – Possíveis faixas de variação do coeficiente de infiltração

Faixa	Constituição provável dos solos	Coeficiente de infiltração l/m².dia
1	Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando até rochas alteradas e argilas mediantemente compactas de cor avermelhada.	Menor que 2
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom mediantemente compactas, variando até argilas pouco siltosas e/ou arenosas.	20 a 40
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando até areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60
4	Areia ou silte pouco argiloso ou solo arenoso com húmus e turfas, variando até solos constituídos predominantemente de areias e siltes.	60 a 90
5	Areia bem selecionada e limpa, variando até areia grossa com cascalho.	Maior que 90

Nota: Os dados se referem, numa primeira aproximação, aos coeficientes que variam segundo o tipo dos solos não saturados. Em qualquer dos casos, é indispensável à confirmação por meio dos ensaios de infiltração do solo.

Fonte: NBR 7229 (1993)

2.5.2 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização, exemplificadas na Figura 19, são formadas por grandes tanques de pequena profundidade, escavados no solo, nos quais o esgoto sanitário flui continuamente e é tratado por processos naturais, ocorrendo em nível secundário (CETESB, 1988).

Segundo Gonçalves (2003), as lagoas de estabilização, são técnicas de tratamento de esgotos utilizados principalmente para a remoção da matéria orgânica. Todavia, com algumas adaptações no fluxograma e na geometria das lagoas, podem ser conseguidas elevadíssimas eficiências de remoção dos organismos patogênicos.

De maneira geral, as lagoas de estabilização, são indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento, devido aos seguintes aspectos (GONÇALVES, 2003):

- Suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades
- Clima favorável (temperatura e insolação elevadas)
- Operações simples
- Necessidade de pouco ou nenhum equipamento
- Custos de implantação e operação adequados

Conforme o mesmo autor, essas unidades especialmente projetadas e construídas, tem a única finalidade de tratar os esgotos. E constituem uma das formas mais simples de se tratar as águas residuárias. Cujas construção é simples, baseando-se principalmente em movimentos de solos das escavações e preparação dos taludes.

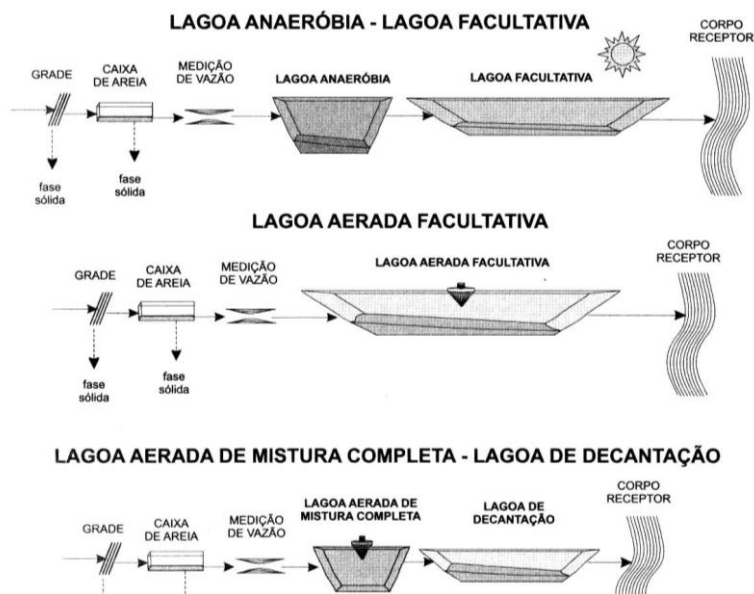


Figura 19: Sistemas de lagoas de estabilização
Fonte: Von Sperling (2005)

Segundo Von Sperling (2005), existem diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área. Essas variantes são descritas a seguir, conforme observações do mesmo autor:

a) Lagoas facultativas

As lagoas facultativas são classificadas em lagoas primárias e secundárias. Quando recebem o esgoto bruto, são denominadas lagoas primárias. A lagoa secundária é aquela que recebe seu afluente de uma unidade de tratamento anterior (como apresenta o item *b* a seguir).

O processo de lagoas facultativas é essencialmente natural, não necessitando de nenhum equipamento. Devido a isso, a estabilidade da matéria orgânica se processa em taxas mais lentas, portanto, provocando a necessidade de um elevado período de detenção na lagoa (usualmente superior a 20 dias). A fotossíntese, para que seja efetiva, necessita de uma elevada área de exposição para o melhor aproveitamento da energia solar pelas algas, também implicando na necessidade de grandes unidades. Desta forma, a área total requerida pelas lagoas facultativas é a maior dentre todos os processos de tratamento de esgotos, excluindo-se somente os processos de disposição sobre o solo. Contudo, o fato de ser um processo totalmente natural está associado a uma maior simplicidade operacional.

A Figura 20 apresenta um esquema simplificado de lagoas facultativas.

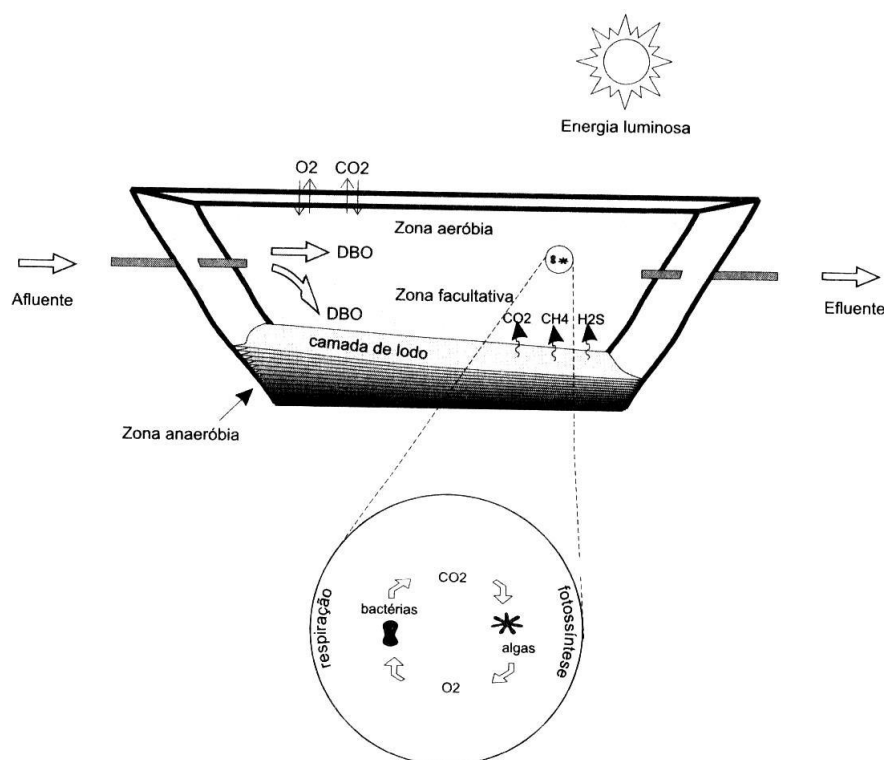


Figura 20: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa
Fonte: Von Sperling (2005)

b) Sistemas de lagoas anaeróbias – lagoas facultativas

O processo de lagoas facultativas, apesar de possuir uma eficiência satisfatória, requer uma grande área, muitas vezes não disponível na localidade em questão. Existe, conseqüentemente, a necessidade de se buscar soluções que possam sugerir a redução da área total solicitada. Uma dessas soluções é a do sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. Nesse caso, a lagoa facultativa é também denominada de lagoa secundária, pois recebe o afluente de uma unidade precedente, e não esgoto bruto.

O esgoto bruto entra numa lagoa de menor área, porém mais profunda (em torno de 4 a 5 metros). Devido as menores dimensões dessa lagoa, a fotossíntese praticamente não ocorre. No balanço entre o consumo e a produção de oxigênio, o consumo é amplamente superior. Prevaecem, assim, condições anaeróbias nessa primeira lagoa, denominada, em decorrência, lagoa anaeróbia.

A lagoa facultativa recebe uma carga de apenas 30 a 50% da carga do esgoto bruto, advindo da lagoa anaeróbia, podendo, assim, ter dimensões bem menores. O requisito de área total (anaeróbia + facultativa) é tal, que se consegue uma economia de área da ordem de 1/3, quando comparado a uma lagoa facultativa única.

O fluxograma típico de um sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas pode ser conferido na Figura 21.

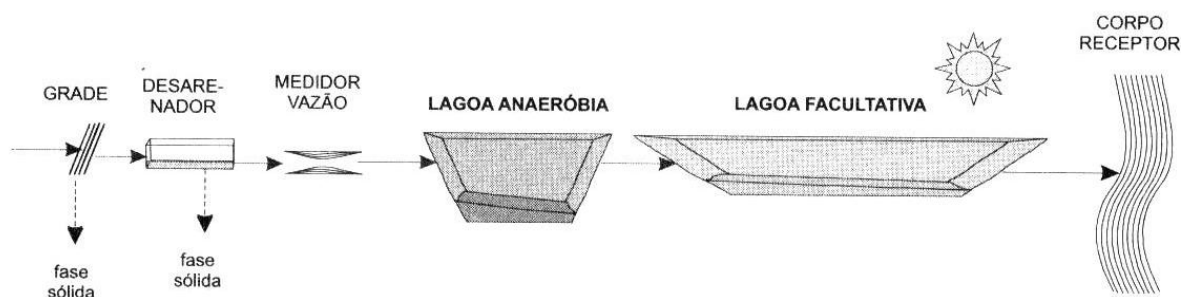


Figura 21: Fluxograma típico de um sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas
Fonte: Von Sperling (2005)

O sistema tem uma eficiência similar a de uma lagoa facultativa única, sendo também conceitualmente simples e fácil de operar. Porém, a existência de uma etapa anaeróbia em uma unidade aberta é sempre uma causa de preocupação, devido à possibilidade da liberação de maus odores. Caso o sistema esteja equilibrado, a geração de mau cheiro não deve ocorrer. Todavia, casualmente problemas operacionais podem conduzir a liberação de gás sulfídrico,

responsáveis por odores fétidos. Por essa razão, este sistema é normalmente localizado onde é possível haver um grande afastamento de residências.

Devido ao volume relativamente pequeno da lagoa anaeróbia, e ao fato dela receber os esgotos brutos, o acúmulo de lodo tem um maior impacto, fazendo com que haja necessidade de sua remoção no intervalo de alguns anos. A remoção do grande volume do lodo acumulado ao longo de alguns anos, bem como sua disposição, são tarefas complexas, que devem ser levadas em consideração na concepção do sistema.

c) Lagoas aeradas facultativas

Caso se deseje ter um sistema predominantemente aeróbio, e de dimensões ainda mais reduzidas, pode-se utilizar a lagoa aerada facultativa. A principal diferença em relação à lagoa facultativa convencional é quanto à maneira de fornecimento de oxigênio. Enquanto na lagoa facultativa o oxigênio é obtido principalmente da fotossíntese, no caso de lagoa aerada facultativa o oxigênio é fornecido principalmente através de equipamentos denominados aeradores.

Os aeradores mecânicos mais comumente utilizados em lagoas aeradas são unidades de eixo vertical que, ao rodarem em alta velocidade, causam uma grande agitação na água. Este movimento propicia a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida, onde o mesmo se dissolve. Com isso, consegue-se uma maior introdução de oxigênio, comparada a lagoa facultativa convencional, permitindo que a decomposição da matéria orgânica se dê mais rapidamente. Sendo os requisitos de área bem menor.

A lagoa é denominada facultativa pelo fato do nível de energia introduzido pelos aeradores ser suficiente apenas para a oxigenação e não para manter os sólidos em suspensão na massa líquida, conforme fluxograma da Figura 22. Dessa forma, os sólidos tendem a sedimentar e constituir a camada de lodo de fundo, cuja decomposição é anaeróbia.

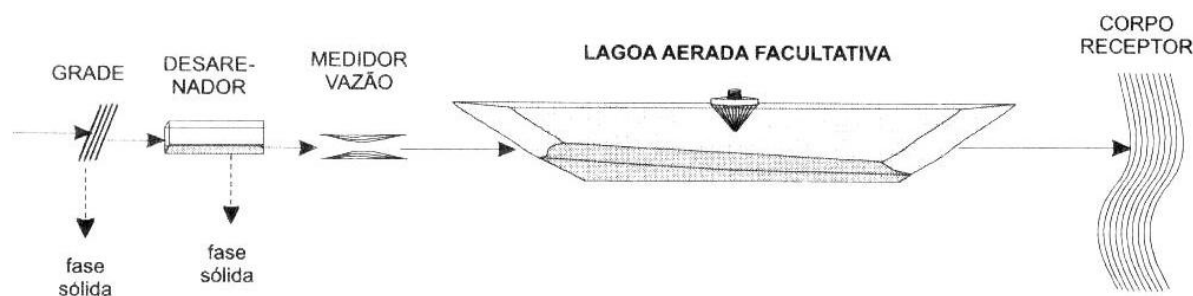


Figura 22: Fluxograma típico de um sistema de lagoas aeradas facultativas

Fonte: Von Sperling (2005)

Devido à introdução de mecanização, as lagoas aeradas são menos simples em termos de manutenção e operação, quando comparadas com as lagoas facultativas convencionais. A redução dos requisitos de área é conseguida, conseqüentemente, com certa elevação no nível de operação, além da introdução do consumo de energia elétrica.

d) Sistemas de lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de sedimentação

Uma forma de se reduzir ainda mais o volume da lagoa aerada consiste em aumentar o nível de aeração, fazendo com que haja uma agitação tal que, além de garantir a oxigenação, permita ainda que todos os sólidos sejam mantidos em suspensão no meio líquido. A denominação mistura completa é, portanto, advinda do alto grau de energia por unidade de volume, responsável pela total mistura dos constituintes em toda a lagoa.

Apesar disso, a elevada eficiência desta lagoa na remoção da matéria orgânica originalmente presente nos esgotos, um novo problema passou a ser gerado. A biomassa permanece em suspensão em todo o volume da lagoa, vindo, a sair com o efluente da lagoa. Essa biomassa é, em última análise, também matéria orgânica, ainda que de uma natureza diferente do esgoto bruto. Esta nova matéria orgânica, caso fosse lançada no corpo receptor, iria exercer também uma demanda de oxigênio, causando a deterioração da qualidade das águas.

Deste modo, é importante, que haja uma unidade a jusante, na qual os sólidos em suspensão, predominantemente biomassa, possam vir a sedimentar e ser separados do líquido, efluente final, de acordo com o fluxograma da Figura 23. Esta última unidade pode ser uma lagoa de decantação, com a finalidade singular de permitir a sedimentação e acúmulo dos sólidos.

A lagoa de decantação é dimensionada com um tempo de detenção bem reduzido, em torno de dois dias. Nela, os sólidos vão para o fundo, onde são armazenados por um período de alguns anos, após os mesmos são removidos.

Área requerida por este sistema é a menor dentre os sistemas de lagoas. Os requisitos de energia são similares aos demais sistemas de lagoas aeradas. Entretanto, os aspectos relativos ao manuseio do lodo podem ser mais complicados, devido ao fato de se ter um menor período de armazenamento na lagoa, comparando com outros sistemas. Caso a remoção do lodo seja periódica, tal ocorrerá numa frequência aproximada em torno de 2 a 5 anos. A remoção do lodo é uma tarefa trabalhosa e cara.



Figura 23: Fluxograma típico de um sistema de lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de decantação

Fonte: Von Sperling (2005)

e) Lagoas aeróbias

As lagoas aeróbias são concebidas para maximizar a produção de algas, em um ambiente totalmente aeróbio. Para tanto, as lagoas possuem reduzidas profundidades, garantindo a penetração da energia luminosa em toda a massa líquida. Estes fatores contribuem para o aumento da taxa de mortalidade de microrganismos patogênicos e para a remoção de nutrientes, que o principal objetivo das lagoas aeróbias.

Em comparação com outros sistemas de lagoas, ocupam relativamente áreas maiores, motivo que leva a serem pouco utilizadas (CETESB, 1988).

f) Lagoas de maturação

As lagoas de maturação, exemplificadas no fluxograma da Figura 24, possibilitam um polimento no efluente de qualquer dos sistemas de lagoas de estabilização descritos anteriormente ou, em termos mais amplos, de qualquer sistema de tratamento de esgotos. As lagoas de maturação constituem-se numa alternativa bastante econômica a desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração.

São executadas em profundidades mais rasas, comparada aos demais tipos de lagoas, beneficiando-se de alguns mecanismos como temperatura, insolação, oxigenação, iluminação entre outros, para atingir elevadíssimas eficiências na remoção de coliformes.

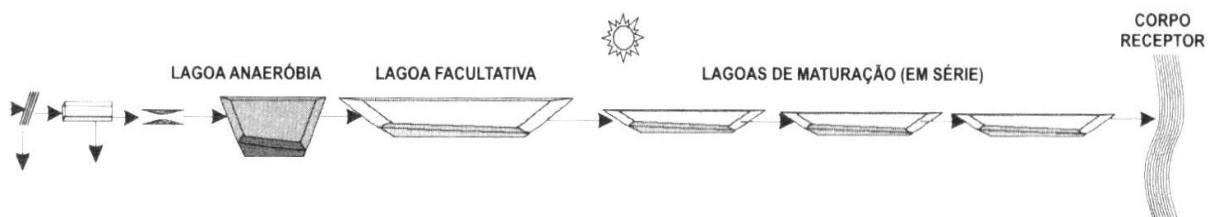


Figura 24: Fluxograma típico de um sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série

Fonte: Von Sperling (2005)

g) Lagoas de polimento

As lagoas de polimento são conceitualmente similares às lagoas de maturação, mas recebem esta nomenclatura específica por realizarem o polimento de efluentes de estações de tratamento, em particular os reatores anaeróbios tipo UASB. Isso se deve ao fato dos reatores anaeróbios não atingirem elevadas eficiências de remoção de impurezas, requerendo usualmente um pós-tratamento, ou seja, um polimento. A Figura 25 ilustra o sistema composto por UASB seguido por lagoas de polimento em série.

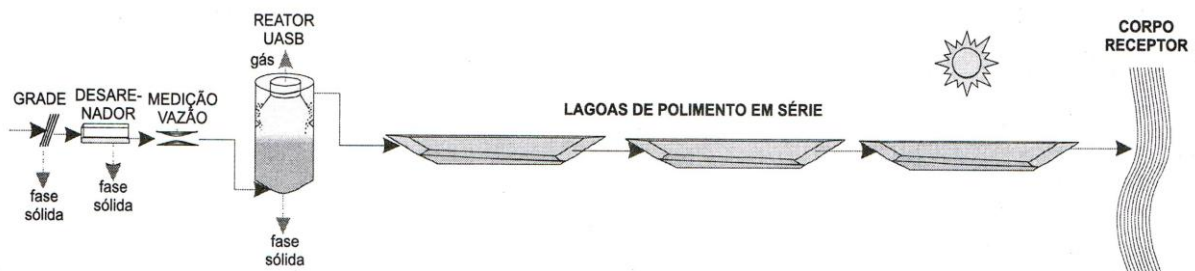


Figura 25: Fluxograma típico de um sistema composto por reator UASB seguido por lagoas de polimento em série

Fonte: Von Sperling (2005)

2.5.3 Disposição de esgoto doméstico no solo

Segundo Von Sperling (2005), as maneiras mais comuns para a disposição de efluentes líquidos tratados são os cursos d'água e o mar. Porém, a disposição no solo é também um processo viável e aplicado em diversos locais, tanto no Brasil, como no mundo.

Ainda de acordo com o mesmo autor, a aplicação de esgotos no solo, pode ser considerada uma forma de disposição final de tratamento.

Sendo que, os esgotos aplicados no solo têm, basicamente, quatro possíveis destinos:

- Retenção na matriz do solo
- Retenção pelas plantas
- Aparecimento na água subterrânea
- Coleta por drenos subsuperficiais

A ação do solo no processo de tratamento das águas residuárias, como ocorre na autodepuração dos corpos d'água e nos demais tipos de tratamento, compreende processos físicos, químicos e biológicos de remoção da carga poluente. Essas ações se iniciam imediatamente a partir do lançamento ao solo e continuam durante a percolação do resíduo (GONÇALVES, 2003).

Pode se citar como fatores importantes no uso do solo como meio de degradação de resíduos orgânicos, a taxa de infiltração e tipos de cobertura vegetal. Sendo que a remoção resulta da ação filtrante do solo seguida pela oxidação biológica do material orgânico (VON SPERLING, 2005).

A CETESB (1988) diz que o tratamento e disposição de esgoto doméstico no solo é uma alternativa de baixo custo e bastante viável para pequenas comunidades, principalmente, localizadas na zona rural, onde existe maior facilidade de encontrar terrenos possíveis de se implantar o sistema de tratamento.

Os principais métodos empregados na aplicação de esgoto no solo são:

- Irrigação (por aspersão, por sulcos ou inundação)
- Infiltração rápida (infiltração – percolação)
- Escoamento superficial

a) Sistema de irrigação por aspersão

Para esgotos domésticos, as taxas de aplicação são controladas, ou pelas cargas de nitrogênio, ou pela permeabilidade do solo. O método de irrigação por aspersão consiste em: tanque de contenção, equipamento de agitação da água residuária antes do bombeamento, bomba, tubulação de recalque e aspersores que lança o esgoto para a atmosfera. Se o esgoto a ser utilizado na irrigação estiver em cota superior a do solo a ser irrigado, dispensa-se o conjunto moto-bomba, pois o esgoto escoará, pelas linhas de distribuição, por diferenças de pressão, irrigando o solo de maneira adequada (CETESB, 1988).

Na Figura 26 está apresentado o esquema de um sistema completo de tratamento e disposição de esgotos domésticos no solo, por aspersão.

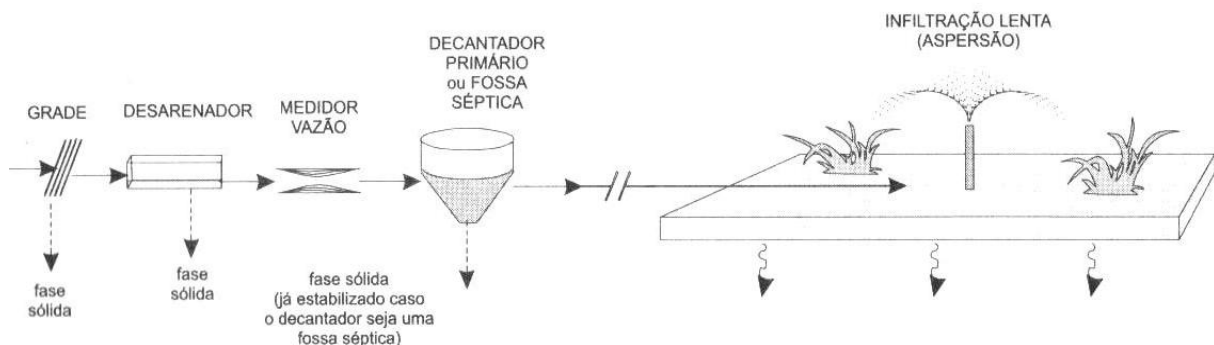


Figura 26: Fluxograma típico de um sistema de infiltração lenta por aspersão

Fonte: Von Sperling (2005)

O processo é adequado para irrigar qualquer tipo de terreno com relação a sua inclinação, como também os de superfícies irregulares.

Conforme a CETESB (1988), esse processo não pode ser empregado para fertirrigar culturas alimentícias, devido à existência de microrganismos patogênicos no esgoto que podem contaminar as plantações. Aconselha-se empregar grama para absorver e retirar os nutrientes do esgoto.

b) Sistema de irrigação por sulcos

O esgoto doméstico é distribuído em pequenos sulcos abertos ao longo da cultura a ser irrigada. Normalmente, é conduzido em canais de alimentação situados nas partes mais elevadas do terreno, a fim de percorrer lentamente os sulcos das cotas mais altas para as mais baixas. A declividade deve ser suave e as condições superficiais do solo, uniformes (CETESB, 1988).

De acordo com a mesma Companhia, solos excessivamente arenosos ou argilosos trazem dificuldades ao emprego desse método, sendo assim, o solo ideal aquele que apresenta partículas argilosas e arenosas em proporções adequadas, conferindo ao mesmo uma textura média, resultando em sulcos de comprimento razoável e perdas dentro dos limites aceitáveis.

Ainda, a CETESB (1988) recomenda utilizar esse método, somente nas plantações e culturas cujos frutos não estejam em contato direto com a terra, a fim de evitar a sua contaminação.

Esse método tem a vantagem, o baixo custo inicial, principalmente se o terreno não necessitar de movimentações de solos.

c) Sistema de irrigação por inundação

Consiste em inundar com esgoto um terreno dividido em parcelas, por meio de dique em curvas de nível a uma determinada profundidade, escolhida de acordo com a vegetação e o tipo de solo.

Porém, segundo CETESB (1988) a aplicação desse método, não deve ser realizado em culturas comestíveis, aconselhando-se o seu emprego na fertirrigação de plantas relativamente altas e com capacidade elevada de absorção de água e nutrientes, como exemplo pode se citar eucalipto.

As restrições quanto a sua aplicação é quanto a terrenos relativamente planos, como também exigência de melhor preparo do terreno, com movimentação de solo para manter os tabuleiros com declividade constante (CETESB, 1988).

d) Sistema de infiltração rápida (infiltração – percolação)

No processo de infiltração-percolação o objetivo é fazer do solo um filtro para as águas servidas. Esse sistema é caracterizado pela percolação da água residuária, a qual, purificada pela ação filtrante do meio poroso, constitui recarga para águas subterrâneas (VON SPERLING, 2005).

Nesta alternativa, segundo a CETESB (1988), as águas residuárias são dispostas em canteiros rasos e sem revestimento, conforme apresentado no esquema da Figura 27, onde seu único caminho, a exceção da pequena parcela que é evaporada, seja a percolação vertical descendente. Sendo que a aplicação do método somente deve ser utilizada em solos cuja profundidade efetiva em relação ao lençol freático varia de três a cinco metros, e é realizada de maneira intermitente, de forma a permitir um período de descanso para o solo. Neste intervalo, o solo seca e restabelece as condições aeróbias.

O método de infiltração- percolação é o que requer menor área, dentre os processos de disposição no solo. Sendo os terrenos mais apropriados aqueles altamente permeáveis, como os constituídos por solos arenosos.

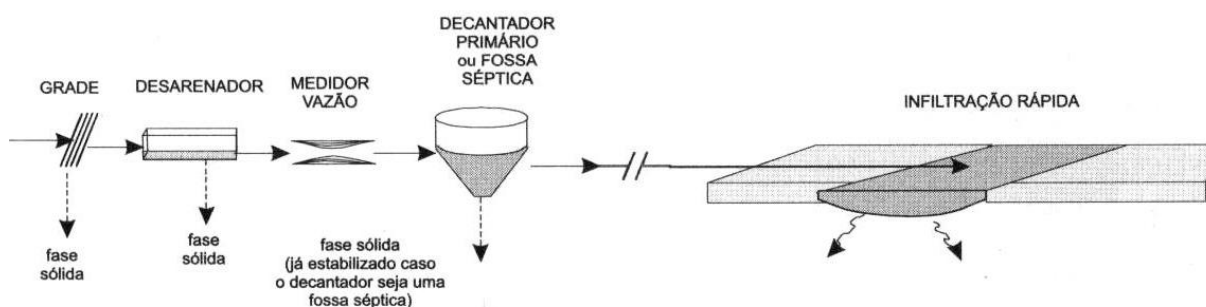


Figura 27: Fluxograma típico de um sistema de infiltração rápida
Fonte: Von Sperling (2005)

e) Escoamento superficial

Diferente do sistema descrito anteriormente, a aplicação de escoamento superficial sobre o terreno é aplicado em solos de baixa permeabilidade, solos argilosos, moderadamente inclinados. Esta forma de tratamento consiste na descarga controlada de esgoto, fazendo-o escorrer, no solo, rampa a baixo, até alcançar os canais de coleta. Sua aplicação também deve ser intermitente (CETESB, 1988).

Von Sperling (2005) diz que à medida que o efluente escoar no terreno, parte se evapora, uma pequena parte se infiltra no solo, e o restante é coletado em canais, posicionados na parte inferior da rampa de tratamento.

A Figura 28 apresenta um esquema do sistema de disposição por escoamento superficial.

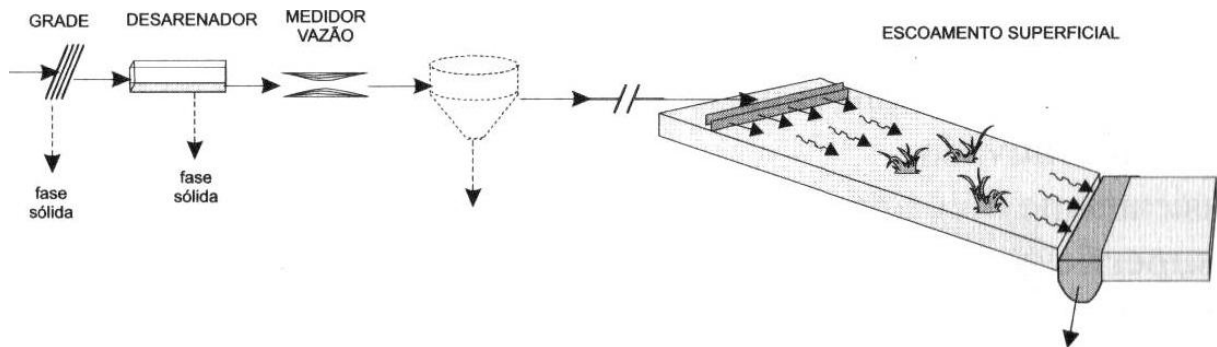


Figura 28: Fluxograma típico de um sistema de escoamento superficial
Fonte: Von Sperling (2005)

2.5.4 Reator anaeróbio de fluxo ascendente

Conforme Nuvolari (2003) este reator tem recebido diversas nomenclaturas diferentes (UASB em inglês, RAFA E DAFA em português). Preferencialmente utiliza-se a sigla original, UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Von Sperling (2005) diz que os reatores UASB constituem-se na principal tendência atual de tratamento de esgotos no Brasil, ora unidades únicas, ora seguidas de alguma forma de pós-tratamento. O esquema do sistema de tratamento por reator UASB é representado na Figura 29. Diferentemente dos filtros anaeróbios, não existe a necessidade de decantação primária, o que simplifica mais ainda o fluxograma da estação.

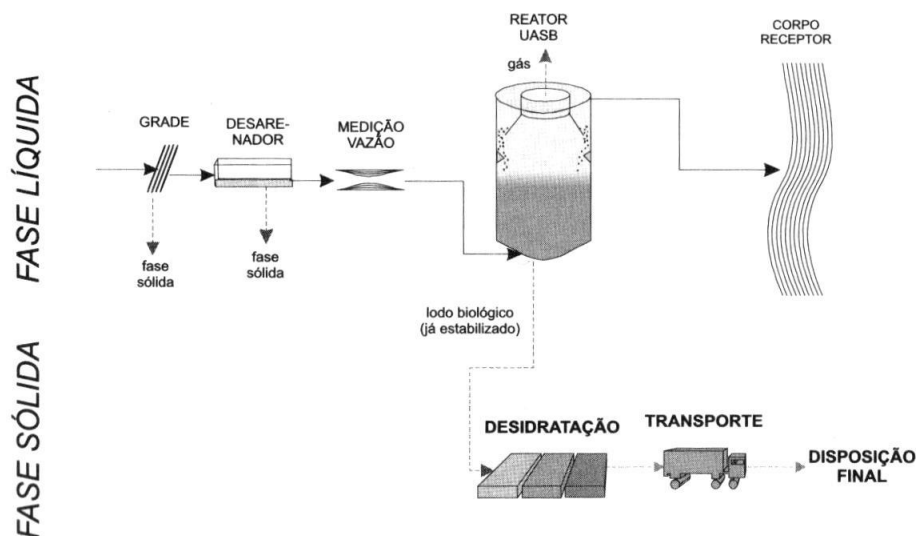


Figura 29: Fluxograma típico de um sistema com reator anaeróbio de fluxo ascendente
Fonte: Von Sperling (2005)

Nos reatores UASB, a biomassa cresce dispersa no meio, e não aderida a um suporte especialmente incluído. A própria biomassa, ao crescer pode formar pequenos grânulos. Esses pequenos grânulos, por sua vez, tendem a servir de suporte para outras bactérias. A granulação auxilia no aumento da eficiência do sistema. Com isso, a concentração de biomassa no reator é bastante elevada, e devido a essa elevada concentração, o volume requerido para este processo é bastante reduzido se comparado com todos os outros sistemas de tratamento (VON SPERLING, 2005).

De acordo com o mesmo autor, o efluente entra no fundo do reator e segue um fluxo ascendente. Como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases, principalmente metano e gás carbônico, onde as bolhas dos gases apresentam também uma tendência ascendente. De forma a reter a biomassa no sistema, impedindo que ela saia com o efluente, à parte superior do reator apresenta uma estrutura que possibilita as funções de separação e acúmulo, de líquidos, gases e sólidos. Razão pela qual, esta estrutura é denominada separador trifásico, cuja forma é comumente de um tronco de pirâmide ou cone invertido, representado na Figura 30.

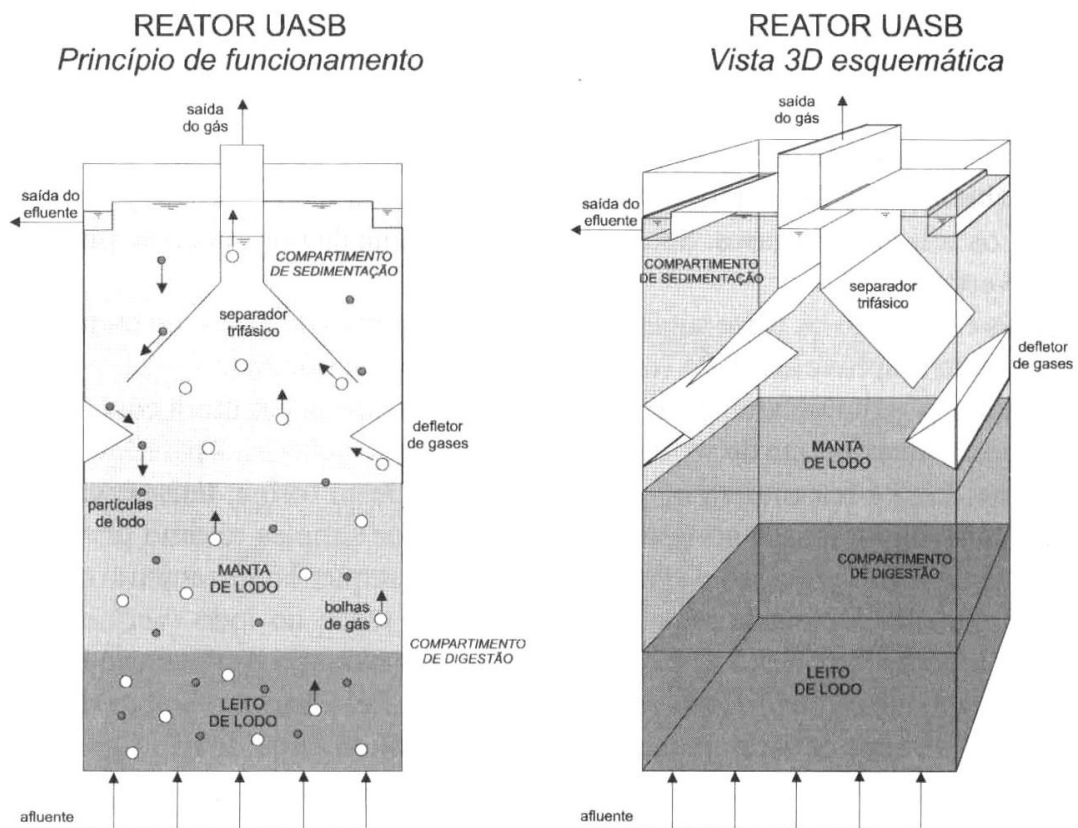


Figura 30: Representação esquemática do funcionamento de um reator UASB

Fonte: Von Sperling (2005)

Na representação da Figura anterior, pode-se perceber, na parte superior, na qual os gases são direcionados para o interior do cone, favorecido pela geometria do reator. Neste compartimento de gases, o mesmo pode ser retirado para reaproveitamento, da energia do metano, ou simplesmente, queima. Já os sólidos, sedimentam na parte superior externa desta estrutura cônica, no compartimento de sedimentação, deslizando-se pelas paredes com grande inclinação, até retornar ao corpo do reator. Desta forma, tem-se retenção de grande parte da biomassa no sistema, beneficiada pelo retorno gravitacional. Por fim, o efluente líquido sai na parte superior do compartimento de sedimentação, relativamente clarificado, por meio de vertedores ou tubulações perfuradas. Este é o efluente do reator UASB, que segue para a etapa de pós-tratamento ou para o corpo receptor (VON SPERLING, 2005).

Conforme a CETESB (1988), este tipo de reator pode, em princípio, ser empregado tanto para pequenas, como para grandes populações. Assim, devido ao pequeno volume e área que ocupa, a alternativa é indicada em situações, nas quais, não existem áreas disponíveis e/ou o custo das mesmas é elevado.

O sistema não exige equipamentos mecânicos e elétricos, bastando que o efluente seja encaminhado para o reator. Nem há necessidade de especialistas para operar o digestor, de modo que, a operação do sistema é tão simples quanto a de um tanque séptico doméstico, ou seja, basta retirar periodicamente uma parcela do lodo acumulado, que já se encontra estabilizado e pode ser descartado após desidratação, em locais como os aterros sanitários (CETESB, 1988).

Considerando o volume do reator e áreas de instalação extremamente reduzida, conseqüentemente, os custos de instalação também o serão. A Tabela 7 apresenta áreas e volumes estimados necessários para o sistema.

A CETESB (1988), ainda diz que a qualidade do esgoto tratado pelo UASB é quase tão adequada quanto aquela obtida por processos como os aeradores, ou como sistemas de lagoas de estabilização.

Os processos mais utilizados para desidratação do lodo são os leitos de secagem, filtro-prensa e filtro vácuo. De modo que o leito de secagem é utilizado quando se dispõem de áreas maiores, os filtros dispensam essa exigência (CETESB, 1988).

Tabela 7 – Áreas e volumes estimados requeridos no tratamento de esgoto domésticos por UASB

População (hab.)	Área (m²)	Volume (m³)
1000	7,50	25,00
2000	15,00	50,00
3000	22,50	75,00
4000	30,00	100,00
5000	37,50	125,00
10000	75,00	250,00
15000	112,50	375,00
20000	150,00	500,00
50000	375,40	1250,00
100000	750,00	2500,00
Valores per capita	0,0075 m ² /hab.	0,0250 m ³ /hab.

Nota: Para contribuição de esgotos per capita de 150 l/hab.dia, não inclui área necessária para disposição do lodo.

Fonte: Adaptado de CETESB (1988)

Para se atingir a eficiência pretendida, os reatores UASB devem ser seguidos por algum processo de pós-tratamento. Sendo esse sistema de pós-tratamento bem mais compacto, tendo em vista que 70% da carga orgânica foram previamente removidas. As dimensões, de área e volume totais, das unidades composta por UASB seguido de pós-tratamento é menor se comparada com a alternativa sem o reator. Em vista disso, usualmente, obtém-se economia nos custos de implantação e de operação, quando comparados com sistemas não precedidos pela etapa anaeróbia (VON SPERLING, 2005).

2.5.5 Valos de oxidação

Os valos de oxidação servem, normalmente, para tratamento de esgotos de localidades de pequeno e médio porte e que não disponham de grandes áreas para o tratamento. A alternativa consiste em após passar o esgoto bruto, pelas unidades de gradeamento e desarenação, entra em um canal de pouca profundidade, no qual um sistema de aeradores mecânicos aera o líquido e o mantém em circulação contínua (CETESB, 1988).

Segundo Bezerra (2005), o valo de oxidação é um canal de forma elíptica com seção transversal retangular, exemplificado na Figura 31. Sendo munido de um dispositivo de

movimentação das águas residuárias, denominado *rotor*, o qual confere ao líquido uma velocidade linear constante, apenas necessária para manter os flocos em suspensão e promover aeração superficial.



Figura 31: Vista do valo de oxidação da ETE – UFRN
Fonte: Bezerra (2005)

Trata-se de um sistema de aeração extremamente simples, constado na figura acima, constituído de um eixo horizontal principal, ao qual é acoplada uma escova piaçaba, ripas de madeira, lâminas de material inoxidável, borracha e outros (CETESB, 1988).

A Companhia cita que uma das vantagens do sistema é quanto a não necessidade de decantador primário. Porém, após o valo de oxidação, pode haver um decantador secundário, ou dependendo da disponibilidade de área, utiliza-se lagoa de polimento, quaisquer dos pós-tratamento assegura um efluente final com melhores características.

Contudo, eventualmente, o próprio valo pode ser utilizado como decantador, sendo possível com a interrupção periódica da aeração. O lodo gerado em pequenas quantidades encontra-se estabilizado, assim não necessitando de posterior digestão para ser disposto (CETESB, 1988).

Por fim, o sistema apresentado, apesar de operação simples e de não necessitar de pessoal especializado, exige uma atenção constante.

A Tabela 8 apresenta áreas aproximadas requeridas no tratamento de esgotos pelo sistema de valos de oxidação.

Tabela 8 – Áreas aproximadas requeridas no tratamento de esgotos por valos de oxidação

Áreas Aproximadas (m ²)				
População (hab.)	Aeração	Decantação	Leitos de secagem	Total (+10%)
1000	70	10	100	200
5000	360	30	500	1000
10000	650	65	1000	2000
20000	1330	130	2000	4000
50000	3330	300	5000	10000

Nota: Área estimada com base na profundidade de 1,50 metros.

Fonte: CETESB (1988)

2.6 Uso de técnicas quantitativas

Segundo Xian-Wen (1995, apud Oliveira, 2004) que investigaram a viabilidade tanto técnica como econômica da instalação de lagoas de estabilização para tratamento de esgotos na China, apontam o sistema de lagoas uma alternativa com vantagens como economia de energia, facilidade de operação e baixo custo operacional. Contudo, a opção tem o problema de ocupar grandes áreas de terreno. Os autores buscaram encontrar o valor máximo que o terreno poderia ter para ser viável, financeiramente, a execução dessa alternativa de tratamento, considerando que o custo desse item inteira 60% do custo total aplicado no empreendimento.

De acordo com Boller (1997, apud Oliveira, 2004) cujo estudo foi direcionado a implantação de estações de tratamento compactas, considerou diversos aspectos como o tamanho da planta, segurança na operação, confiança no processo, demanda de pessoal qualificado e custo de investimento e operação. No entanto, não só a tecnologia foi importante nessa investigação, mas também pontos econômicos e sociais. Sendo definidos pelo autor alguns passos para construção de pequenas estações:

- Análise dos problemas de poluição;
- Dados básicos de projeto – vazões, cargas poluidoras;
- Alternativas de disposição, alternativas de tratamento e avaliação de custos;
- Projeto e construção;
- Operação, manutenção e controle.

Vanrollenghem *et al.* (1999, apud Oliveira, 2004) observam a influência da qualidade do tratamento no custo final da estação e da sua operação, de modo que se faz necessário um estudo criterioso da relação custo-benefício de diferentes alternativas de tratamento. Assim,

fatores de influência, como eletricidade e mão-de-obra, têm relevância no custo final de cada tratamento.

Von Sperling (2005) diz que depois de conhecidas às principais características das alternativas investigadas, compõe-se o orçamento das opções e empreende-se um estudo econômico-financeiro comparativo, analisando-se os itens que não são comuns aos diferentes sistemas. De modo que a análise econômica deve levar em consideração, tanto custos de implantação, quanto de operação.

2.7 Escolha do sistema mais adequado

Metcalf e Eddy (1991, apud Oliveira 2004) dizem que vários autores definiram uma série de variáveis relevantes para a escolha de sistemas de tratamento de esgotos, as quais integraram os modelos desenvolvidos por eles. Sendo a questão do custo, colocada pelos autores, a mais significativa para a seleção e projetos de estações de tratamento de esgotos, principalmente para o cliente, não somente o custo inicial de construção como também os custos anuais de operação e manutenção. O planejamento de uma ETE apresentado pelos autores está esquematizado no fluxograma da Figura 32.

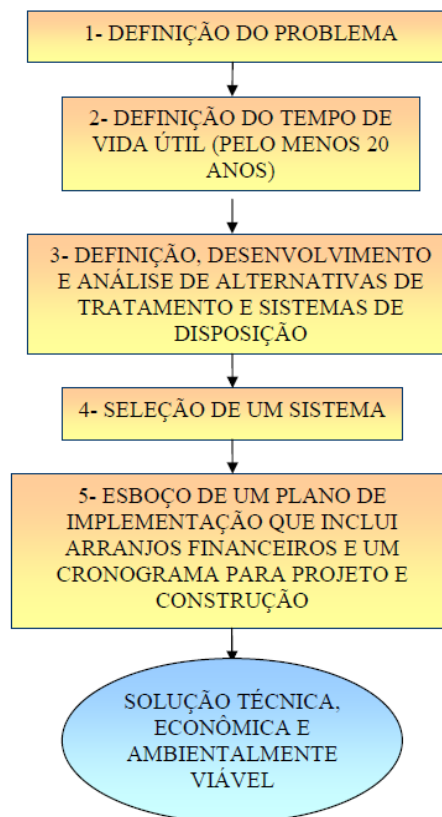


Figura 32: Fluxograma para o planejamento de estações de tratamento de esgotos
Fonte: Oliveira (2004)

Em seus estudos Tao e Hill (1999, apud Oliveira 2004) avaliaram sistemas de tratamento de esgoto por meio do Processo de Hierarquia Analítica (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) e análises de custo – benefício. Sendo que a hierarquia foi constituída em três níveis: (1) Foco – alcançar uma estação efetiva de tratamento. (2) Forças – são os parâmetros envolvidos, como o período de construção, gerenciamento, requisitos do sistema urbano de esgotos, pressão das normas ambientais, investimento na construção, eficiência do tratamento, uso do solo e custo de tratamento. (3) Cenários – opções viáveis de sistemas de tratamento. Os autores concluem o trabalho com um ranqueamento das alternativas, cujo resultado indicou como melhores alternativas o uso de pequenas ou médias estações, ao contrário do convencional, onde em diversas partes do mundo se dá maior ênfase a grandes estações.

A CETESB (1988) traz uma metodologia para a escolha do sistema mais adequado, utilizando um algoritmo de seleção de tecnologias, para a decisão, por meio de respostas as perguntas sobre a existência de disponibilidade de área a custo acessível, se a área é plana ou pouco inclinada, se o terreno é muito permeável, além da profundidade do lençol freático.

A Figura 33 apresenta o algoritmo de seleção de alternativas de tratamento possíveis para situações específicas.

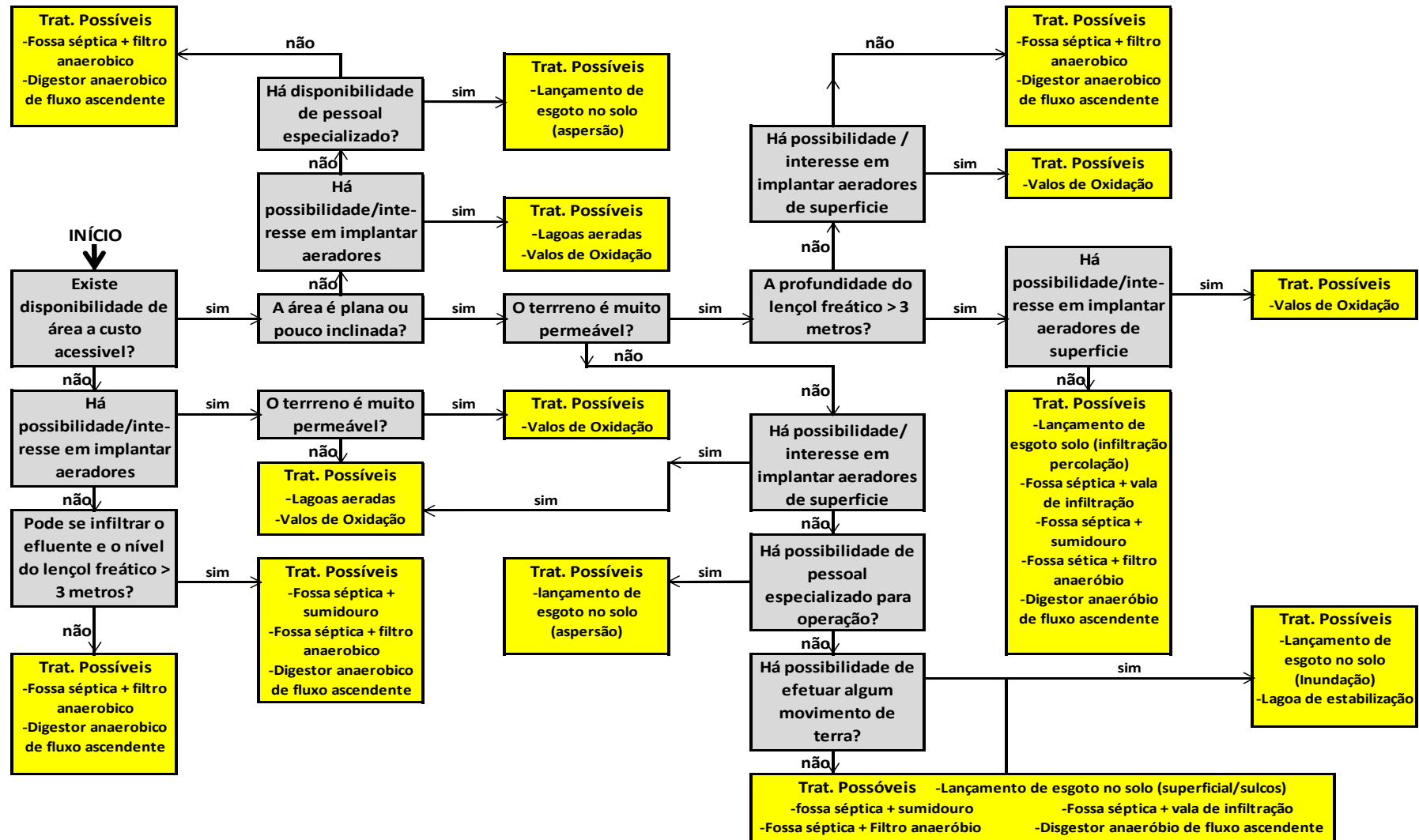


Figura 33: Algoritmo para seleção de sistemas de tratamento de esgotos em pequenas comunidades
Fonte: CETESB (1988)

2.8 Fatores relevantes para a escolha da alternativa de tratamento

Vários autores propuseram um conjunto de fatores importantes para a seleção do sistema de tratamento, existindo em muitos casos consenso sobre alguns deles. Contudo, a autora destaca que o nível de desenvolvimento do país onde se desenvolve a investigação interfere na relevância de certos fatores em relação a outros (OLIVEIRA, 2004).

Os mais relevantes fatores sugeridos pelos diversos autores, necessários à indicação do sistema apropriado de tratamento de esgotos, conforme descreve Oliveira (2004), são apresentados e definidos a seguir, de acordo com a ordem de importância:

- Restrições ambientais;
- Requisitos de manutenção e operação;
- Requisitos de energia;
- Características do afluente;
- Requisitos de pessoal;
- Custo de construção;
- Disponibilidade de terreno;
- Características do local;
- Custo do terreno.

a) Restrições ambientais

Verificação da classe, na qual está enquadrado o rio receptor do efluente da estação, conforme Resolução CONAMA 20/86, como também ser realizado o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), além de averiguar a legislação estadual.

b) Requisitos de manutenção e operação

Vários são os custos a serem considerados, como o aluguel de equipamentos em casos de sistemas que exigem monitoramento dos processos, análises laboratoriais dos afluentes e efluentes a estação, além de averiguar a necessidade de mão-de-obra especializada para possíveis sistemas que careçam da mesma.

c) Requisitos de energia

Verificação se a área de projeto possui fontes de energia com alimentação necessária para a carga exigida pela estação. Como também o consumo de energia consumida para cada alternativa.

d) Características do afluente

Caracterização das águas servidas, identificando-se suas características físicas, químicas e biológicas por meio de análises laboratoriais, além da noção do comportamento das vazões afluentes a estação.

e) Requisitos de pessoal

Previsão da necessidade de pessoal qualificado, como também quantidade de colaboradores, além de prever possíveis treinamentos para satisfazer as necessidades da alternativa de tratamento.

f) Custos de construção

Envolve todos os custos envolvidos na construção, desde serviços iniciais do canteiro de obras, como também o pagamento dos honorários dos colaboradores, além dos custos de projetos e planejamento.

g) Disponibilidade de terreno

Avaliação de facilidade/dificuldade para utilizar a área com a opção de tratamento, em relação ao custo, características, propriedades do terreno.

h) Características do local

Específica às características do solo, como infiltração, topografia e profundidade do lençol freático.

i) Custo do terreno

Deve atender as especificações e restrições para o sistema de estação a ser implantada.

Von Sperling (2005) define como elementos fundamentais para os estudos preliminares:

- Caracterização quantitativa e qualitativa dos esgotos afluentes a ETE;
- Requisitos de qualidade do efluente e nível de tratamento desejado;

- Estudos populacionais;
- Determinação do período de projeto e das etapas de implantação.

O autor ainda apresenta alguns métodos para avaliação do crescimento populacional, necessário para se estimar a população do período de projeto.

2.9 Processo de decisão entre as alternativas para o tratamento

Oliveira (2004) diz que a tomada de decisão em alternativas de gerenciamento de recursos hídricos têm várias particularidades que podem torná-la extremamente complicada, tais como: complexidade; incertezas de diferentes naturezas; possível existência de conflitos; investimentos onerosos; necessidade de planejamento em longo prazo; dinamismo ao longo da vida útil; repercussões financeiras, sociais e ambientais expressivas; participação de grupos heterogêneos no processo decisório.

Por exemplo, como cita Leoneti (2010), na seleção de um sistema de tratamento de esgoto, um hipotético jogador chamado "econômico" escolheria por um sistema de menor preço, enquanto outro hipotético jogador chamado "ecológico" escolheria por um sistema mais eficiente. Considerando somente a opinião de um desses jogadores, haveria uma decisão ou mais barata possível, mas não tão eficiente no tratamento, ou uma decisão mais eficiente possível, mas não tão acessível à determinada realidade financeira. A maximização ou a minimização da resposta de um determinado problema proporcionaria soluções deste tipo.

A Tabela 9 apresenta as alternativas utilizadas no estudo, relacionadas com os fatores mais relevantes a serem levados em consideração, com o intuito de servir como um auxílio para tomada de decisão na escolha da melhor alternativa.

Tabela 9 – Comparação entre as opções de tratamento de esgotos utilizadas no trabalho

Fatores	FS+S	FS+VI	FS+FA	LA+LF	LFU	DS	UASB	LA+LD	VO
Área necessária para implantação	Pequena	Grande	Pequena	Grande	Grande	Muito grande	Muito pequena	Pequena	Pequena
Custo de investimento por habitante	Médio	Grande	Médio	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Médio	Grande
Custo de operação e manutenção	Pequeno	Pequeno	Pequeno	Muito pequeno	Muito pequeno	Pequeno	Pequeno	Médio	Grande
Confiabilidade	Média	Média	Grande	Muito grande	Muito grande	Muito grande	Grande	Grande	Grande
Necessidade de mão-de-obra para operação	Muito eventual, não especializada	Muito eventual, não especializada	Muito eventual, não especializada	Eventual, não especializada	Eventual, não especializada	Constante, não especializada	Cte, não especial	Cte, não especial	Cte, não especial
Requerimento de energia para operação	Não requer	Não requer	Não requer	Não requer	Não requer	Não requer	Não requer	Requer	Requer
Produção de lodo a ser disposto	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
Remoção da matéria orgânica	Pequena	Pequena	Grande	Muito grande	Muito grande	Muito grande	Grande	Muito grande	Muito grande
Remoção de nutrientes	Não remove	Não remove	Não remove	Pode remover algum	Pode remover algum	Remove	Não remove	Não remove	Pode remover algum
Presença de patogênicos no efluente	Não há efluente propriamente dito	Não há efluente propriamente dito	Média	Pequena	Pequena	Não há efluente propriamente dito	Média	Média	Média
Observações	Para até 75 m ³ /dia	Para até 75 m ³ /dia	Para até 75 m ³ /dia						

Nota: Fossa séptica + sumidouro (FS+S), Fossa séptica + valas de infiltração (FS + VI), Fossa séptica + filtro anaeróbio (FS + FA), lagoa anaeróbia + facultativa (LA + LF), Lagoa facultativa unicelular (LFU), Disposição de esgoto no solo (DS), Reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), lagoa aerada + lagoa decantada (LA+LD), Valos de oxidação (VO).

Fonte: Adaptado de CETESB (1988)

3. MÉTODO E MATERIAIS

3.1 Classificação da Pesquisa

O presente estudo busca avaliar algumas alternativas de tratamento de esgoto doméstico, possíveis de serem aplicadas em um campus universitário, com a finalidade de auxiliar na escolha do sistema mais adequado tanto técnico como econômico.

A pesquisa é caracterizada conforme as fases:

- Pesquisa exploratória, marcada pelos estudos das alternativas de tratamento possíveis de aplicação na situação em análise.
- Pesquisa aplicada, pois busca propor alternativas de possíveis soluções de um problema real.
- Pesquisa classificada com estudo de caso, por estar centrada numa universidade na cidade de Ijuí-RS, no caso o campus da Unijuí.
- Pesquisa de campo, por se tratar de um estudo de caso, procura a melhor localização, dentro da área de projeto, para a locação da futura estação de tratamento de esgoto doméstico.
- Pesquisa bibliográfica, sendo um trabalho sistematizado com referencial em materiais publicados.
- Pesquisa qualitativa e quantitativa, pois busca tanto a caracterização qualitativa, com também a caracterização quantitativa dos esgotos domésticos.

3.2 Planejamento da Pesquisa

3.2.1 Procedimento de coleta e interpretação dos dados

A coleta de dados foi realizada em duas fases, bibliográfica e exploratória. Na literatura procuraram-se informações sobre as opções de tratamento de esgoto para pequenas comunidades, formas de avaliação entre as alternativas e possíveis fatores que poderiam auxiliar na escolha do sistema mais viável técnico e econômico.

A parte exploratória foi necessária para complementar dados não disponíveis na literatura. Dados da área de projeto como os topográficos, características do solo, nível do lençol freático, disponibilidade de energia elétrica, disponibilidade de terreno, possibilidade

de movimentação de solo e restrições ambientais conforme critérios estabelecidos pela resolução CONAMA N° 357 (2005).

A interpretação dos dados da pesquisa bibliográfica e exploratória foi realizada através de respostas maximizadas (sim) e minimizadas (não) as perguntas sugeridas pelo algoritmo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos, proposto por CETESB (1988), apresentado no Capítulo 2.

As questões elencadas a seguir são as sugeridas pelo algoritmo, respeitando a sequência:

- Existe disponibilidade de área a custo acessível?
- A área é plana ou pouco inclinada?
- O terreno é muito permeável?
- A profundidade do lençol freático é maior que três metros?
- Há disponibilidade/interesse em implantar aeradores de superfície?

Entre as alternativas selecionadas, fatores como área necessária para implantação, custo de investimento, custo de operação e manutenção, confiabilidade, necessidade de mão-de-obra para operação, requerimento de energia para operação, produção de lodo a ser disposto, remoção da matéria orgânica, remoção de nutrientes, presença de patógenos no efluente e restrições de alguns sistemas quanto a vazões diárias de esgoto, contribuíram no processo comparativo que resultou na escolha da melhor alternativa técnica e econômica.

Critérios estes, avaliados segundo a bibliografia encontrada em Von Sperling (2005), apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Características típicas dos sistemas de tratamento de esgoto estudados, expresso em valores per capita

Sistema	Demanda de área (m ² /hab.)	Potência para aeração		Volume de lodo		Custos	
		Instalada (W/hab.)	Consumida (kWh/hab.ano)	Líquido a ser tratado (L/hab.ano)	Desidratado a ser disposto (L/hab.ano)	Implantação (R\$/hab.)	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)
Fossa séptica + sumidouro	0,5 – 0,9	0	0	110 – 360	15 – 35	30 – 50	1,50 – 2,50
Tanque séptico + Filtro anaeróbico	0,2 – 0,35	0	0	180 – 1000	25 – 50	80 – 130	6,0 – 10
Tanque séptico + infiltração	1,0 – 1,50	0	0	110 – 360	15 – 35	60 – 100	3,0 – 5,0
Lagoa facultativa	2,0 – 4,0	0	0	35 – 90	15 – 30	40 – 80	2,0 – 4,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	1,5 – 3,0	0	0	55 – 160	20 – 60	30 – 75	2,0 – 4,0
Lagoa aerada facultativa	0,25 – 0,5	1,2 – 2,0	11 – 18	30 – 220	7 – 30	50 – 90	5,0 – 9,0
Lagoa aerada mistura completa + lagoa sedimentação	0,2 – 0,4	1,8 – 2,5	16 – 22	55 – 360	10 – 35	50 – 90	5,0 – 9,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	3,0 – 5,0	0	0	55 – 160	20 – 60	50 – 100	2,5 – 5,0
Infiltração lenta	10 – 50	0	0	-	-	20 – 60	1,0 – 3,0
Infiltração rápida	1,0 – 6,0	0	0	-	-	30 – 70	1,5 – 3,5
Escoamento superficial	2,0 – 3,5	0	0	-	-	40 – 80	2,0 – 4,0
Reator UASB	0,03 – 0,1	0	0	70 – 220	10 – 35	30 – 50	2,5 – 3,5
Valos de oxidação	0,2 – 0,3	2,5 – 4,5	18 – 26	-	36 – 90	80 – 150	10 – 18

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

3.2.2 Estudo de Caso

O estudo foi realizado em um campus universitário, localizado na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente na cidade Ijuí, no campus da Unijuí, ilustrado na Figura 34.

A área de projeto do caso investigado soma 48,17 hectares, e de acordo com Souza (2009) uma população efetiva de 6317 habitantes no ano publicado.



Figura 34: Vista aérea do campus da Unijuí – Ijuí/RS
Fonte: Departamento do Patrimônio da Unijuí

Souza (2009) apresenta a tipologia do esgoto gerado na área de projeto, no qual o esgoto doméstico tem o tratamento realizado na quase totalidade por fossas sépticas seguidas de sumidouro, salvo pelo prédio da biblioteca onde o tratamento é realizado por fossa séptica seguida de filtro anaeróbio.

O mesmo autor exhibe os estudos populacionais, cujo ano base é 2009, admitindo um período de projeto de 20 anos, recomendado pela literatura, a projeção futura realizada através de uma regressão linear resultou numa população final estimada de 7415 habitantes.

A vazão afluyente para a escolha e o dimensionamento da estação de tratamento de esgoto é o resultado da multiplicação da população final estimada pela taxa de contribuição diária de despejos, conforme a Norma NBR 13969 (1997). O Anexo “A” identifica a contribuição diária de despejos por tipo de prédio e ocupação. Neste caso a contribuição é de 50 litros/dia, sendo assim, conseqüentemente, a vazão contribuinte a estação de 370,75 m³/dia.

O Anexo “B” apresenta a planta planialtimétrica da área escolhida para o projeto, como também edificações arruamentos e hidrografia, adaptado do departamento de Patrimônio da Unijuí.

Os estudos de solos, nível do lençol freático, coeficientes de infiltração entre outras características da área investigada, foram realizados através de análises no mapeamento geológico elaborado por Montardo *et al.* (2007), conforme segue o diagnóstico do meio físico:

O perfil litológico da área de projeto é representado de forma esquemática na Figura 35.

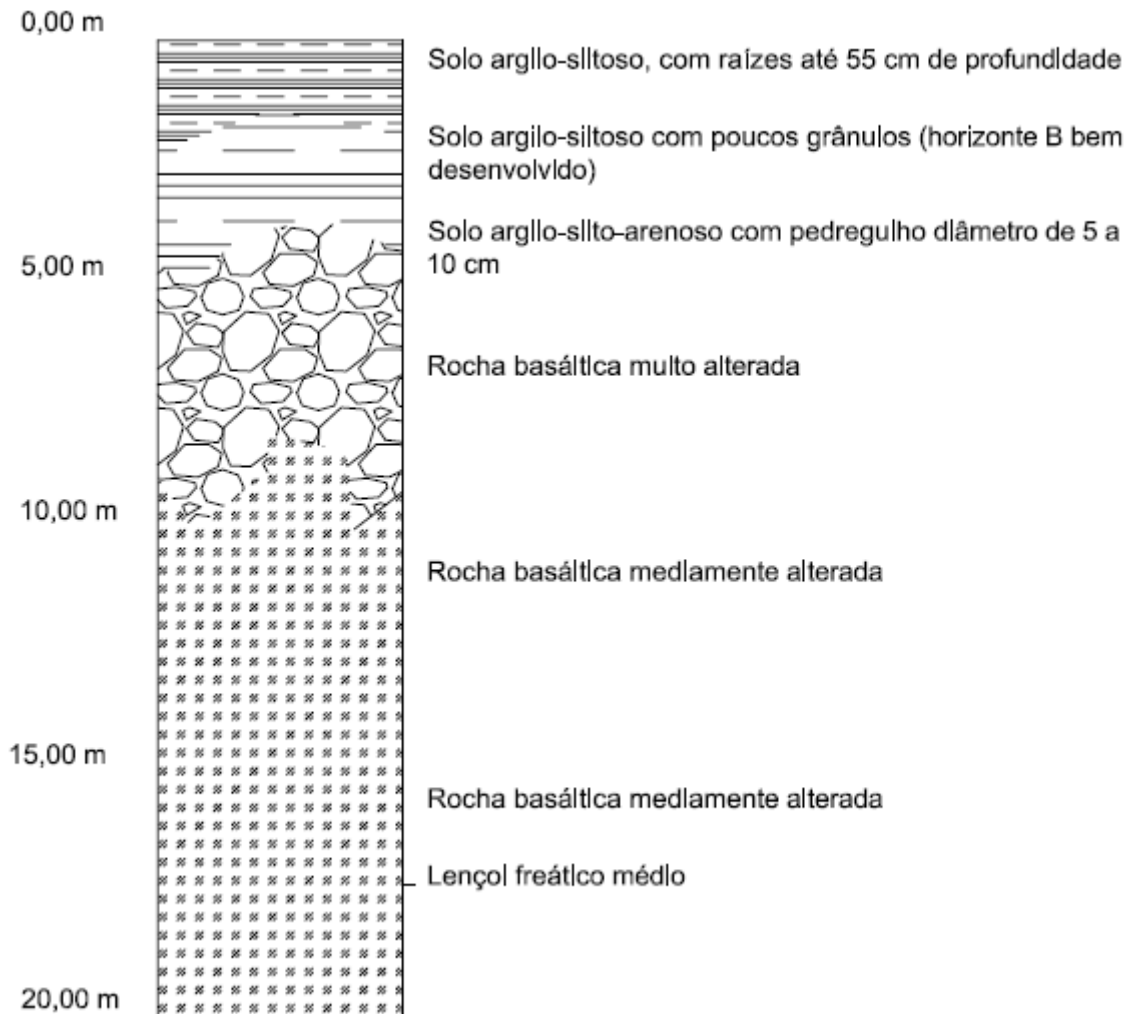


Figura 35: Perfil litológico
Fonte: Adaptado de Montardo *et al.* (2007)

Quanto ao clima, tem-se uma classificação de subtropical úmido, com regime pluviométrico espalhado em dois períodos diferenciados: um concentrado de abril a junho e outro, de menor intensidade, de julho a agosto. A média anual de precipitações é pouco superior a 1700 mm. As temperaturas médias anuais variam de 18° a 19° C, sendo 22° C a média do mês mais quente, em janeiro, e 10° C a média do mês mais frio, em julho.

A bacia hidrografia é a do Arroio Espinho, afluente do Rio Ijuí, cujas nascentes são providas do sul, em uma extensão máxima de 4 km. À montante da área do campus, o riacho atravessa áreas de uso rural, com prática de cultivos agrícolas e reservatórios, que barram a vazão. A jusante prevalece área de cultivo agrícola até sua foz ao norte, no Rio Ijuí.

O Campus teve suas instalações em área de uma coxilha com encostas suaves (declividades inferiores a 15%), alongada no sentido noroeste-sudeste. O relevo é pouco entalhado, onde os canais fluviais são rasos de e sem grandes dimensões.

Montardo *et al.* (2007) também descreve que o relevo suave e o substrato rochoso, formaram o desenvolvimento de camadas espessas de solo predominantemente argiloso.

Na maior parte da extensão territorial da área investigada, as camadas superficiais do solo apresentam-se remobilizadas pelo uso consecutivo ao longo tempo e a vegetação compõe-se basicamente de arbustos e herbáceas, com poucas árvores, todas implantadas durante o processo de urbanização e paisagismo.

Quanto ao perfil de alteração, predominam solos finos medianamente plásticos (CL) a plásticos, e mal drenados.

Informações básicas da área de projeto, como os tipos solos e coberturas constituintes da superfície, descritos a seguir, encontram-se na planta do Anexo “C”, elaborado por Montardo *et al.* (2007).

A Cobertura mobilizada se refere à corte e aterro, necessários para a ocupação dos terrenos pelos prédios, estacionamentos, vias, espaços verdes e outros equipamentos urbanos. Aparecem em 46,6% da superfície e apresentam coeficiente de infiltração ou muito baixo ou muito alto.

A saturação hidromórfica é constituída por argilas siltosas transportadas em situação de saturação contendo matéria orgânica em teores variados e ocupando as depressões topográficas. Formam 8,5% da área.

Os depósitos aluviais constituem-se de argilas silto-arenosas com pouca areia, acumuladas em planícies aluviais, reunindo 1,8% da área.

O solo argilo-siltoso formado por latossolos vermelhos residuais com materiais pedológicos de granulometria fina apresentando bom desenvolvimento de horizontes A e B. Somam em 15,2% da superfície. Os coeficientes de infiltração variam de 35 a 50 litros/m².dia.

O Solo argilo-siltoso com presença de areia, formado por latossolos vermelhos a alaranjados residuais com materiais de granulometria um pouco mais grossa. Perfazem 20,8% da superfície. Os ensaios resultaram em coeficientes de infiltração entre 65 e 75 litros/m².dia.

Por fim, os afloramentos rochosos são as superfícies de rochas basálticas fraturadas e muito a medianamente alteradas, em exposições não naturais, com exceção da porção leste da área mapeada. Completam 5,5% da área.

Em suas investigações, Montardo *et al.* (2007) também apresentam ensaios de infiltração realizados no campus da instituição. Testes executados conforme NBR 7229/93, onde foram escolhidos onze pontos em diversas porções da área de projeto. A localização dos pontos de ensaio consta no Anexo “C”.

Na Tabela 11 é possível visualizar os resultados dos ensaios realizados pelos autores.

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de infiltração

Ponto de ensaio	Profundidade (cm)	Tempo de infiltração (min:seg)	Coefficiente de infiltração (litros/m ² .dia)	Lençol freático (cm)	Descrição resumida do perfil da escavação
1	87	11:36	35	NC	Solo argilo-siltoso, profundidade total de mais de 1 m sobreposto a rocha basáltica cristalina alterada.
2	84	7:30	50	NC	Solo argiloso, raízes até 55 cm de profundidade.
3	83	4:40	65	NC	Lastro superficial de 6 cm de aterro c/brita; abaixo, mais 46 cm de aterro compactado, sobreposto a solo silto-argiloso.
4	80	>20	<20	50	Aterro compactado. Situado acima de solo saturado contendo tubulações de drenagem.
5	88	zero	>150	NC	Aterro com materiais de alta variação granulométrica.
6	80	3:40	75	NC	Solo silto-argiloso, muito poroso. Com uso agrícola.
7	82	5:10	63	NC	Solo silto-argiloso
8	72	Mais de 24 horas	zero	25-30	Camada c/ 10cm de material mobilizado sobre a rocha basáltica alterada. Superfície terraplanada.
9	70	3:10	80	NC	Aterro antigo.
10	70	3:45	75	NC	Aterro antigo, atualmente com cobertura de mata aberta plantada.
11	81	12	31	NC	Solo argiloso.

Nota: NC= não constatado.

Fonte: Adaptado de Montardo *et al.* (2007)

3.2.3 Materiais e equipamentos

Pesquisa da bibliografia técnica relacionada, bem como textos técnicos contidos em livros, periódicos, normas técnicas, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, artigos apresentados em simpósios, congressos e seminários.

Também foram realizadas investigação e listagem de dados buscados em campo, através de anotações, registros fotográficos e medição de declividade utilizando balizas, trena de 50 metros, mangueira de nível. Além disso, informações técnicas fornecidas por profissionais com conhecimento do campus da universidade.

Do mesmo modo, a busca de algumas informações, técnicas e econômicas, não encontradas na literatura, através de contato via e-mails e telefonemas.

Por fim, para uma melhor análise e interpretação, com a intenção de propor a localização ideal de uma estação de tratamento de esgoto, foram utilizadas plantas de situação, localização, planialtimétrica, mapeamento geológico da área de projeto, e ferramentas como os software Autocad, Microsoft Word e Microsoft Excel.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Aplicabilidade do Algoritmo de seleção de sistemas de tratamento de esgotos

A avaliação do modelo proposto por CETESB (1988), aplicada a este estudo de caso, é apresentada neste capítulo. Do mesmo modo, para viabilizar a aplicação prática do algoritmo sugerido, são necessários dados da área de projeto investigada, expostos nos subitens de sequência.

4.1.1 Disponibilidade de área

A Figura 36 apresenta o espaço físico da área de projeto, no qual através de interpretação do mapeamento geológico, análise do projeto planialtimétrico e investigações de campo, foi possível verificar disponibilidade de área para locação da estação de tratamento de esgoto.



Figura 36: Vista aérea do espaço físico do campus da Unijuí – Ijuí/RS
Fonte: Adaptado de Google Earth (2010)

O mapeamento geológico realizado por Montardo *et al.* (2007), possibilitou averiguar dentro do espaço físico do campus, um local favorável e disponível, ou seja, uma área em região não saturada, beneficiada pela topografia e não muito próxima das edificações.

O estudo da planta planialtimétrica resultou na identificação das regiões de cotas mais baixas, favoráveis e disponíveis para locação da estação.

A investigação de campo teve por finalidade identificar a região disponível apontada pelos estudos anteriores (mapeamento geológico e topografia), como também verificar possibilidade de movimentação de solos (corte e aterro), bem como ambiente de acesso de equipamentos e veículos.

Não foram considerados custos de aquisição de terreno, por se tratar de uma região dentro do espaço físico pertencente à instituição.

O Quadro 06 fornece dados da região disponível, favorecida pela topografia e geologia.

	Área (m²)	Elevação (m)	Solo	Acesso (veículos/equipamentos)	Possibilidade (corte/aterro)
Região disponível	1500	292 – 295	Não saturado	Permite	Sim

Quadro 06 – Dados da região disponível dentro da área de projeto

Fonte: O Autor (2010)

A região disponível é favorecida com área aproximada de 25 x 60 m e encontrasse na elevação média 293 m em relação ao nível do mar, abaixo de todas as cotas das edificações da área de projeto. Dessa forma contribuindo para a funcionalidade da rede coletora, toda por gravidade.

A Figura 37 mostra a região disponível para locação da estação de tratamento.



Figura 37: Região disponível para locação da estação de tratamento

Fonte: O autor (2010)

4.1.2 Declividade do terreno

Na Figura 38 é possível visualizar equipamentos alocados na região disponível, onde foram realizadas as medições de declividade, cujos resultados podem ser conferidos na Tabela 12.



Figura 38: Medição da declividade na região disponível
Fonte: O Autor (2010)

A Tabela 12 apresenta a declividade média da região disponível para implantação e por consequência as restrições ao uso do solo.

Tabela 12 – Declividade média e restrições quanto ao uso do solo

	Restrição	Declividade (%)	Área (m²)	Restrições ao uso do solo
Região disponível	Média	10,50	1500	Na situação original servem para atividades que não precisam de construções, em caso contrário, devem ser realizados corte e aterro para dotá-los de patamares.

Fonte: Adaptado de Mascaró (1997)

A região disponível, conforme a Tabela 12 apresenta uma declividade média de 10,50%, fato que a classifica como restrição média, exigindo assim, corte e aterro para execução de construções.

4.1.3 Permeabilidade do solo

Ensaio realizados por Montardo *et al.* (2007) comprovam que a região disponível apresenta solo permeável, classificados de acordo com a Tabela 13.

Tabela 13 – Características do solo da região disponível

	Constituição do solo	Coefficiente (L/m².dia)
Região disponível	Solo residual, silto-argiloso com presença de areia, muito poroso	65 - 75

Fonte: Adaptado de Montardo *et al.* (2007)

A região disponível apresenta um solo muito permeável, coeficiente de permeabilidade variando de 65 a 75 litros/m².dia, fato que a classifica como faixa 4 (coeficientes de 60 – 90 l/m².dia) da NBR 7229 (1993).

4.1.4 Nível médio do lençol freático

Embora nos ensaios de permeabilidade, realizados por Montardo *et al.* (2007) na região disponível, não ter encontrado a profundidade do lençol freático, a interpolação com outros pontos de ensaio dentro da área de estudo, testes estes em regiões saturadas, possibilitaram a estimativa do nível médio do lençol freático na região disponível, apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Nível médio do lençol freático

	Elevação (m)	Lençol freático médio (m)
Região saturada	278 – 281	0,50 (encontrado)
Região disponível	292 – 295	14 (estimado)

Fonte: O autor (2010)

Um comparativo das elevações entre as duas regiões (disponível e saturada) esclarece a estimativa do nível médio do lençol freático, em uma profundidade de 14 metros da superfície, na região disponível.

4.1.5 Avaliação disponibilidade/interesse em implantar aeradores de superfície

Para implantação de sistemas que requerem aeradores de superfície se faz necessário disponibilidade de energia elétrica. A Figura 39 comprova a presença deste artefato junto à região disponível.



Figura 39: Energia elétrica próxima à região disponível
Fonte: O autor (2010)

Porém, o fato de sistemas com presença de aeradores serem mais eficientes, também o são mais onerosos, tanto de implantação como também de operação e manutenção. A Tabela 15 traz uma estimativa, com dados de potência e custos adaptados da literatura, aplicados neste estudo de caso.

Tabela 15 – Valores médios estimados de potência e custos de sistemas com aeradores de superfície

	População estimada (hab.)	Potência para aeração		Custos	
		Instalada (W)	Consumida (kWh/ano)	Implantação (R\$)	Operação e manutenção (R\$/ano)
Lagoa aerada	7415	11864	107517,50	519.050,00	51.905,00
Valos de oxidação	7415	25952,50	163130	852,725,00	103.810,00

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

Baseado na teoria de que os agentes decisores procuram avaliar principalmente a função de custos, este estudo optou-se pelo “não interesse de se implantar aeradores de superfície”. Fato comprovado pelos onerosos valores das alternativas apresentadas na tabela anterior.

4.1.6 Pré-seleção entre alternativas estudadas

Nesta etapa, entre as opções de tratamento analisadas no trabalho, ocorre uma pré-seleção de alternativas, realizada por meio do algoritmo da CETESB (1988), apresentado no Capítulo 2.

Esta pré-seleção, consiste em um procedimento de exclusão das alternativas que não atenderam as restrições técnicas e econômicas.

A Tabela 16 apresenta as alternativas selecionadas e excluídas, nesta pré-seleção.

Tabela 16 – Pré-seleção de alternativas, conforme algoritmo da CETESB (1988)

Alternativa	Situação
Fossa séptica + sumidouro	Selecionada
Fossa séptica + valas de infiltração	Selecionada
Fossa séptica + filtro anaeróbio	Selecionada
Lagoa facultativa	Excluída
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	Excluída
Lagoa aerada facultativa	Excluída
Lagoa aerada de mistura completa + lagoa de sedimentação	Excluída
Lagoa aeróbia	Excluída
Lagoas de maturação	Excluída
Lagoas de polimento	Excluída
Disposição no solo - irrigação por aspersão	Excluída
Disposição no solo - irrigação por sulcos	Excluída
Disposição no solo - irrigação por inundação	Excluída
Disposição no solo - infiltração rápida (infiltração – percolação)	Selecionada
Disposição no solo - Escoamento superficial	Excluída
Reator anaeróbio de fluxo ascendente	Selecionada
Valos de oxidação	Excluída

Fonte: O autor (2010)

De acordo com os resultados da tabela 16, cinco alternativas foram selecionadas pelo algoritmo, as demais excluídas. Logo, no item 4.3 será realizado um comparativo entre as selecionadas, utilizando-se de alguns critérios, que resultará na melhor opção técnica/econômica.

4.2 Avaliação das restrições ambientais

Primeiramente, as restrições ambientais deveram respeitar os critérios estabelecidos pela resolução CONAMA N° 357 (2005).

E um dos critérios desta legislação é quanto à classificação do corpo receptor do efluente.

O corpo receptor do efluente da área de projeto é o Arroio Espinho, ilustrado na Figura 40, o qual na altura do campus da instituição se caracteriza por apresentar uma calha rasa, com largura de aproximadamente 5 metros. Em função de não apresentar um estudo específico sobre sua classificação, foi feita uma consulta a técnico habilitado a realizar essa aprovação, cujo veredito explicitado na sequência:

Nos dias atuais, segundo Resolução do CONAMA N° 357 (2005) , está caracterizado em classe 3, ou seja, com águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) a pesca amadora;
- d) a recreação de contato secundário; e
- e) a dessedentação de animais.

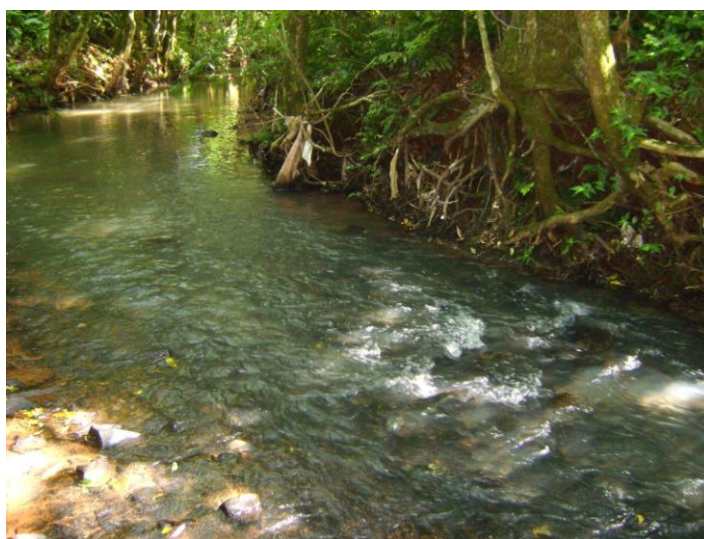


Figura 40: Calha do Arroio Espinho
Fonte: O autor (2010)

Do mesmo modo, existe a previsão de ajardinamento nas áreas livres da estação, como também cinturão verde no perímetro da área de instalação. Desta forma, na ocorrência de processos anaeróbios, colaborando no controle da dispersão dos gases gerados. Com respeito a pelos menos 150 metros de distância das edificações com concentração de populações.

Quanto à segurança, previsão de instalação de cercas ao redor de todo o terreno, limitando a entrada exclusivamente de pessoal autorizado. Evitando assim o acesso livre as instalações da estação.

Como proteção aos colaboradores e visitantes previsão de instalação de guarda-corpo ao redor dos tanques.

Conforme Oliveira (2004) deve ser prevista a cloração e descloração do efluente final, por medidas sanitárias e ambientais respectivamente. A cloração evita a emissão de organismos patogênicos ao corpo receptor e a descloração é indispensável para que o cloro não seja lançado no corpo receptor, originando desequilíbrio dos organismos aquáticos.

Por fim, deverá ser adaptado a todas as restrições ambientais exigidas pela legislação.

4.3 Avaliação alternativas *versus* critérios

A avaliação foi realizada através de um comparativo entre as cinco alternativas de tratamento selecionadas, utilizando-se de critérios como demanda de área, potência para aeração, volume de lodo e custos, adaptados da literatura de Von Sperling (2005).

Este comparativo serve para indicar a escolha de uma opção que seja viável tanto em questões técnicas como também em relação a custos de implantação, operação e manutenção.

4.3.1 Critério: demanda de área

A Tabela 17 apresenta a população estimada da área de projeto a fim de obter a demanda de área exigida pelas alternativas selecionadas, e o gráfico da Figura 41 apresenta uma média das áreas necessárias em cada opção.

Tabela 17 – Demanda de área pela estação de tratamento de esgoto

Alternativa	População estimada (hab.)	Demanda de área (m ² /hab.)	Área total (m ²)
Fossa séptica + sumidouro	7415	0,5 – 0,9	3708 – 6674
Fossa séptica + valas de infiltração	7415	1,0 – 1,50	7415 – 11123
Fossa séptica + filtro anaeróbio	7415	0,2 – 0,35	1483 – 2595
Disposição no solo - infiltração rápida (infiltração – percolação)	7415	1,0 – 6,0	7415 – 44490
Reator anaeróbio de fluxo ascendente	7415	0,03 – 0,1	222 – 742

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

Analisando a Tabela, é possível perceber o disparate de demanda média de área entre as alternativas.

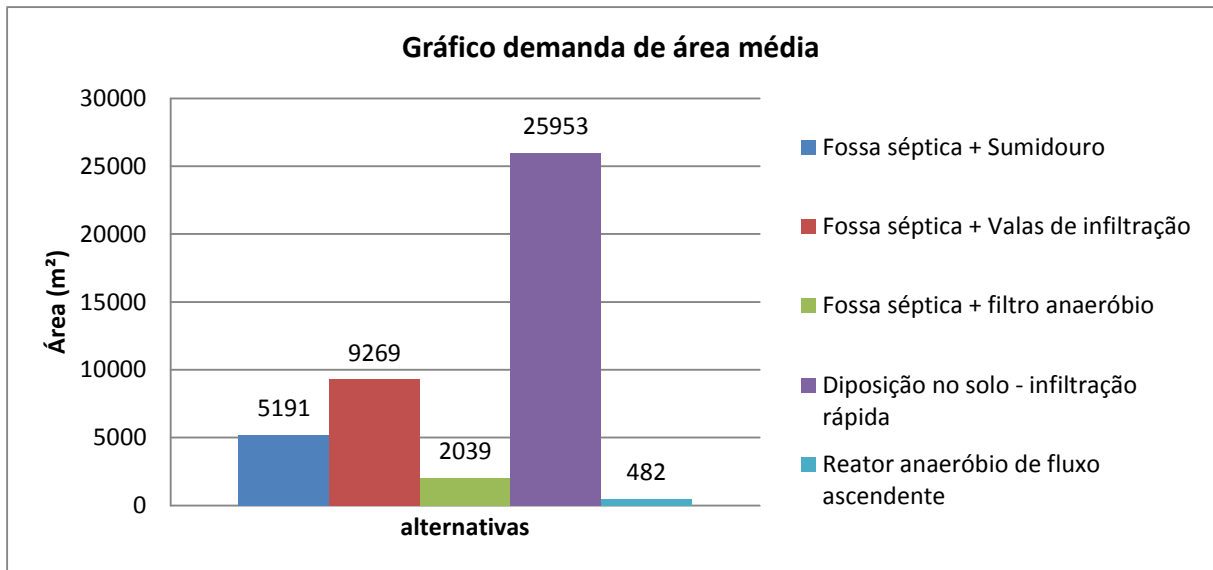


Figura 41: Gráfico demanda de área média
Fonte: O autor (2010)

Conforme o gráfico é possível perceber que a alternativa Reator anaeróbio de fluxo ascendente apresenta a menor ocupação de área, considerando as opções selecionadas.

4.3.2 Critério: potência para aeração

Entre os sistemas selecionados, o fator potência elétrica é dispensado em todos os casos, fato que reduz consideravelmente os custos de implantação, operação e manutenção.

4.3.3 Critério: volume de lodo

A Tabela 18 apresenta a população estimada da área de projeto a fim de obter o volume de lodo produzido pelas alternativas selecionadas, e o gráfico da Figura 42 exibe uma média do volume de lodo desidratado a ser disposto.

Tabela 18 – Volume de lodo pela estação de tratamento de esgoto

Alternativa	População estimada (hab.)	Volume de lodo	
		Lodo líquido a ser tratado (m ³ /ano)	Lodo desidratado a ser disposto (m ³ /ano)
Fossa séptica + sumidouro	7415	816 - 2669	111 - 260
Fossa séptica + valas de infiltração	7415	816 - 2669	111 - 260
Fossa séptica + filtro anaeróbio	7415	1335 - 7415	185 - 371
Disposição no solo - infiltração rápida (infiltração – percolação)	7415	-	-
Reator anaeróbio de fluxo ascendente	7415	519 - 1631	74 - 260

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

Conferindo a Tabela, se verifica que a o volume de lodo, a ser tratado e posteriormente desidratado a ser disposto, não varia com demasia entre as opções avaliadas. Salvo pelo sistema de disposição no solo – infiltração rápida, que apresenta a característica de não contribuir com volumes no critério avaliado.

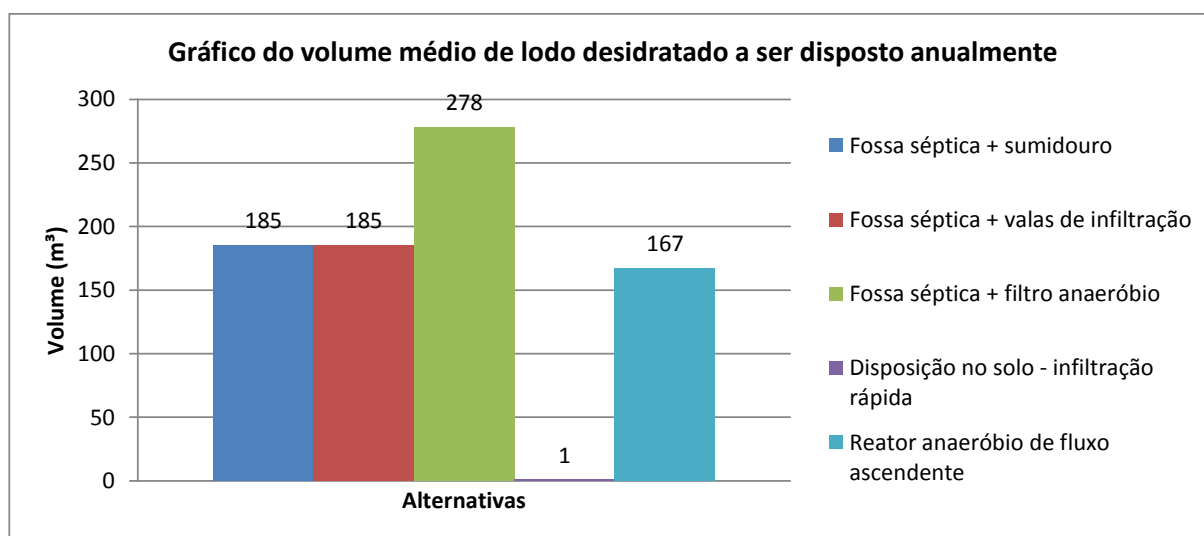


Figura 42: Gráfico do volume médio de lodo desidratado a ser disposto anualmente

Fonte: O autor (2010)

Analisando ao gráfico se percebe que o sistema de disposição no solo – infiltração rápida (apenas como critério de demonstração representado pela unidade), não origina lodo a ser disposto posteriormente. Se opondo a opção fossa séptica seguida de filtro anaeróbio, a qual apresenta o maior volume de lodo desidratado a ser disposto anualmente.

4.3.4 Critério: custos

A Tabela 19 apresenta os custos de implantação, operação e manutenção das alternativas selecionadas sujeitas de aplicação no estudo, adaptados de Von Sperling (2005), e os gráficos das Figuras 43 e 44 expõem uma média destes valores, respectivamente.

Tabela 19 – Custos provocados pela estação de tratamento de esgoto

Alternativas	População estimada (hab.)	Custos	
		Implantação (R\$)	Operação e manutenção (R\$/ano)
Fossa séptica + sumidouro	7415	222.450,00 – 370.750,00	11.123,00 – 18.538,00
Fossa séptica + valas de infiltração	7415	444.900,00 – 741.500,00	22.245,00 – 37.075,00
Fossa séptica + filtro anaeróbio	7415	593.200,00 – 963.950,00	44.490,00 – 74.150,00
Disposição no solo - infiltração rápida (infiltração – percolação)	7415	222.450,00 – 519.050,00	11.123,00 – 25.953,00
Reator anaeróbio de fluxo ascendente	7415	222.450,00 – 370.750,00	18.538,00 – 25.953,00

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

Analisando a Tabela, se verifica o sistema composto por fossa séptica seguida de filtro anaeróbio a opção mais onerosa entre as selecionadas.

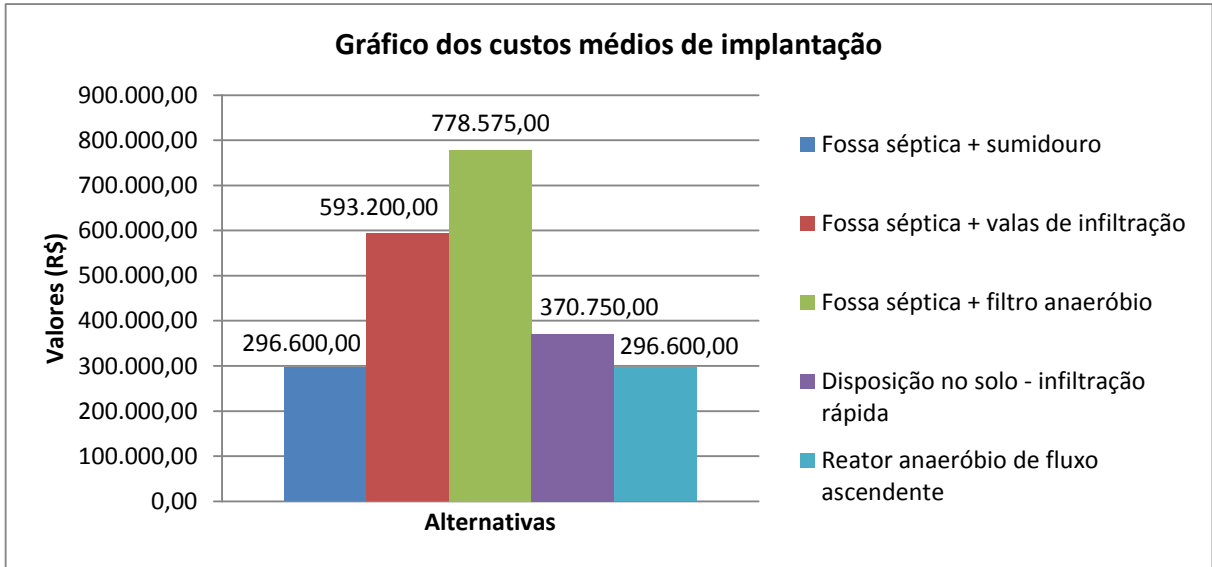


Figura 43: Gráfico dos custos médios de implantação

Fonte: O autor (2010)

Quanto à implantação, o gráfico anterior demonstra que a opção Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio representa a situação de valor médio de implantação mais custosa. Se opondo a sistemas como Fossa séptica seguida de sumidouro e Reator anaeróbio de fluxo ascendente.

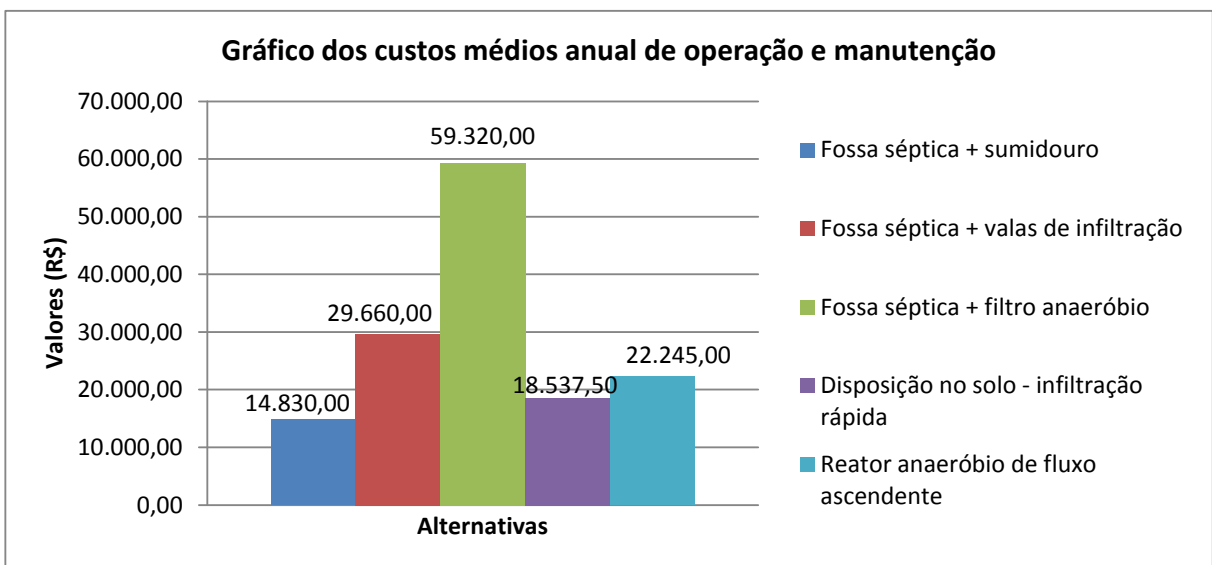


Figura 44: Gráfico dos custos médios anual de operação e manutenção

Fonte: O autor (2010)

Neste gráfico é possível perceber que o sistema composto por Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio apresenta novamente os maiores valores também de operação e manutenção, se opondo a alternativa Fossa séptica seguida de sumidouro.

4.3.5 Análise dos critérios

A Tabela 20 apresenta um resumo comparativo dos valores médios adaptados da literatura, entre as alternativas estudadas, considerando os critérios expostos anteriormente. Estimativas estas pré-dimensionadas para uma população de 7415 habitantes. Na qual os sistemas exibidos em vermelho indicam as cinco opções selecionadas.

Tabela 20 – Resumo comparativo entre alternativas estudadas – População de 7415 habitantes

Sistema	Demanda de área (m ²)	Potência para aeração		Volume de lodo		Custos	
		Instalada (W)	Consumida (kWh/ano)	Líquido a ser tratado (m ³ /ano)	Desidratado a ser disposto (m ³ /ano)	Implantação (R\$)	Operação e manutenção (R\$/ano)
Fossa séptica + sumidouro	5191	0	0	1743	185	296.600,00	14.830,00
Tanque séptico + Filtro anaeróbico	2039	0	0	4375	278	778.575,00	59.320,00
Tanque séptico + infiltração	9269	0	0	1743	185	593.200,00	29.660,00
Lagoa facultativa	22245	0	0	463	167	444.900,00	22.245,00
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	16684	0	0	797	297	389.287,50	22.245,00
Lagoa aerada facultativa	2781	11864	107518	927	137	519.050,00	51.905,00
Lagoa aerada mistura completa + lagoa sedimentação	2225	15942	140885	1539	167	519.050,00	51.905,00
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	29660	0	0	797	297	556.125,00	27.806,25
Infiltração lenta	222450	0	0	-	-	296.600,00	14.830,00
Infiltração rápida	25953	0	0	-	-	370.750,00	18.537,50
Escoamento superficial	20391	0	0	-	-	444.900,00	22.245,00
Reator UASB	482	0	0	1075	167	296.600,00	22.245,00
Valos de oxidação	1854	25953	163130	-	467	852.725,00	103.810,00

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

Embora a Tabela anterior e também os itens 4.3.1 ao 4.3.4 terem exibido, na análise comparativa, os sistemas de Fossa séptica seguida de sumidouro, Fossa séptica seguido de valas de infiltração e Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio, estes segundo CETESB (1988) são passíveis de aplicação em situações que as vazões diárias não ultrapassem a 75 m³/dia. Situação que inviabiliza seu emprego neste estudo de caso, cuja vazão diária estimada é de 370,75 m³/dia.

Em virtude disso, em averiguação a tabela, se percebe duas opções remanescentes entre as cinco selecionadas. Fato que leva a um comparativo entre ambas.

No que diz respeito a custos, o sistema de infiltração rápida exige um investimento inicial maior, porém valores de operação e manutenção menores. Se opondo aos Reatores UASB que apesar de exibirem um investimento inicial menor, assumem um maior dispêndio de operação e manutenção.

Quanto ao lodo desidratado a ser disposto, a opção infiltração rápida, por se tratar de disposição controlada no solo, não oferece lodo a ser disposto, porém o sistemas de reatores UASB necessitam de disposição anual do lodo acumulado nos mesmos.

Em relação à potência para aeração, ambos os casos não necessitam de energia elétrica para o tratamento do esgoto.

No critério demanda de área, o sistema disposição no solo – infiltração rápida exige uma situação que o exclui de aplicação neste estudo de caso, devido à limitação de área disponível, visto no item 4.3.1, em dados da região disponível dentro da área de projeto. Contudo o sistema de Reator UASB necessita de uma área bem reduzida, compatível com a disponibilidade.

Como pode ser visto, segundo a metodologia utilizada, os números demonstram que o Reator anaeróbio de fluxo ascendente representa uma alternativa compatível, passível de aplicação no estudo de caso, garantindo requisitos técnicos e econômicos.

No próximo item será apresentado o sistema sugerido para o tratamento do esgoto doméstico no campus da Unijuí – Ijuí/RS.

4.4 Proposta para o tratamento de esgoto doméstico

Como resultado da análise realizada, entre as várias alternativas estudadas, através de adaptações da literatura e interpretação do algoritmo de seleção de sistemas da CETESB (1988), obteve-se a escolha da opção mais adequada para a situação em julgamento. Confirmando, segundo Von Sperling (2005) que descreve os reatores UASB como uma das

principais tendências contemporâneas de tratamento de esgotos no Brasil, como unidades únicas, ou seguidas de uma forma de pós-tratamento.

A fim de garantir um efluente final com maior qualidade, cujo destino final será o corpo receptor do Arroio Espinho, optou-se por sugerir um sistema com pós-tratamento.

Sendo assim, proposto uma alternativa que não demandasse uma área exagerada de terreno, tão pouco necessitasse de energia elétrica para o tratamento, por consequência um sistema de menor valor tanto de implantação como de operação e manutenção.

Portanto, o sistema composto por Reator anaeróbico de fluxo ascendente seguido de filtro anaeróbico, foi a alternativa indicada para o tratamento do esgoto doméstico, gerado no campus da Unijuí – Ijuí/RS.

A Tabela 21 apresenta algumas características estimadas com valores médios, adaptados da literatura, dos sistemas compostos por UASB seguidos de pós-tratamento, cujo sistema sugerido está exibido em vermelho.

Tabela 21 – Principais características estimadas dos sistemas UASB seguidos de pós-tratamento – População de 7415 habitantes

Sistema	Demanda de área (m ²)	Potência para aeração		Volume de lodo		Custos	
		Instalada (W)	Consumida (kWh/ano)	Líquido a ser tratado (m ³ /ano)	Desidratado a ser disposto (m ³ /ano)	Implantação (R\$)	Operação e manutenção (R\$/ano)
UASB + lodos ativados	1038	19650	126055	2150	278	667.350,00	70.442,50
UASB + biofiltro aerado submerso	742	19650	126055	2150	260	611.737,50	70.442,50
UASB + filtro anaeróbio	742	0	0	1668	222	426.362,50	33.367,50
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	1112	0	0	2150	278	556.125,00	46.343,75
UASB + flotação por ar dissolvido	742	9269	74150	2855	371	556.125,00	55.612,50
UASB + lagoas de polimento	14830	0	0	1483	167	407.825,00	42.636,25
UASB + lagoa aerada facultativa	1668	3337	25953	1668	241	481.975,00	51.905,00
UASB + lagoa aerada mistura Completa + lagoa decantação	1483	5191	44490	1668	241	481.975,00	51.905,00
UASB + escoamento superficial	16684	0	0	1075	167	519.050,00	44.490,00

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

Verificando a Tabela, fica mais esclarecida a proposta, pois entre os sistemas UASB seguidos de pós-tratamento, a combinação com o filtro anaeróbio comprava-se ser viável tanto na parte técnica como também em questões econômicas.

Algumas vantagens da combinação deste sistema são a boa qualidade do efluente final, onde 70% de remoção dos poluentes acontecem no Reator UASB e no final do processo, o efluente, após o filtro anaeróbio encontra-se com 95% de remoção das cargas poluidoras. Além da facilidade de operação e menores demanda de área, não possui consumo de energia nos processos de tratamento.

A Figura 45 apresenta o fluxograma do sistema proposto.

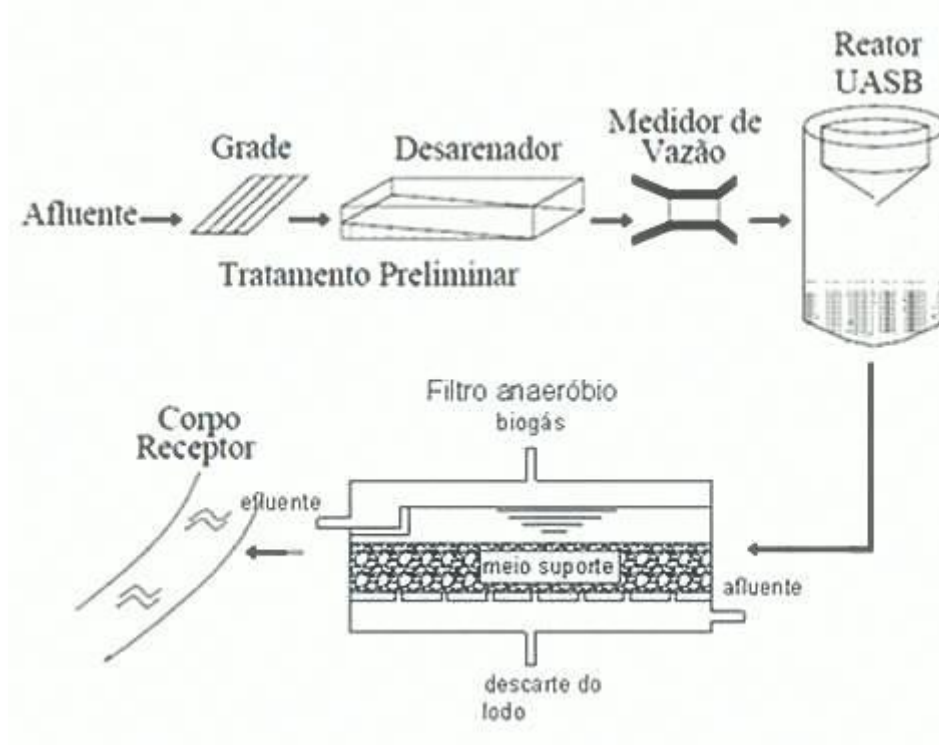


Figura 45: Fluxograma típico de um sistema com reator UASB seguido de filtro anaeróbio
Fonte: Adaptado de Von sperling (2005)

Por fim, cabe salientar que os critérios apresentados neste Capítulo, serviram como valores pré-dimensionados, com intenção de demonstrar a escolha do melhor sistema de aplicação no caso em estudo. Entretanto, na aplicação efetiva da alternativa, o conjunto deverá ser devidamente dimensionado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

A motivação pela realização deste trabalho aconteceu em virtude principalmente do baixo índice de esgoto tratado no Brasil, sobretudo em municípios com população abaixo de 10.000 habitantes, de acordo com dados apresentados na Tabela 22. Igualmente, deve-se observar que cerca de 50% das cidades brasileiras têm menos de 10.000 habitantes, expostos na Tabela 23, fato que não as considera desobrigas das responsabilidades de tratamento das suas águas residuárias.

Tabela 22 – Esgoto coletado e tratado, segundo classes de tamanho da população – Brasil 2000

Classes de tamanho da população	Esgoto coletado, volume (m ³ /d)	Esgoto tratado, volume (m ³ /d)	Proporção de esgoto tratado
Até 5.000	599.029	60.875	10,16%
De 5.001 a 10.000	420.843	68.092	16,18%
De 10.001 a 20.000	687.864	174.379	25,35%
De 20.001 a 50.000	2.036.736	422.830	20,76%
De 50.001 a 100.000	1.115.946	404.455	36,24%
De 100.001 a 200.000	1.952.907	580.952	29,75%
De 200.001 a 500.000	2.219.725	740.818	33,37%
De 500.001 a 1.000.000	905.083	259.007	28,62%
Mais de 1.000.000	4.631.946	2.425.763	52,37%

Fonte: IBGE (2000)

Tabela 23 – Distribuição das cidades em classes de tamanho da população – Brasil 2004

Classes de tamanho da população - 2004	Número de Cidades	% de Cidades	% Acumulada
Até 5.000	1.359	24,44%	24,44%
De 5.001 a 10.000	1.312	23,60%	48,04%
De 10.001 a 20.000	1.317	23,69%	71,73%
De 20.001 a 50.000	1.010	18,17%	89,89%
De 50.001 a 100.000	309	5,56%	95,45%
De 100.001 a 200.000	131	2,36%	97,81%
De 200.001 a 500.000	88	1,58%	99,39%
De 500.001 a 1.000.000	20	0,36%	99,75%
Mais de 1.000.000	14	0,25%	100,00%
Totais	5560	100,00%	

Fonte: IBGE (2004)

Dessa forma, a presente pesquisa buscou averiguar a melhor alternativa passível de aplicação no tratamento do esgoto doméstico gerado no campus da Unijuí – Ijuí/RS, servindo assim com opção para municípios com população inferior a 10.000 habitantes. Para isso, foi preciso estudos de alguns sistemas de tratamento, aplicáveis em pequenas comunidades.

Na avaliação dos sistemas apresentados foi utilizado um método da CETESB (1988), que sugere a seleção de alternativas para o estudo de caso, por intermédio de um algoritmo.

Em virtude disso, os custos de se fazer análises e orçamentos criteriosos dos diversos sistemas de tratamento para, então, identificar as melhores alternativas, foram reduzidos, focando-se nas opções selecionadas, sugeridas pela metodologia adotada.

Nas comparações dos cinco sistemas selecionados, através dos principais critérios sugeridos pela literatura, os resultados apontam o reator anaeróbio de fluxo ascendente como a melhor alternativa correspondente a aspectos técnicos e econômicos.

O fato de se indicar um pós-tratamento para o sistema, contribuiu numa melhor qualidade do efluente final, cujo destino é o Arroio Espinho.

O conjunto Reator UASB seguido de filtro anaeróbio, se mostrou a melhor opção entre os sistemas apresentados para o pós-tratamento de reatores anaeróbios.

De modo promissor, os resultados encontrados sugerem que a metodologia adotada poderá auxiliar na escolha de sistemas de tratamento de esgotos domésticos para pequenas comunidades, através de seu pré-dimensionamento, com base em particularidades típicas de cada localidade.

Finaliza-se este trabalho, discorrendo que os objetivos estabelecidos foram alcançados e sugerindo estudos necessários na complementação desta pesquisa.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

O trabalho poderá ser mais aprimorado, algumas sugestões na continuidade da pesquisa são descritas:

- Aplicação de outros métodos, na análise da melhor alternativa passível de aplicação no estudo de caso.
- Traçado da rede coletora na área de projeto.
- Estudos de viabilidade de aproveitamento do biogás gerado por processos anaeróbios.
- Execução de um projeto definitivo para a estação de tratamento de esgoto.
- Confecção de um modelo de apoio à decisão de sistemas de tratamento para pequenas comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.** NBR 9648. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.

_____. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** NBR 7229. Rio de Janeiro, 1993, 15 p.

_____. **Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário.** NBR 12209. Rio de Janeiro, 1992, 12 p.

_____. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** NBR 13969. Rio de Janeiro, 1997, 60 p.

ALTOQI. Tecnologia aplicada à engenharia. **Tanque séptico:** Tanque séptico de câmeras múltiplas. Florianópolis: [s.n.], [200-?]. 03 p., il. color. Disponível em:<http://www.altoqi.com.br/suporte/hydros/unidades_tratamento/Dialogo_tanque_septico.htm>. Acesso em: 13 de nov. 2010.

BASSANI, Fabrício. **Diagnóstico da situação atual do sistema de esgoto no campus I da Universidade de Passo Fundo – RS:** Parâmetros iniciais para o projeto de uma estação de tratamento compacta. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

BEZERRA, Antônio Hermes. Avaliação do sistema de tratamento de esgotos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABES, 2005. Disponível em:<<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-158.pdf>>. Acesso em: 18 de set. 2010.

BRASIL. Decreto 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 25, 22 de junho de 2010, seção 1.

_____. Lei nº 11.445, de 05 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 18, 08 de janeiro de 2007, seção 1, pt. 3.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico.** Brasília: [s.n.], 2009. 239p. (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. v.1).

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano nacional de saneamento básico**. Disponível em:<<http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/saneamento-ambiental/acoes/plansab/plano-nacional-de-saneamento-basico>>. Acesso em: 03 de set. 2010.

_____. Ministério do Meio ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução N° 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 06 de out. 2010.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>>. Acesso em: 07 de maio. 2010.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1>. Acesso em: 20 de ago. 2010.

CAESB. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Instruções para instalação de fossa séptica e sumidouro em sua casa: Sistema de esgoto domiciliar**. Brasília: [s.n.], [200-?]. 13 p., il. color.

CAMPOS, José Roberto (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. São Carlos: [s.n.], 2000. 348 p.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. 36 p.

CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemos (coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. V. 2.

GONÇALVES, Ricardo Franci (coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. V. 3.

INSTITUTO ECO PLANETA. **Água poluída mata mais que violência**. Disponível em:<<http://blog.eco4planet.com/2010/03/agua-poluida-mata-mais-que-violencia/>>. Acesso em: 12 de abr. 2010.

INSTITUTO AKATU. **Água poluída mata mais do que todos os tipos de violência, alerta ONU**. Disponível em: < <http://www.akatu.org.br/central/especiais/2010/agua-poluida-mata-mais-do-que-todos-os-tipos-de-violencia-alerta-onu-1>>. Acesso em: 12 de abr. 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **A falta que o saneamento faz**. Disponível em:<<http://www.fgv.br/cps/tratabrasil5/>>. Acesso em: 06 de maio. 2010.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de; OLIVEIRA, Marcio Mattos Borges de. O equilíbrio de Nash como uma solução para o conflito entre eficiência e custo na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário com o auxílio de um modelo de tomada de decisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.15, n. 1, p. 53-64, Jan/mar.2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522010000100007&script=sci_arttext>. Acesso em: 06 de out. 2010.

MASCARÓ, Juan Luís. **Manual de Loteamentos e Urbanização**. Porto Alegre: [s.n.], 1997.

MELLO, Edson José Rezende. **Tratamento de esgoto sanitário**: Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari – MG. 2007. 86 f. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Sanitária) – Uniminas, Uberlândia, 2007.

MONTARDO, Doris Ketzer; SCHENKEL, Valdecir; GASS, Sidnei Luís Bohn. Mapeamento e estudo geológico da área do campus da Unijuí, em Ijuí, RS. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL, IV., 2007, Ijuí. **Anais do GEORS 2007**. Ijuí: Unijuí, 2007. P 1-9.

NUVOLARI, Ariovaldo (coord.). **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 520 p.

OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Modelo para tomada de decisão na escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PAIVA, Gisele Barbosa. **Mecanismo de desenvolvimento limpo, tratamento de esgoto e desenvolvimento sustentável**: um estudo econômico. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

SANEAMENTO básico: brasileiro nas mãos dos municípios. **Conselho em Revista**, Porto Alegre, ano 06, n. 65, p. 22-23, janeiro. 2010.

SANEAMENTO desafia Brasil: Universalização dos serviços de coleta de esgoto tem papel-chave para o desenvolvimento social e econômico do país. **Revista do CREA-RJ**, Rio de Janeiro, n.81, p. 16-18, fevereiro / março. 2010.

SOUZA, Luís César. **Alternativa paralela para o tratamento de esgoto no município de Ijuí/RS**: Estudo de caso, campus da Unijuí - Ijuí/RS. 2009. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Grau de Engenheiro civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

TONETTI, Adriano Luiz. **Tratamento de esgotos pelo sistema combinado filtro anaeróbio e filtros de areia**. 2008. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

UNEP. United Nations Environment Programme. **Clearing the waters**: A focus on water quality solutions. Nairobi, Kenya: [s.n.], 2010. 88 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996. 243 p.

_____. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p.

ANEXO A – CONTRIBUIÇÃO DIÁRIA DE DESPEJOS POR TIPO DE PRÉDIO E DE OCUPANTES

**Contribuição diária de despejos por tipo de prédio e de ocupantes
(NBR 13969/97)**

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto (L/d)
1. Ocupantes permanentes		
Residência		
Padrão alto	Pessoa	160
Padrão médio	Pessoa	130
Padrão baixo	Pessoa	100
Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100
Alojamento provisório	Pessoa	80
2. Ocupantes temporários		
Fábrica em geral	Pessoa	70
Escritório	Pessoa	50
Edifício público ou comercial	Pessoa	50
Escolas e locais de longa permanência	Pessoa	50
Bares	Pessoa	06
Restaurantes e similares	Pessoa	25
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	02
Sanitários públicos *	Bacia sanitária	480

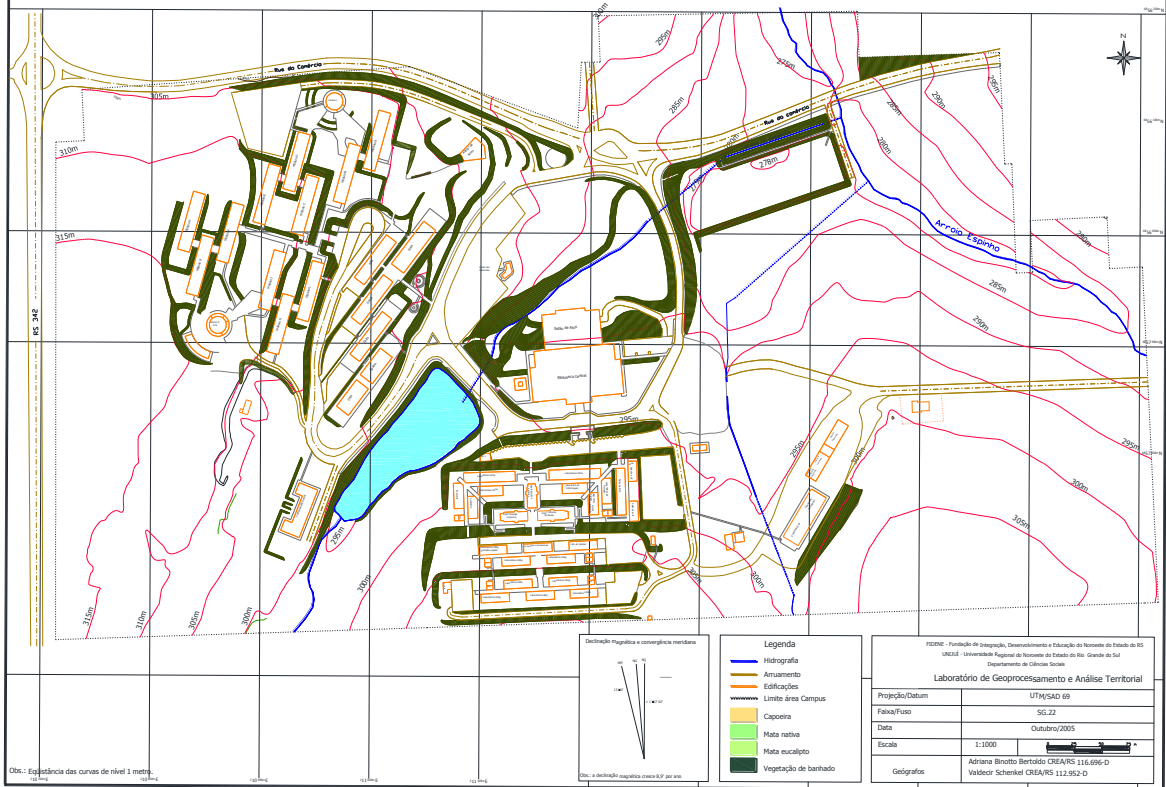
Nota: *Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio de esportes, locais para eventos, etc.).

Fonte: Adaptado da NBR 13969/97

ANEXO B – PLANTA PLANIALTIMÉTRICA

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UNIJUÍ - IJUÍ/RS

PLANTA PLANIALTIMÉTRICA E COBERTURA DE VEGETAÇÃO



ANEXO C – PLANTA DE COBERTURA DE SOLOS

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UNIJUÍ - IJUÍ, RS

PLANTA PLANI-ALTIMÉTRICA E COBERTURA DE SOLOS

