UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

Curso de Graduação em Engenharia Civil

LUCAS LUCIANO CERVI

VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM PEQUENOS MUNICÍPIOS

Ijuí – RS

2014

LUCAS LUCIANO CERVI

VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM PEQUENOS MUNICÍPIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Giuliano Crauss Daronco

Ijuí – RS

2014

LUCAS LUCIANO CERVI

VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM PEQUENOS MUNICÍPIOS

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.

Prof. Giuliano Crauss Daronco
Dr. Recursos Hídricos e Saneamento
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Profª Cristina Eliza Pozzobon
Coordenadora do DCEEng – UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA:

Profª Lia Geovana Sala (UNIJUÍ)
Mestre em Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Giuliano Crauss Daronco
Dr. Recursos Hídricos e Saneamento
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Ijuí – RS, 15 de dezembro de 2014

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio em todos os momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Existem momentos na vida em que é fundamental poder contar com o apoio e a ajuda de algumas pessoas.
A todas essas pessoas as quais pude contar para a elaboração deste trabalho de conclusão, o meu sincero agradecimento.
A Deus, por ter me iluminado e me dado forças e inspiração para conseguir concluir este trabalho.
Ao meu orientador, Prof. Giuliano Crauss Daronco, pelo apoio, amizade e paciência.
Em especial a minha família e a minha namorada Jessica Klein Suptitz, pelo incentivo, carinho e dedicação em todos os momentos.
Aos demais professores da Engenharia Civil, pelo apoio e ensinamento do decorrer do curso.

CERVI, L. L. **Viabilidade econômico-financeira para implantação de sistemas de esgotamento sanitário em pequenos municípios**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUÍ, Ijuí, 2014.

RESUMO

A escolha do sistema de esgotamento sanitário a ser instalado em um pequeno município pode-se tornar uma difícil decisão, já que diversas variáveis interferem em seu custo e em sua qualidade de tratamento. Este trabalho pretende mostrar a possibilidade de se usar técnicas de decisão para a escolha do sistema de tratamento de esgoto sanitário e técnicas para chegar ao custo final de implantação do sistema em um pequeno município. Para a análise dos custos dos sistemas de tratamento de esgotos foi utilizado o método comparativo desenvolvido por Von Sperling (2005). O modelo elabora o dimensionamento da unidade de tratamento e, a partir desses dados, a estimativa de custo de cada sistema. O custo total de cada sistema foi constituído por itens de implantação, manutenção, operação e o custo do terreno. Para se chegar ao custo final de coleta e transporte do esgoto foi seguido o roteiro desenvolvido por Pacheco (2011). Assim obtendo estimativas de custos para as redes e coletores troncos, considerando diferentes tipos de solos, urbanização e desníveis de terreno. O estudo se mostrou eficaz em encontrar o custo final para implantação de um sistema de esgotamento sanitário. Os resultados encontrados indicam de maneira promissora que o valor achado poderá servir como base para um futuro investimento.

Palavras-chave: Sistema de Esgotamento Sanitário. Viabilidade Econômica.

CERVI, L. L. **Economic and financial feasibility for implementation of sewerage systems in small municipios**. 2014. Completion of Course Work, Department of Physical Sciences and Engineering, UNIJUÍ, Ijuí, 2014.

ABSTRACT

The choice of the sewage to be installed in a small municipality system can become a difficult decision, since many variables influence its cost and quality of treatment. This work aims to show the possibility of using techniques of decision for choosing the sewage treatment system, and techniques to reach the final cost of implementing the system in a small municipality. For analysis of the costs of sewage treatment systems, the comparative method developed by Von Sperling (2005) was used. The model produces the sizing of the treatment unit and, from these data, the estimated cost of each system. The total cost of each system consisted of items deployment, maintenance, operation and the cost of land. To get to the final cost of collection and transport of sewage, was followed the script developed by Pacheco (2011). Thus obtaining cost estimates for nets and driftwood collectors, considering different types of soils, urban and unevenness of terrain. The study was effective in finding the final cost for deployment of a sewage system. The results indicate a promising way to find the value may serve as a basis for a future investment.

Keywords: Sewage System. Economic Feasibility.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNH	Banco Nacional de Habitação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatório de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PND	Programa Nacional de Desestatização
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RIMA	Red Informática de Medicina Avançada
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SFH	Sistema Financeiro de Habitação
SFS	Sistema Financeiro de Saneamento
UASB	Up Flow Anaerobic Sludge Blanket

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
hab.	Habitantes
L	Comprimento
L/s	Litros por Segundo
m^2	Metros Quadrados
m^3	Metros Cúbicos
m^3/h	Metros Cúbicos por Hora
Q	Vazão

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Medidas saneadoras aplicadas na Inglaterra nos séculos XIX e XX.....17
Quadro 2: Primeiras estações de tratamento de esgoto 17
Quadro 3: Histórico do saneamento no Brasil.....18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução dos serviços de saneamento básico 2000/2008 20
Figura 2: Mapa do Brasil com o atendimento de redes de esgoto sanitário 21
Figura 3: Número de pessoas sem acesso à rede coletora 22
de esgoto, segundo as grandes regiões 22
Figura 4: Número de municípios sem rede coletora de esgoto, com rede coletora e sem tratamento de esgoto e com rede coletora 23
e com tratamento de esgoto por região do Brasil 23
Figura 5: Nível de saneamento para as diferentes camadas 24
de renda da população no país 24
Figura 6: Fluxograma dos sistemas de escoamento sanitário 25
Figura 7: Sistema individual 26
Figura 8: Sistema coletivo unitário 27
Figura 9: Sistema de esgotamento condominial 29
Figura 10: Sistema de esgotamento convencional 30
Figura 11: Tanque séptico de câmara única (corte longitudinal) 32
Figura 12: Tanque séptico de câmara em série (corte longitudinal) 32
Figura 13: Sistema de tanque séptico – esquema geral 33
Figura 14: Sistema de valas de infiltração 34
Figura 15: Sumidouro 35
Figura 16: Filtro anaeróbio de fluxo ascendente 35
Figura 17: Esquema do tratamento preliminar 37
Figura 18: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa 39
Figura 19: Fluxograma típico de um sistema de lagoas facultativas 39
Figura 20: Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa 40
Figura 21: Lagoa aerada facultativa 41
Figura 22: Lagoas aeradas de mistura completa e lagoas de decantação 42
Figura 23: Fluxograma típico de um sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série 43

Figura 24: Sistema composto por reator UASB seguido 43
por lagoas de polimento em série 43
Figura 25: Representação esquemática do funcionamento de um reator UASB 44
Figura 26: Fluxograma do sistema de lodos ativados convencional 48
Figura 27: Ciclos do processo de operação 49
Figura 28: Ciclos do processo de operação 50
Figura 29: Fluxograma para o planejamento de estação 51
de tratamento de esgoto 51
Figura 30: Distribuição dos sistemas de tratamento.....52
de esgoto utilizados no Brasil.....52
Figura 31: Fluxograma para seleção de sistemas de tratamento de esgotos 53
Figura 32: Aspectos críticos e importantes na seleção 56
de sistemas de tratamento de esgoto 56
Figura 33: Distribuição da composição diametral da.....60
rede de transporte de efluentes.....60
Figura 34: Distribuição da composição do tipo de.....61
escoramento por nível de terreno.....61
Figura 35: Custo da RCE (R$) para solo favorável e baixa urbanização 61
Figura 36: Custo da RCE (R$) para solo desfavorável e baixa urbanização 62
Figura 37: Custo da RCE (R$) para solo favorável e alta urbanização 62
Figura 38: Custo da RCE (R$) para solo desfavorável e alta urbanização 62
Figura 39: Classificação das alturas manométricas 63
para conjunto de bombas das EEEs 63
Figura 40: Estações elevatórias de esgoto com Hman até 15 m.c.a.....63
Figura 41: Estações elevatórias de esgoto com Hman até 30 m.c.a.....64
Figura 42: Estações elevatórias de esgoto com Hman até 30 a 45 m.c.a.....64
Figura 43: Fórmula da vazão doméstica média de esgoto.....64
Figura 44: Curva de custo para coletores tronco e interceptores –.....65
DN 200 a 400 mm 65
Figura 45: Perfil socioeconômico do município de Ajuricaba 67
Figura 46: Local para implantação da estação de tratamento de esgoto 70
Figura 47: Cotas de altitude do terreno 71
Figura 48: Fluxograma da seleção dos sistemas de tratamento de esgotos.....73
Figura 48: Custo de instalação e manutenção dos sistemas 75
Figura 49: Demanda de área e custo 76
Figura 50: Custo total de instalação x custo de operação.....77
Figura 51: Elevação da região urbana do município de Ajuricaba 80
Figura 52: Custo do metro de rede coletora de esgoto 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de municípios por faixa do tamanho da população.....23
Tabela 2: Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %).....36
Tabela 3: Algumas características dos processos de tratamento (exclui tanque séptico).....36
Tabela 4: Áreas e volumes estimados requeridos no tratamento de esgoto doméstico por UASB.....46
Tabela 5: Tecnologias indicadas para cidades de pequeno e médio porte.....57
Tabela 6: Características dos principais tipos de tratamento expressos em valores .59
Tabela 7: Eficiência de remoção dos principais poluentes de interesse 60
Tabela 8: Serviços de saneamento básico no município de Ajuricaba.....67
Tabela 9: Projeção populacional até 2033 para Ajuricaba 68
Tabela 10: Sistemas selecionados no fluxograma 74
Tabela 11: Custo de instalação e operação dos sistemas de tratamento de esgoto..75
Tabela 12: Demanda de área e custo do terreno 76
Tabela 13: Resumo comparativo de custo entre os sistemas estudados.....78
Tabela 14: Eficiência de remoção dos principais poluentes de interesse 78
Tabela 15: Extensão das redes coletoras 79
Tabela 16: Custo de implantação das redes de transportes de efluentes.....80
Tabela 17: Custo total dos coletores troncos e interceptores.....81
Tabela 18: Custo total de implantação do sistema de esgotamento sanitário.....81

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 15

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16
1.1 Histórico sobre Sistemas de Tratamento de Esgotos.....16
1.2 Considerações Atuais sobre Sistemas de Esgotamentos Sanitários no Brasil 21
1.3 Sistema de Esgotamento Sanitário.....24
1.4 Sistemas de Escoamento 26
1.4.1 Sistema individual.....26
1.4.2 Sistema unitário 26
1.4.3 Sistema separador 27
1.5 Sistemas de Tratamento de Esgotos.....30
1.5.1 Fossa séptica.....30
1.5.2 Lagoas de estabilização 36
1.5.3 Reator UASB.....43
1.5.4 Lodos ativados 47
1.6 Escolha do Sistema de Esgotamento Sanitário 50
1.7 Fatores Consideráveis para Escolha do Tipo de Sistema 54
1.8 Critério de Decisão de um Sistema de Esgotamento.....55

2 METODOLOGIA 58
2.1 Estrutura da Pesquisa.....58
2.2 Coleta de Dados 65
2.3 Estudo de Caso 66

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS..... 69
3.1 Aplicação do Fluxograma de Seleção de Sistemas de Tratamento de Esgotos 69
3.1.1 Disponibilidade e custo de área para implantação do sistema de tratamento de esgoto.....69
3.1.2 Declividade do terreno.....71
3.1.3 Permeabilidade do solo 72
3.1.4 Pré-seleção das alternativas 72
3.2 Avaliação da Situação Financeira para Implantação de uma ETE.....74
3.2.1 Avaliação de custos de implantação e manutenção.....74

3.2.2 Avaliação do custo da demanda de área 76
3.2.3 Análise dos custos.....77
3.2.4 Avaliação da remoção dos principais poluentes 77
3.3 Custo de Implantação das Redes Coletoras de Esgoto.....78
3.4 Custo de Implantação do Sistema de Esgotamento Sanitário 81

CONCLUSÃO 82

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

INTRODUÇÃO

Considerando que vive-se uma nova realidade no setor de saneamento básico no Brasil e que a cada dia ganha maior ênfase pela sua importância que representa ao meio ambiente e, principalmente, para a população tratar o esgoto pode significar um grande salto para o desenvolvimento em termos de infraestrutura para proteger o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida das pessoas, assim reduzindo gastos com a saúde e ampliando a capacidade produtiva das pessoas e a inclusão social de moradores de áreas carentes que tem o esgotamento implantado. São alguns dos benefícios indiretos gerados por ações neste setor que representam um retorno do investimento.

Através do estudo de vários sistemas de esgotamento sanitário pode-se observar as características de cada sistema, identificando e avaliando a sua capacidade de tratamento e os valores econômicos de cada unidade. Tendo assim uma análise criteriosa de sua possível implantação, baseando-se nos dados econômicos e financeiros que o projeto apresenta.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é estudar o custo de implantação de um sistema de esgotamento sanitário em pequenos municípios como o caso de Ajuricaba – RS, seguindo os conceitos apresentados. A escolha do melhor sistema de esgotamento sanitário deve buscar a minimização de custos de implantação, operação e manutenção, com garantia da eficiência de remoção de poluentes e matéria orgânica. Nesse sentido, este trabalho utilizou técnicas de tomadas de decisão para auxiliar a escolha da estação de tratamento de esgoto mais econômica e ambientalmente adequada.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Histórico sobre Sistemas de Tratamento de Esgotos

Desde os tempos mais remotos, quando os homens começaram a se assentar em cidades, as coletas dos esgotos começaram a ser uma preocupação. Sendo a primeira rede de distribuição de água e captação de esgoto de forma eficiente construída há aproximadamente 4000 anos na Índia. Grandes tubos feitos de argila levavam as águas residuais e os detritos para canais cobertos e desembocavam nos campos, adubando e regando as colheitas (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

Alguns países como a Grécia disponibilizavam de sistemas de esgotos. A população adquiria água para o abastecimento em fontes públicas e utilizava latrinas comunitárias para as necessidades fisiológicas, como a Toalete de Ephesus do século I d.C., sendo que em seus assentos havia água corrente para levar os dejetos e para que o usuário lavasse a mão esquerda, utilizada na limpeza corporal (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

Na Idade Média não se teve conhecimento de grandes realizações de esgotamentos sanitários considerando um período de dez séculos sem avanços significativos no tema, criando assim sérios problemas de saúde pública. Um dos mais graves foi a epidemia da peste bubônica que só na Europa causou a morte de cerca de 25 milhões de pessoas (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

Com a Revolução Industrial, no final do século XVIII, a população das cidades aumentou muito, agravando ainda mais o acúmulo de lixo e excrementos nas ruas. Com isso, tornou-se necessário e urgente a criação de um sistema de esgotamento que desse conta dessa demanda, caso contrário, corria-se o risco de deter o progresso industrial pelo surgimento de novas epidemias e, consequentemente, êxodo das cidades (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004).

> Em Londres (Inglaterra), somente a partir de 1815 os esgotos começaram a ser lançados em galerias de águas pluviais; em Hamburgo (Alemanha), a partir de 1842, e em Paris (França), a partir de 1880 (METCALF; EDDY, 1977), originando o chamado sistema unitário (NUVOLARI, 2012, p. 18).

Por ter sido o berço da Revolução Industrial, a Inglaterra foi o primeiro país a iniciar pesquisas e adotar as necessárias medidas saneadoras. Fato que se comprova no quadro 1, na qual descreve estudos relevantes na garantia de qualidade das águas.

Quadro 1: Medidas saneadoras aplicadas na Inglaterra nos séculos XIX e XX

Ano	Ocorrência
1822	Primeiro levantamento das condições sanitárias do Rio Tâmisa
1848	Editadas as primeiras leis de saneamento e saúde pública
1854	John Snow prova cientificamente a relação entre certas doenças e a qualidade das águas
1857	Criado o Conselho de Proteção das Águas do Rio Tâmisa
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	Ardern e Lockett apresentam o processo de lodos ativados para tratamento de esgotos

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (1977 apud NUVOLARI, 2012).

Com o crescimento das cidades em todo o mundo, sucedido a partir do final do século XIX e início do século XX, outros países seguiram o exemplo inglês e começaram a se preocupar com o tratamento de seus esgotos. Um exemplo em destaque ocorrido em 1887 foi a construção da Estação Experimental Lawrence, em Massachusetts, nos EUA (METCALF; EDDY, 1977 apud NUVOLARI, 2012, p. 18).

Nuvolari (2012) menciona que a partir desses primeiros experimentos, os países mais desenvolvidos, em especial a Inglaterra, os EUA, o Canadá, a extinta União Soviética e a maioria dos outros países europeus e mais recentemente o Japão, começaram a tratar os esgotos de suas cidades. Como demonstra o quadro 2, listando as primeiras estações de tratamento construídas no mundo.

Quadro 2: Primeiras estações de tratamento de esgoto

Ano	Inglaterra		Estados Unidos	
	ETE	Vazão (m³)	ETE	Vazão (m³)
1914	*Salford*	303		
1915	*Davyhulme*	378		
1916	*Worcester* *Sheffield*	7.570 3.028	*San Marcos – Texas* *Milwaukee – Wiscosin* *Cleveland – Ohio*	454 7.570 3.787
1917	*Withington* *Stanford*	946 378	*Houston North – Texas*	20.817
1918			*Houston South – Texas*	18.925
1920	*Tunstall* *Sheffield*	3.104 1.340		
1921	*Davyhulme* *Bury*	2.509 1.363		
1922			*Desplaines – Illinois* *Calumet – Indiana*	20.817 5.677
1925			*Milwaukee – Wiscosin* *Indianápolis – Indiana*	170.325 189.250
1927			*Chicago North – Illinois*	662.375

Fonte: Jordão e Pessoa (1995 apud NUVOLARI, 2012).

Segundo Saker (2007) a infraestrutura é a importância do saneamento básico, no Brasil tiveram início no século XVIII, resumindo-se a coleta de águas pluviais, primeiramente na cidade do Rio de Janeiro, sobretudo na área onde se instalava a aristocracia.

No século XIX, entre 1830 e 1840, existem registros de epidemias de cólera e tifo. O Rio de Janeiro era um viveiro de ratos e epidemias. Diante deste quadro, Oswaldo Cruz, diretor-geral de Saúde Pública do governo federal, iniciou em 1903, no Rio de Janeiro, verdadeira luta, tentando erradicar essas epidemias (SAKER, 2007).

Essa campanha resultou no brilhante trabalho dos sanitaristas brasileiros, destacando-se Saturnino de Brito, considerado o patrono da engenharia sanitária no país. Sendo que em 1930 todas as capitais possuíam sistemas de distribuição de água e coleta de esgotos, vários deles obras de Saturnino de Brito. Assim dando o início do saneamento no Brasil (SAKER, 2007).

Com o fim da República Velha, em um contexto de crise (1929) e a Revolução de 1930 ocorrem mudanças e transformações na estrutura social e econômica do Brasil. O sistema de saneamento básico não poderia mais ser tratado da mesma forma. Este é o período em que começa a ocorrer o fenômeno do êxodo rural. É o início da industrialização do país (SAKER, 2007).

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

Quadro 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 redes de água e esgoto)
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 (OMS)
1966	Fundação da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES)
1973	Criada as Companhias Estaduais de Saneamento
1986	Resolução CONAMA nº 001/86 – Estabelece diretrizes para elaboração da IEA – RIMA
2000	Revisados os projetos de potabilidade das águas de abastecimento

Fonte: Azevedo Neto (1973, 1984 apud NUVOLARI, 2012).

Com o golpe militar de 1964 é criado o BNH e em 1966 é efetivada a reforma tributária e criado o FGTS. A partir daí está montada toda uma estrutura para a gestão das políticas públicas no campo de habitação e do saneamento que passou a centralizar recursos e condenar as obras do setor, sendo que a maioria dos serviços era de ordem municipal (BRITTO, 2014).

A partir dos anos 70 é criado o PLANASA, cuja função era ser instrumento de operação do SFS, para racionalizar os investimentos no setor e ampliar significativamente a cobertura de serviços em um prazo de dez anos, cuja sua principal fonte de recurso era do FGTS (BRITTO, 2014).

Com essas mudanças os municípios foram incentivados a concederem os serviços a companhias estaduais de saneamento, pois eram os únicos que tinham acesso aos empréstimos PLANASA (BRITTO, 2014).

Em outro momento, Britto (2014) apresenta que as companhias deveriam se organizar e agir como empresas privadas, orientando seus investimentos para setores que proporcionassem maior rentabilidade ou um retorno mais rápido do capital investido. Sendo o aumento da produtividade colocado como um elemento essencial à saúde financeira das empresas e como condição de financiamento junto ao SFH. Este privilegiava projetos que apresentavam garantias de rentabilidade econômica.

Para viabilizar o acesso aos serviços dos municípios mais pobres, as companhias estaduais deveriam aplicar um sistema de subsídio cruzado e redistribuição de investimentos (BRITTO, 2014).

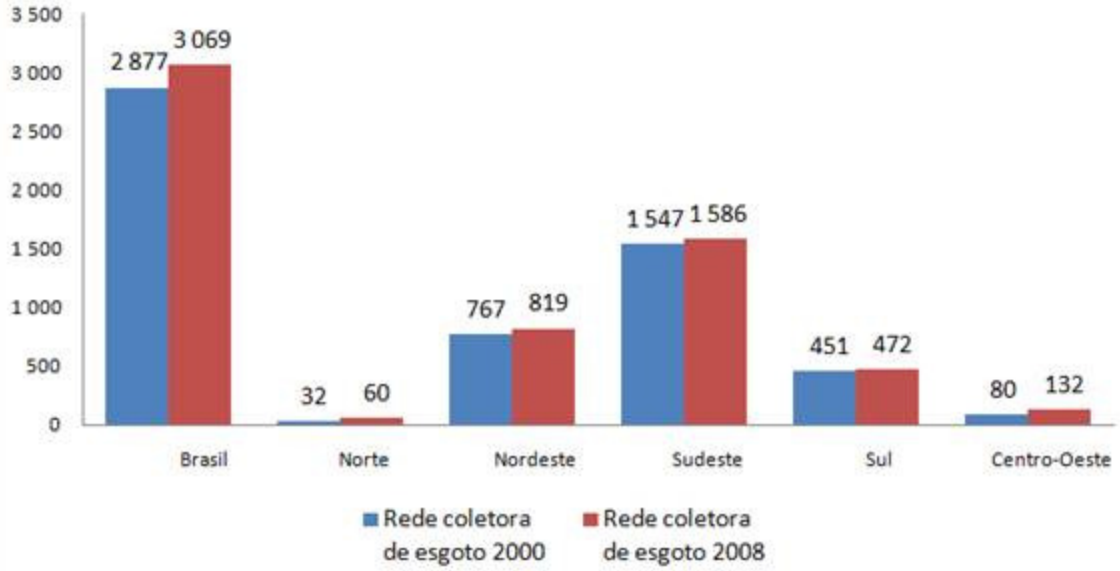
Na década de 80 as companhias de saneamento apresentavam-se financeiramente desestabilizadas, em decorrência das dificuldades enfrentadas pela economia nacional, esgotando-se as fontes de financiamentos aliadas ao crescimento da inflação e vencimento de empréstimos anteriormente firmados (PAIVA, 2008).

> 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 regularização do setor de saneamento em específico e a participação das empresas privadas no setor, não tiveram sucesso (PAIVA, 2008, p. 95).

Nos últimos anos o setor de saneamento no Brasil tem demonstrado força e flexibilidade diante das dificuldades e persistentes desigualdades em cobertura e qualidade dos serviços enfrentados pelo setor.

A comparação dos dados levantados pela PNSB (2008) com os obtidos pela PNSB (2000) constata a evolução dos serviços de saneamento básico oferecidos à população brasileira nesse intervalo de tempo. Com o aumento de 6,7% no número de municípios com rede coletora de esgoto, o que representou mais 192 cidades ofertando esse tipo de serviço, como demonstra a figura 1.

Figura 1: Evolução dos serviços de saneamento básico 2000/2008



Fonte: IBGE (2008).

Apesar do cenário preocupante em que se encontra o Brasil, devido aos 20 anos que o país passou sem recursos para esgotamento sanitário, atualmente está havendo muitos avanços no setor, com investimentos do PAC destinados para melhorias do saneamento básico (INSTITUTO HUMANISTAS UNISINOS, 2014).

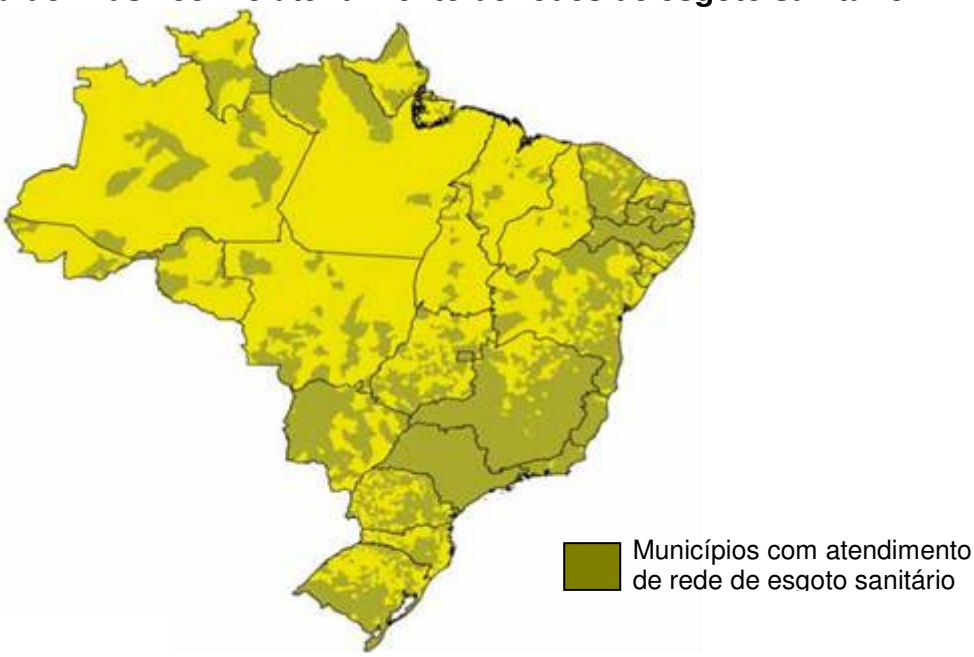
> O governo federal pretende universalizar o saneamento básico no Brasil em 20 anos (2014 a 2033) e, para isso, estima a necessidade de 302 bilhões de reais somente para obras de água e esgotos. Teríamos de investir em média 15 a 16 bilhões/ano, mas ainda não passamos dos 9 bilhões de reais por ano. Precisamos, portanto, investir o dobro para atingir a universalização que o governo federal propõe (INSTITUTO HUMANISTAS UNISINOS, 2014).

É preciso reconhecer que mesmo com todos os recursos reservados para projetos de saneamento nos últimos anos, contando com o PAC e outros programas, o país ainda encontra dificuldades no setor, cujo compasso atual de investimentos em obras de coleta de esgoto é lento (INSTITUTO HUMANISTAS UNISINOS, 2014).

1.2 Considerações Atuais sobre Sistemas de Esgotamentos Sanitários no Brasil

O saneamento público no Brasil ainda pode ser considerado muito precário, pois existem carências tanto nas áreas rurais como urbanas. Segundo a PNSB (2008), a quota populacional sem a cobertura de serviço de esgotamento sanitário no Brasil, considerando-se apenas os municípios sem rede coletora, era de aproximadamente 34,8 milhões de pessoas ou cerca de 18% da população brasileira (IBGE, 2008). É importante ressaltar que a estatística de acesso à rede coletora de esgoto refere-se somente à existência do serviço no município, sem considerar a extensão da rede, a qualidade do atendimento, o número de domicílios atendidos, ou se o esgoto, depois de recolhido, é tratado. A figura 2 demonstra os municípios onde pelo menos um distrito possui atendimento de rede de esgoto sanitário no Brasil (HUNT, 2013).

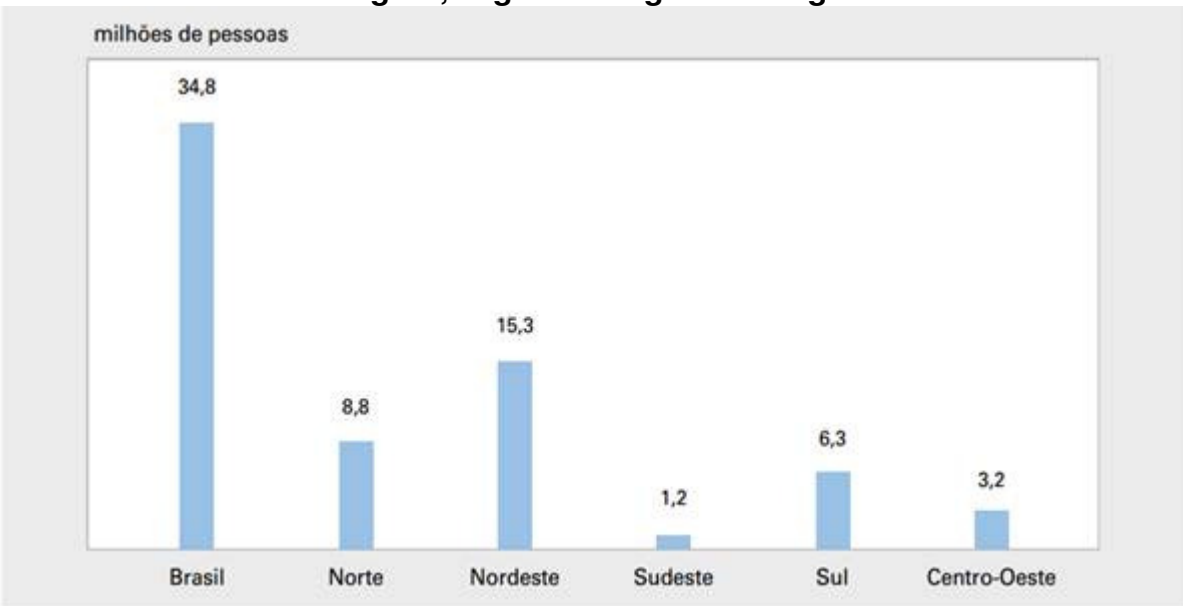
Figura 2: Mapa do Brasil com o atendimento de redes de esgoto sanitário



Fonte: Hunt (2013).

A figura 3 demonstra que o Nordeste era a região onde a falta de rede coletora de esgotamento sanitário era mais grave, atingindo algo próximo a 15,3 milhões de habitantes, com a escassez do serviço sendo maior nos Estados da Bahia, Maranhão e Piauí. Em segundo lugar, a região Norte do país, com cerca de 8,8 milhões de pessoas sem rede de coleta de esgoto, das quais 60% concentradas no Estado do Pará. O Sul, com 6,3 milhões de pessoas, ocupou a terceira posição, sendo o serviço ofertado em menor escala nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Na região Centro-Oeste, foram observados 3,2 milhões de habitantes sem acesso ao serviço; no Sudeste, não contavam com rede coletora de esgoto cerca de 1,2 milhões de pessoas, mais da metade delas residentes no Estado de Minas Gerais.

Figura 3: Número de pessoas sem acesso à rede coletora de esgoto, segundo as grandes regiões



Fonte: IBGE (2008).

Nos municípios com número elevado de população há uma presença maior de rede coletora de esgoto. A total cobertura dos serviços está nos municípios com população superior a 500.000 habitantes. Os municípios situados na classe de população com 100.000 a 500.000 habitantes, o serviço de coleta de esgoto está presente em mais de 90%. Os municípios menores com até 50.000 habitantes e densidade menor que 80 habitantes por quilômetro quadrado possuem cobertura abaixo da média nacional de 55,2% (IBGE, 2008) e representam 90% dos

municípios brasileiros, conforme demonstra a tabela 1. Outro dado é que em 45% dos municípios com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora não existe cobrança do serviço. Deste percentual, 83% correspondem aos municípios com menos de 50.000 habitantes (IBGE, 2008).

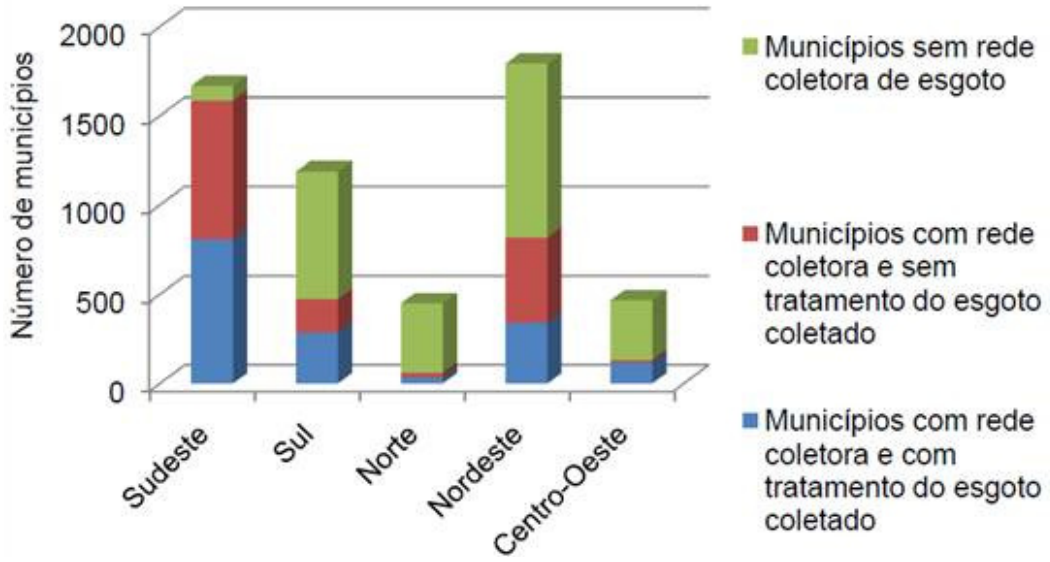
Tabela 1: Quantidade de municípios por faixa do tamanho da população

Tamanho da população dos municípios	Quantidade de municípios	Quantidade percentual de municípios
Superior a 500.000 habitantes	34	0,5%
De 100.000 a 500.000 habitantes	219	4%
De 50.000 a 100.000 habitantes	309	5,5%
Menos de 50.000 habitantes	4.998	90%

Fonte: Hunt (2013).

A figura 4 demonstra que nem todo esgoto coletado é tratado no Brasil. As diferenças com relação à coleta e ao tratamento de esgotos entre as regiões do Brasil são significativas.

Figura 4: Número de municípios sem rede coletora de esgoto, com rede coletora e sem tratamento de esgoto e com rede coletora e com tratamento de esgoto por região do Brasil

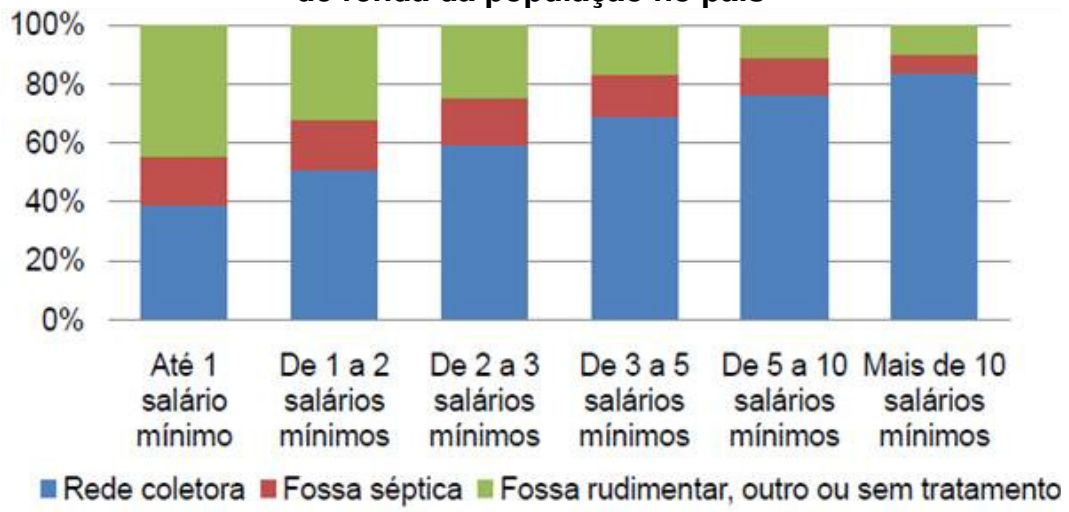


Fonte: Hunt (2013).

Esses dados apontam ainda mais a precariedade do saneamento no Brasil e demonstram que quase todo o esgoto sanitário coletado nas cidades ainda é despejado *in natura* em corpos de água ou no solo, afetando assim a qualidade das águas brasileiras que têm se tornado um problema ambiental, social e de saúde pública.

Outro aspecto importante é que existe uma grande diferença no atendimento de saneamento básico nas classes sociais, pois a população não beneficiada pelo serviço de esgotamento sanitário está nas camadas mais pobres. A figura 5 mostra a diferença entre o nível de saneamento para diferentes camadas de renda da população no país. A figura demonstra que em torno de 15% da população com rendimento de até um salário mínimo possui saneamento adequado. E por volta de 50% da população que recebe acima de cinco salários possui saneamento adequado.

Figura 5: Nível de saneamento para as diferentes camadas de renda da população no país



Fonte: Hunt (2013).

1.3 Sistema de Esgotamento Sanitário

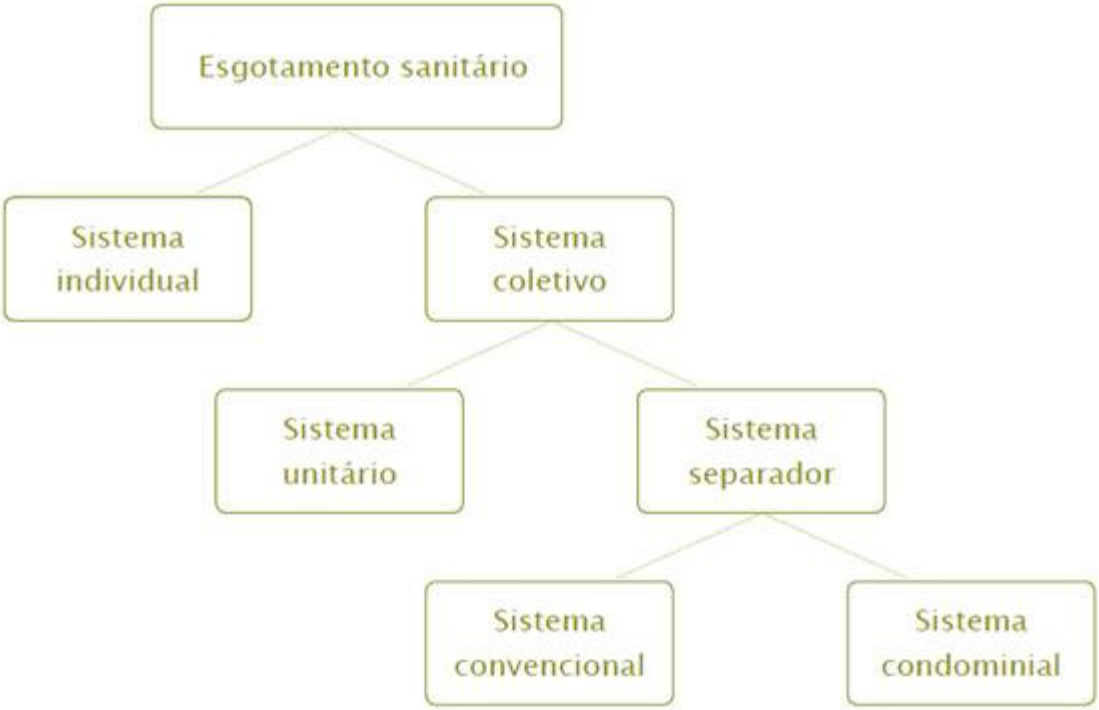
Segundo Jordão e Pessoa (1995) o surgimento dos sistemas de tratamento ocorre como resultado da evolução humana. A água sempre foi o fator primordial na fixação do homem e a criação de novas comunidades. O ser humano sempre buscou fixar-se em regiões onde possa saciar suas necessidades mais elementares: alimento, água e calor. Dessa incansável busca de nossos ancestrais chega-se à

situação atual: densidades populacionais elevadas, sempre próximas a rios e nascentes (JUNIOR; NETO, 2011).

Ao referir-se a tal assunto, Nuvolari (2003) menciona que a disposição adequada dos esgotos é essencial à proteção da saúde pública para evitar várias doenças que podem ser transmitidas por uma disposição inadequada.

Do ponto de vista técnico já são vários sistemas de esgotamentos e tratamentos de esgotos conhecidos. Cada um com vantagens e desvantagens na sua utilização. Assim os sistemas de esgotamentos sanitários antes de um destino final podem ser divididos em vários elementos como demonstra a figura 6.

Figura 6: Fluxograma dos sistemas de escoamento sanitário



Fonte: Brasil (2008).

Nesta mesma linha Costa (2010) aponta os objetivos e finalidades dos sistemas de esgotamento sanitário:

- coletar os esgotos individualmente ou coletivamente;
- afastamento rápido e seguro dos esgotos (fossas sépticas ou redes coletoras);
- tratamento e disposição sanitária dos efluentes;
- eliminação da poluição do solo;

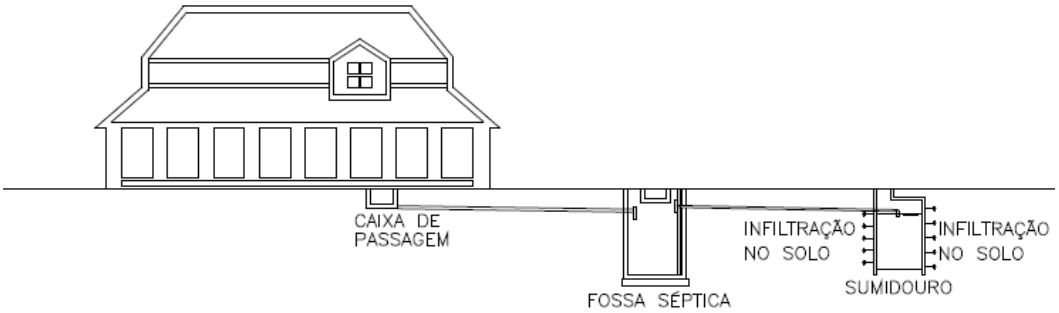
- conservação dos recursos hídricos;
- eliminação de focos de poluição e contaminação;
- redução na incidência das doenças relacionadas com a água contaminada.

1.4 Sistemas de Escoamento

1.4.1 Sistema individual

O sistema individual é adotado para atendimento unifamiliar e consistem no lançamento dos esgotos domésticos gerados em uma unidade habitacional, usualmente em fossa séptica, seguida de dispositivo de infiltração no solo (sumidouro, irrigação subsuperficial) como demonstra a figura 7. Esses sistemas podem funcionar satisfatória e economicamente se as habitações forem esparsas (grandes lotes com elevada porcentagem de área livre e/ou em meio rural), se o solo apresentar boas condições de infiltração e, ainda, se o nível de água subterrânea encontrar-se a uma profundidade adequada, de forma a evitar o risco de contaminação por microrganismos transmissores de doenças (BRASIL, 2008).

Figura 7: Sistema individual



Fonte: Brasil (2008).

1.4.2 Sistema unitário

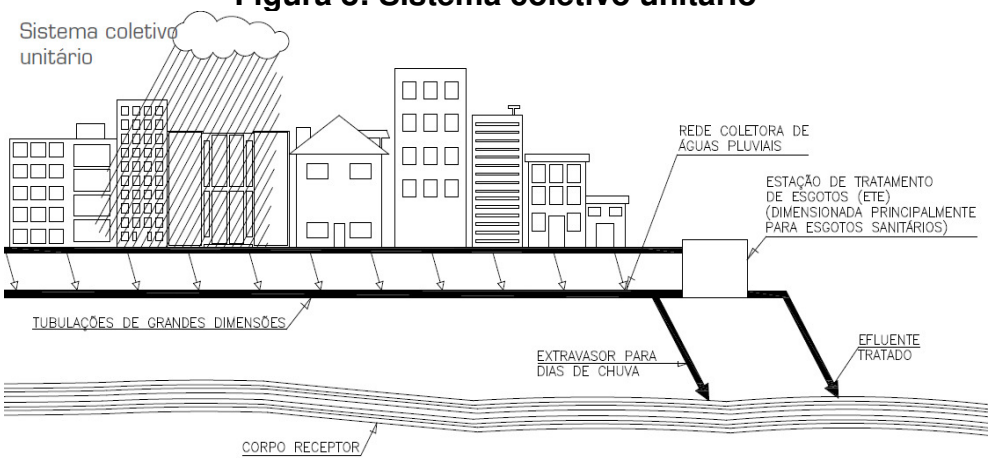
O sistema unitário é caracterizado por receber as águas de origem pluvial, de esgotos domésticos e industriais em um único coletor (BRASIL, 2004).

Este sistema normalmente não é utilizado por exigir investimentos iniciais maiores, devidos principalmente ao grande diâmetro das canalizações, bem como também por apresentarem alguns inconvenientes (IRION; SILVEIRA, 2000 apud COSTA, 2010):

- problemas em regiões onde as precipitações são muito intensas (regiões tropicais);
- poluição dos corpos receptores porque os sistemas de tratamento não podem ser dimensionados para tratar toda a vazão (vazão dos esgotos e vazão da chuva), logo uma parcela destes esgotos, em períodos críticos, extravasa para o corpo receptor sem tratamento;
- problemas de mau cheiro em certas partes do sistema (bocas de lobo);
- apresenta problemas relativos a deposições de material nos coletores por ocasião da estiagem.

A implantação deste sistema apresenta vantagem quando for possível lançar o esgoto bruto, sem inconveniente em um corpo receptor próximo (figura 8). Neste caso ao dimensionar a tubulação devem ser previstas as precipitações máximas com período de ocorrência geralmente entre cinco a dez anos (BRASIL, 2004).

Figura 8: Sistema coletivo unitário



Fonte: Brasil (2008).

1.4.3 Sistema separador

O sistema tem como principal objetivo coletar exclusivamente os esgotos sanitários ficando totalmente separado das águas pluviais. Sendo assim,

apresentam como grande vantagem o reduzido custo (canalizações de menor diâmetro), o que já justifica o seu emprego, mas além do custo este sistema apresenta outras vantagens (BRASIL, 2004):

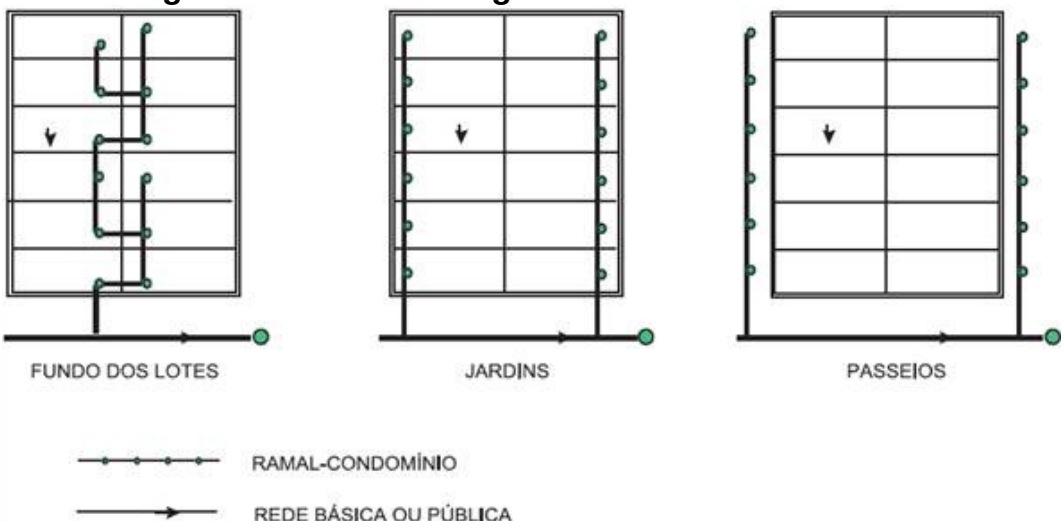
- as águas pluviais não oferecem os mesmos riscos que o esgoto doméstico, portanto, estas podem ser encaminhadas aos corpos receptores (rios e lagos) mais próximos sem tratamento;
- possibilidade de planejamento das obras para a execução em etapas, de acordo com a sua importância e as disponibilidades econômicas da comunidade;
- o esgoto doméstico terá prioridade, por representar maiores problemas sanitários e o diâmetro dos coletores é mais reduzido;
- redução da possibilidade de poluição dos cursos de água (não ocorrerão extravasamento dos esgotos nos períodos de precipitação intensa);
- permite o emprego de vários materiais para as tubulações de esgotos (tubos de cerâmica, tubos de concreto, tubos de PVC, tubos de ferro fundido);
- desde o surgimento no Brasil de um novo sistema de esgotamento sanitário na década de 1980 para tentar reduzir custos, o sistema separador pode ser dividido em duas modalidades, sistema convencional e sistema condominial.

a) Sistema condominial

O sistema condominial é adotado visando a diminuição dos custos das redes coletoras, tendo como principal premissa a participação da população nas diversas etapas do projeto. Envolvendo desde a escolha do local de passagem das canalizações e a participação dos custos do sistema, até a participação em sua instalação e manutenção.

Desse modo, a rede coletora pública apenas tangencia o quarteirão ao invés de circundá-lo como no sistema convencional. Consistindo desse modo na organização de condomínios de esgotos, cuja unidade é a quadra, que implanta e gera uma rede. Assim as edificações são conectadas à rede pública por meio de ligação coletiva ao nível do condomínio (ramal condominial), como demonstra a figura 9 (BRASIL, 2004).

Figura 9: Sistema de esgotamento condominial



Fonte: Brasil (2004).

Os ramais condominiais passam, quase sempre, entre os quintais no interior dos lotes, nos passeios cortando-os, no sentido transversal. Intercalada nessa rede interna à quadra, de pequena profundidade, encontra-se, em cada quintal, uma caixa de inspeção à qual se conectam as instalações sanitárias prediais, independentemente, constituindo um ramal multifamiliar (BRASIL, 2004, p. 32).

b) Sistema convencional

O sistema convencional é a solução de esgotamento sanitário mais usado para o atendimento de um município, onde sua ligação é feita individualmente em cada lote. Sendo suas partes integrantes descritas a seguir (BRASIL, 2004):

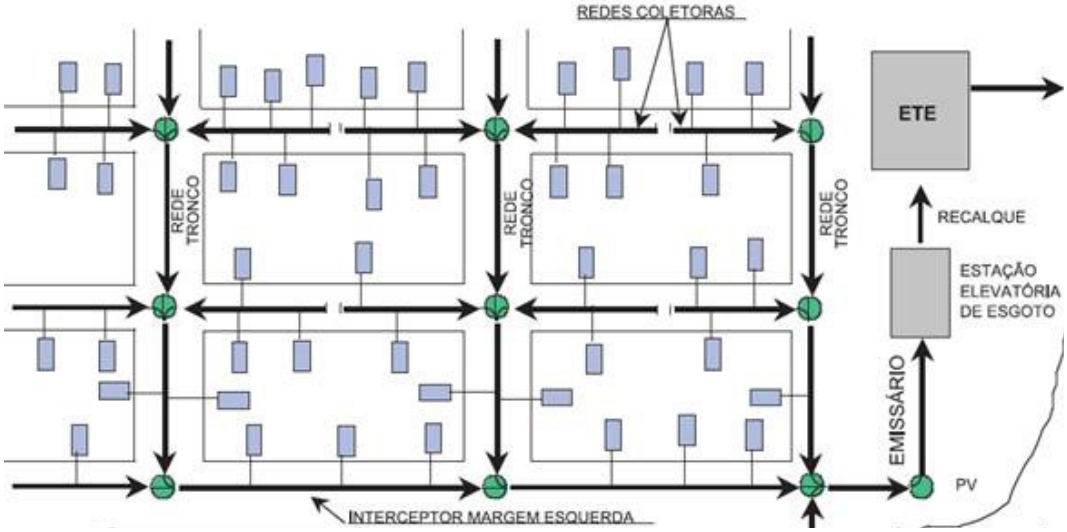
- **rede coletora:** conjunto constituído por ligações prediais, coletores de esgotos e acessórios, destinados a receber e conduzir os esgotos das edificações;
- **interceptores:** canalizações que recebem os coletores de esgoto ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas; são responsáveis pelo transporte dos esgotos gerados na sub-bacia, evitando que os mesmos sejam lançados nos corpos d'água;
- **emissário:** canalização destinada a conduzir os esgotos a um destino conveniente sem receber contribuições ao longo do seu percurso;
- **sifão invertido e passagem forçada:** trechos com escoamento sob pressão, cuja finalidade é transpor obstáculos, depressões do terreno ou

cursos de água, rebaixados (sifão) ou sem rebaixamento (passagem forçada);

- **estação de tratamento de esgotos (ETE):** conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes do seu lançamento nos cursos d'água.

Na figura 10 é possível visualizar as partes construtivas de um sistema convencional de esgotamento sanitário.

Figura 10: Sistema de esgotamento convencional



Fonte: Brasil (2004).

1.5 Sistemas de Tratamento de Esgotos

1.5.1 Fossa séptica

Conforme Adreoli (2009) as fossas sépticas também conhecidas atualmente como tanques sépticos são unidades que tratam o esgoto por processos de sedimentação, flotação e digestão. Sendo perfeitamente fechadas produzem um efluente que deverá ser destinado.

Na superfície do tanque fica acumulada a escuma, formada a partir de sólidos flotáveis, como óleos e graxas, enquanto o lodo sedimenta no fundo do tanque, compreendendo de 20 a 50% do volume total do tanque séptico quando esgotado. Um tanque séptico usualmente retém de 60 a 70% dos sólidos, óleos e graxas que passam pelo sistema (USEPA, 1999 apud ADREOLI, 2009).

Uma parte dos sólidos é removida do esgoto e armazenada no tanque enquanto outra parte é digerida. Acima de 50% dos sólidos retidos no tanque se decompõe, enquanto o remanescente se acumula como lodo no fundo do tanque e deve ser periodicamente removido por bombeamento (USEPA, 2000 apud ADREOLI, 2009).

O emprego de unidades de tanque séptico para o tratamento de despejos de hospitais, clínicas, laboratórios de análises clínicas, postos de saúde 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 à pré e pós-tratamento (ABNT, 1993).

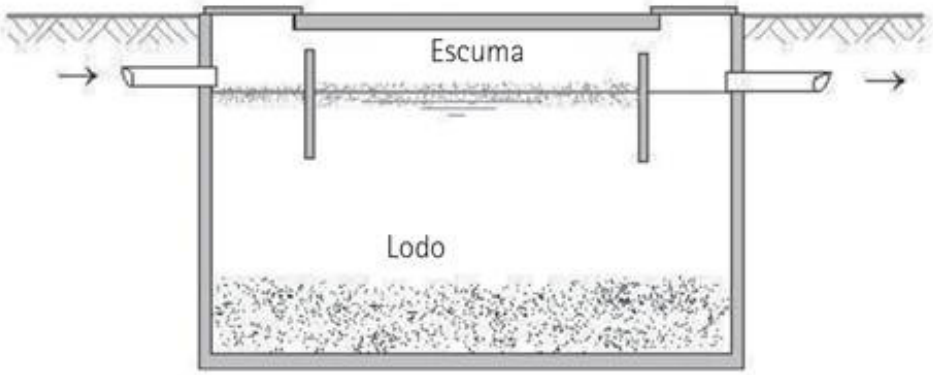
Embora sejam aplicados para pequenas vazões, os tanques sépticos prestam-se, também, para tratar vazões médias e grandes, principalmente quando construídos em módulos. O fato de continuar a ser utilizado há mais de cem anos e de ser a unidade de tratamento de esgoto mais utilizada ainda hoje, revela a aplicabilidade generalizada do tanque séptico (ADREOLI, 2009).

Ainda de acordo com o mesmo autor, tanques sépticos são, basicamente, tanques simples ou divididos em compartimentos horizontais ou verticais, utilizados com o objetivo de reter por decantação os sólidos contidos nos esgotos, propiciar a decomposição dos sólidos orgânicos decantados no seu próprio interior e acumular temporariamente os resíduos, com volume reduzido pela digestão anaeróbia até que sejam removidos em períodos de meses ou anos.

Os tanques sépticos podem ser de câmara única, de câmara em série ou de câmaras sobrepostas e podem ter forma cilíndrica ou prismática retangular.

O tanque séptico de câmara única possui apenas um compartimento, em cuja zona superior deve 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 11 (ABNT, 1993).

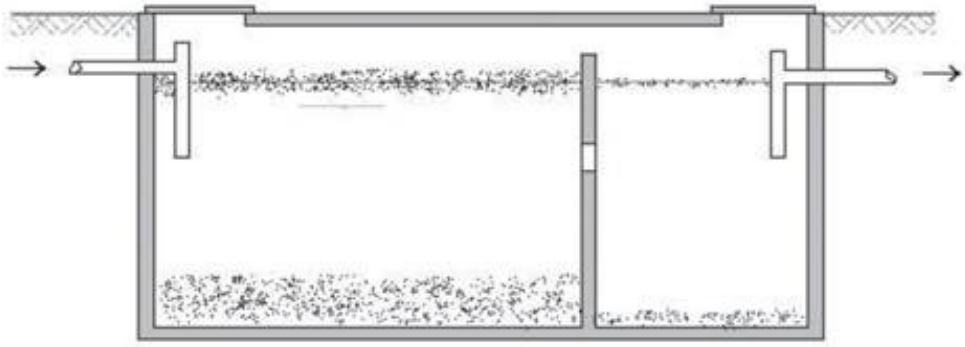
Figura 11: Tanque séptico de câmara única (corte longitudinal)



Fonte: Adreoli (2009).

Como demonstra a figura 12, a câmara em série possui dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos sequencialmente no sentido do fluxo do líquido e interligados adequadamente, nos quais devem ocorrer, conjunta e decrescentemente, processos de flotação, sedimentação e digestão (ABNT, 1993).

Figura 12: Tanque séptico de câmara em série (corte longitudinal)



Fonte: Adreoli (2009).

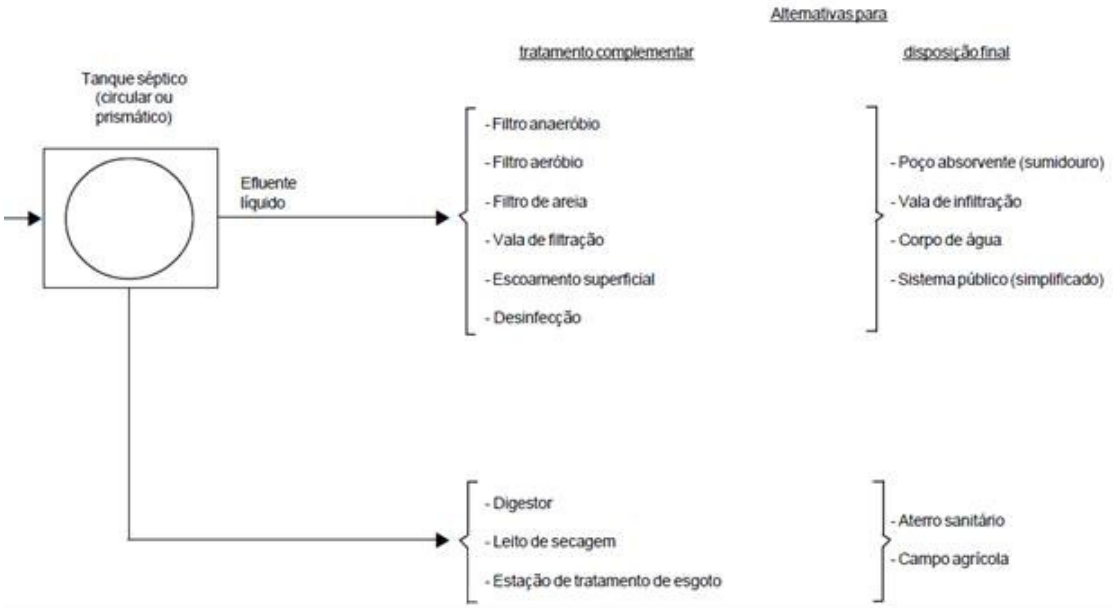
Adreoli (2009) ainda comenta que o tanque séptico é uma tecnologia simples, compacta e de baixo custo. Não apresenta alta eficiência, principalmente na remoção de patogênicos e de substâncias dissolvidas, mas produz um efluente razoável, que pode ser encaminhado mais facilmente a um pós-tratamento ou ao destino final.

> As grandes vantagens dos tanques sépticos, em comparação a outros reatores anaeróbios, e de resto com todas as opções de tratamento de esgotos, estão na construção muito simples, na operação extremamente simples e eventual e nos custos. Para vazões pequenas e médias os custos e a simplicidade construtiva e operacional são incomparáveis (ADREOLI, 2009, p. 30).

Segundo Adreoli (2009) a operação de um tanque séptico além de muito simples é eventual. Consiste basicamente na remoção do lodo na frequência prevista no projeto (tempo de esgotamento), geralmente períodos de meses ou anos. Quando não há dispositivo de descarga do lodo ele deve ser esgotado mecanicamente (por bombeamento, sucção ou sifonamento) e conduzido a um local adequado.

A ABNT (1993) especifica a necessidade de um tratamento complementar ao tanque séptico, como demonstra a figura 13.

Figura 13: Sistema de tanque séptico – esquema geral



Fonte: ABNT (1993).

A solução mais simples quando as condições de infiltração do solo são favoráveis é a construção de um poço absorvente (sumidouro) ou vala de infiltração (IMHOFF; IMHOFF, 1986).

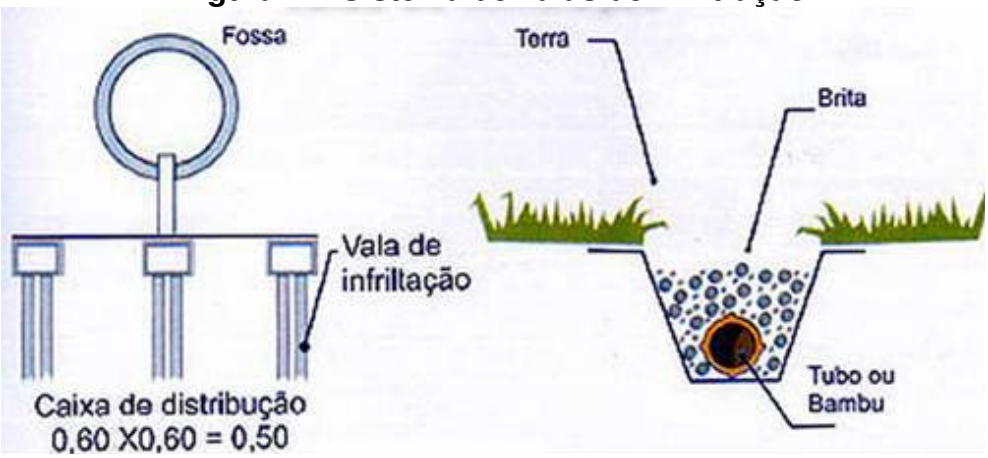
Segundo a ABNT (1997) vala de infiltração é o processo de tratamento e disposição final do esgoto que consiste na percolação do mesmo no solo, utilizada para disposição final do efluente líquido do tanque séptico doméstico. Entretanto, só

pode ser empregada se existir terreno permeável em área suficiente, com uma taxa de infiltração do solo variando entre 20 e 40 L/m².dia.

Imhoff e Imhoff (1986) consideram que a vala de infiltração é o melhor processo de tratamento para pequenas vazões de esgotos, pois tem a vantagem de ser mais garantido que o emprego de sumidouros e menor preocupação de ocorrer poluição ao lençol freático.

A vala é escavada em uma pequena profundidade do solo condição essencialmente aeróbia, empregando-se canalizações perfuradas e materiais de enchimento, como brita (figura 14).

Figura 14: Sistema de valas de infiltração

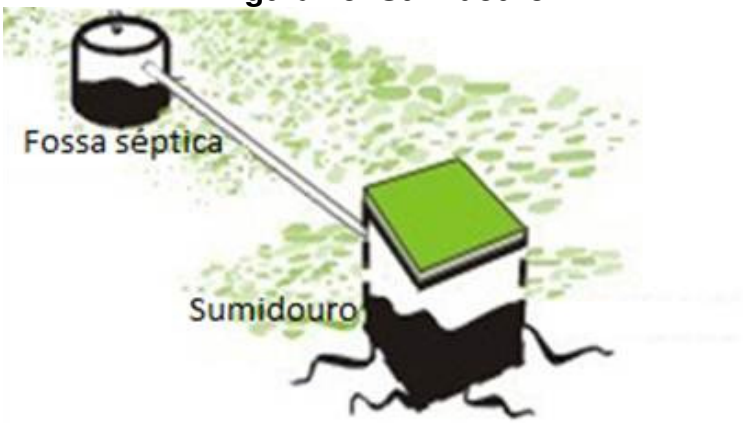


Fonte: CETESB (1988).

A ABNT (1997) afirma que sumidouro é a unidade de depuração e de disposição final do efluente de tanque séptico verticalizado em relação à vala de infiltração. Devido a esta característica seu uso é favorável somente nas áreas onde o aquífero é profundo, onde possa garantir a distância mínima de 1,50 m (exceto areia) entre o seu fundo e o nível do aquífero. Sendo que do mesmo que as valas de infiltração o solo deve possuir uma taxa de infiltração variando entre 20 e 40 L/m².dia.

Imhoff e Imhoff (1986) destacam que os sumidouros requerem menor área do terreno para sua implantação (figura 15), porém oferece maior risco de contaminação ao lençol freático.

Figura 15: Sumidouro

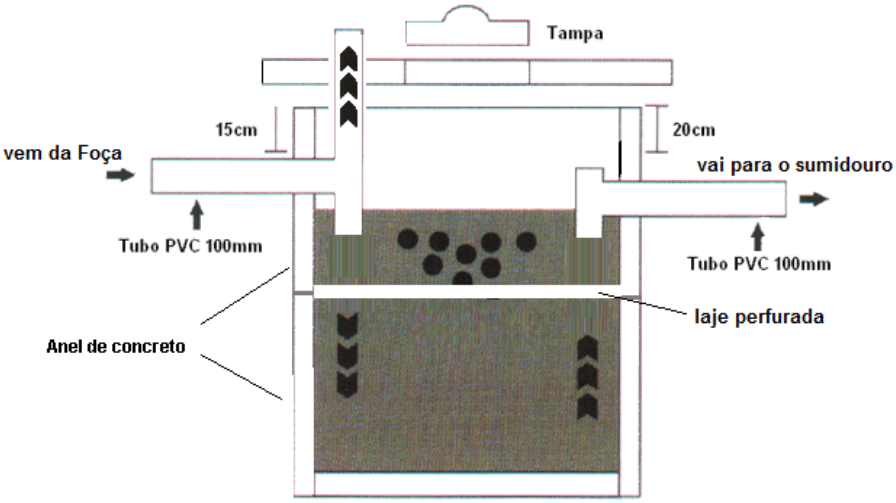


Fonte: CETESB (2014).

Soares (2010) relata que na impossibilidade de infiltrar o efluente da fossa devido fatores como características do solo, nível do lençol freático, não disponibilidade de área, mesmo assim, antes de lançá-los nos corpos d'água é necessário tratá-los. Dentre as soluções recomenda o filtro anaeróbico de fluxo ascendente.

Segundo Neto, Melo e Filho (2014) filtro anaeróbio, de fluxo ascendente, consiste basicamente de um leito de pedras que acumula em sua superfície os microrganismos responsáveis pela remoção da matéria orgânica dissolvida. O líquido penetra através de uma camada de material de enchimento e é descarregado pelo topo. O leito de pedras se apoia em um fundo falso, constituído por lajes perfuradas (figura 16).

Figura 16: Filtro anaeróbio de fluxo ascendente



Fonte: CETESB (2014).

Como demonstram as tabelas 2 e 3, o filtro anaeróbio de fluxo ascendente (afogado) comparado a outros meios de tratamentos propicia bons resultados na remoção de matéria orgânica e sólidos, permitindo concluir que sua utilização além de simples e econômica é eficaz.

Tabela 2: Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %)

Processo / Parâmetro	Filtro anaeróbio submerso	Filtro aeróbio	Filtro de areia	Vala de filtração	LAB	Lagoa com plantas
DBO	40 a 75	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
SNF	60 a 90	80 a 95	70 a 95	70 a 95	80 a 95	70 a 95
Sólidos sedimentares	70 ou mais	90 ou mais	100	100	90 a 100	100
Nitrogênio amoniacal	-	30 a 80	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90
Nitrato	-	30 a 70	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	20 a 50	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 90	70 a 90
Coliformes fecais	-	-	99 ou mais	99,5 ou mais	-	-

Fonte: ABNT (1997).

Tabela 3: Algumas características dos processos de tratamento (exclui tanque séptico)

Processo / Característica	Filtro anaeróbio	Filtro aeróbio submerso	Filtro de areia	Vala de filtração	LAB	Lagoa com plantas
Área necessária	Reduzida	Reduzida	Média	Média	Média	Média
Operação	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples
Custo operacional	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Manutenção	Simples	Simples	Simples	Simples	Mediana complexi-dade	Simples
Odor/cor no efluente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: ABNT (1997).

1.5.2 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são processos de tratamento de esgotos utilizados principalmente para a remoção de matéria orgânica. No entanto, com algumas adaptações no fluxograma e na geometria das lagoas pode-se conseguir alcançar elevadíssimas eficiências de remoção de organismos patogênicos. Ainda é

possível obter significativa remoção de nitrogênio e até mesmo de fósforo (GONÇALVES, 2003).

Chernicharo (2001) menciona que os sistemas de lagoas de estabilização têm sido amplamente utilizados na prática de tratamento de esgoto sanitário em todo o Brasil, tendo-se observado resultados satisfatórios em termos da qualidade do efluente, sempre quando o projeto é tecnicamente adequado e existe um mínimo de operação e manutenção.

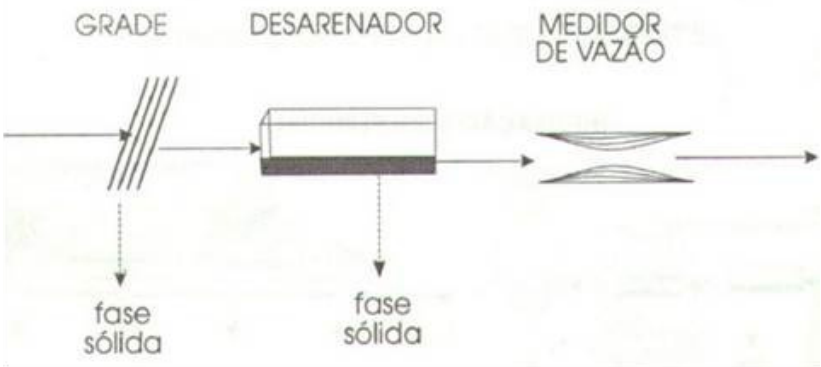
De maneira geral, as lagoas de estabilização são bastante indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento, pelos seguintes aspectos (GONÇALVES, 2003):

- suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades;
- clima favorável (temperatura e insolação elevadas);
- operação simples;
- necessidade de poucos ou nenhum equipamento;
- custos de implantação e operação adequados.

No entanto, as lagoas de estabilização são uma das formas mais simplificadas para o tratamento de esgoto. Adicionalmente, a construção é simples, baseando-se principalmente em movimento de terra de escavação e preparação dos taludes.

Conforme Von Sperling (2005) para o tratamento preliminar das lagoas de estabilização é necessário a utilização de grades, eliminando assim os sólidos grosseiros e o desarenador (caixa de areia) para eliminar ou reduzir obstrução nas tubulações (figura 17).

Figura 17: Esquema do tratamento preliminar



Fonte: Von Sperling (2005).

Há diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área. Sendo essas variantes descritas a seguir conforme Von Sperling (2005).

a) Lagoas facultativas

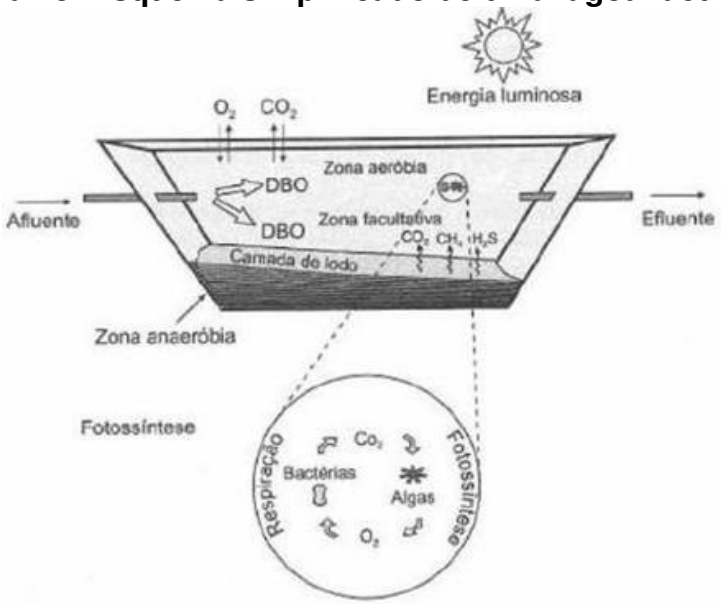
Quando as lagoas facultativas recebem esgoto bruto são denominadas lagoas primárias. Recebendo afluente de uma unidade de tratamento, tais como lagoa anaeróbia é denominada secundária.

O processo de lagoas facultativas é o mais simples, dependendo unicamente de fenômenos puramente naturais. O esgoto afluente entra continuamente em uma extremidade da lagoa e sai continuamente na extremidade oposta. Demorando ao longo deste percurso vários dias.

O processo de lagoas facultativas é essencialmente natural, não necessitando de nenhum equipamento. Por esta razão, a estabilização da matéria orgânica se processa em taxas mais lentas, implicando na necessidade de um elevado período de detenção na lagoa (superior a 20 dias). A fotossíntese, para que seja efetivada, necessita de uma elevada área de exposição para 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 dos esgotos, tendo uma profundidade em média de 1,5 a 2 metros. Contudo, o fato de ser um processo totalmente natural está associado a uma maior simplicidade operacional, fator de fundamental importância para minimizar custos de operação.

As figuras 18 e 19 demonstram o esquema simplificado das lagoas facultativas.

Figura 18: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa



Fonte: Von Sperling (2005).

Figura 19: Fluxograma típico de um sistema de lagoas facultativas

Fonte: Von Sperling (2005).

b) Sistema de lagoas anaeróbias – lagoas facultativas

Devido a uma grande área que requer a lagoa facultativa e muitas vezes não disponível na localidade em questão, buscou-se a solução que possa implicar na redução da área total requerida. Sendo uma destas soluções a do sistema de lagoas anaeróbias seguida por lagoa facultativa. Sendo neste caso denominada lagoa secundária a lagoa facultativa, já que recebe o efluente de uma unidade de tratamento a montante e não esgoto bruto.

O esgoto bruto entra numa lagoa de menores dimensões e mais profunda (em torno de 4,0 a 5,0 m) e devido as menores dimensões dessas lagoas, a fotossíntese praticamente não ocorre. Assim predominando as condições anaeróbias nessa primeira lagoa.

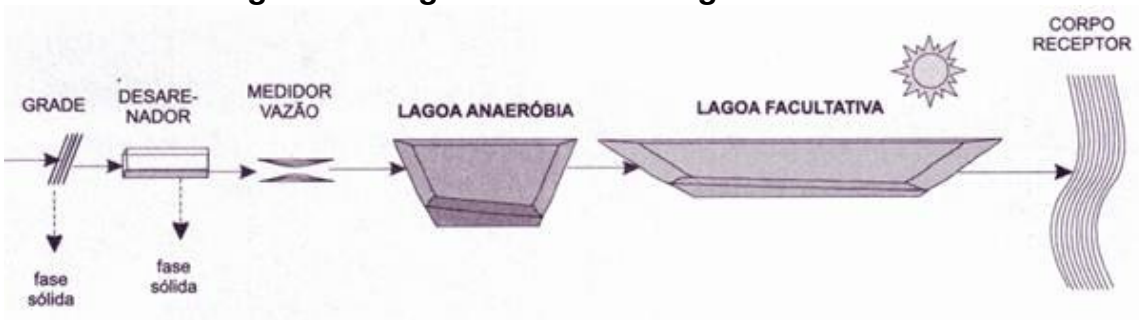
As bactérias anaeróbias têm uma taxa metabólica e de reprodução mais lenta do que as aeróbias, sendo que a remoção da matéria orgânica ocorre parcialmente da ordem de 50 a 70%, apesar de baixa, representa uma grande contribuição para a lagoa facultativa situada a jusante.

A lagoa facultativa recebe uma carga de apenas 30 a 50% de esgoto bruto, podendo ter, portanto, dimensões bem menores.

A utilização deste mecanismo de lagoa anaeróbia + lagoa facultativa é tal que se obtém uma economia de área da ordem de 1/3, comparado somente a lagoa facultativa única.

A figura 20 mostra o fluxograma de um sistema de lagoas anaeróbias seguida por lagoas facultativas.

Figura 20: Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa



Fonte: Von Sperling (2005).

No entanto, a existência de uma etapa anaeróbia em uma unidade aberta é sempre uma causa de preocupação devido à possibilidade da liberação de maus odores. Por essa razão, este sistema deve ser normalmente localizado em um grande afastamento de residências.

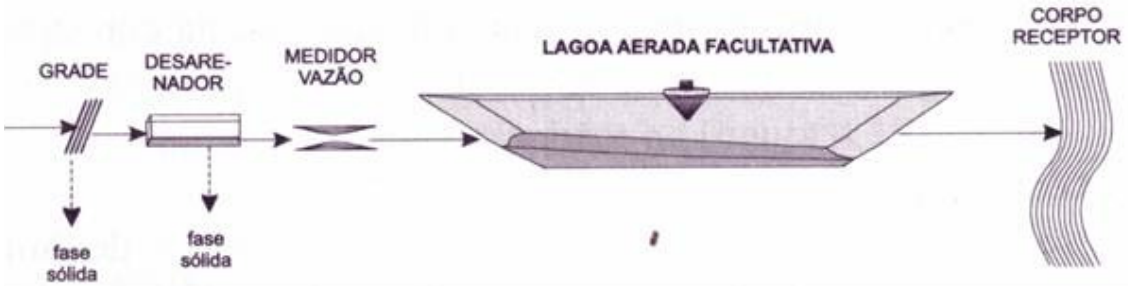
c) Lagoa aerada facultativa

A lagoa aerada facultativa é um sistema predominantemente aeróbio e de dimensões ainda mais reduzidas. A principal diferença com relação à lagoa facultativa convencional é quanto à forma de suprimento de oxigênio. Enquanto na lagoa facultativa o oxigênio sucede principalmente da fotossíntese, no caso da lagoa aerada facultativa o oxigênio é obtido através de equipamentos denominados aeradores.

Os aeradores mecânicos utilizados em lagoas aeradas são unidades de eixo vertical que, ao rodarem em alta velocidade, causam um grande turbilhonamento na água. Este turbilhonamento propicia a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida, permitindo que a decomposição da matéria orgânica se dê mais rapidamente, em um período de detenção do esgoto na lagoa da ordem de cinco a dez dias.

A figura 21 demonstra um fluxograma típico de um sistema de lagoas aeradas facultativas.

Figura 21: Lagoa aerada facultativa



Fonte: Von Sperling (2005).

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

d) Lagoas de decantação

Uma forma de se reduzir ainda mais o volume da lagoa aerada é o de se aumentar o nível de aeração, fazendo com que haja uma turbulência maior, onde além de garantir a oxigenação, permita ainda que todos os sólidos sejam mantidos em suspensão no meio líquido.

Com isto, a eficiência do sistema aumenta bastante, permitindo que o volume da lagoa aerada seja bastante reduzido e o seu tempo de detenção em torno de dois a quatro dias.

Apesar da elevada eficiência desta lagoa na remoção da matéria orgânica originalmente presente nos esgotos é criado um novo problema. A biomassa permanece em suspensão em todo o volume da lagoa, vindo, portanto, a sair com o

efluente da lagoa. Caso fosse lançada em um corpo receptor iria causar a deterioração da qualidade das águas.

Portanto, é necessário que haja uma unidade a jusante, na qual os sólidos em suspensão possam vir a sedimentar e ser separados do líquido. Esta unidade pode ser uma lagoa de decantação, com a finalidade de permitir a sedimentação e acúmulo dos sólidos (figura 22).

Figura 22: Lagoas aeradas de mistura completa e lagoas de decantação

Fonte: Von Sperling (2005).

A área requerida por este sistema é a menor dentre os sistemas de lagoas. As demandas de energia são similares aos demais sistemas de lagoas aeradas. Os aspectos relativos ao manuseio do lodo podem ser mais complicados.

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

No entanto, o manuseio do lodo pode ser mais complicado devido ao fato de se ter um menor período de armazenamento na lagoa, assim ocorrendo uma maior frequência de limpeza, em média dois a cinco anos.

e) Lagoas de maturação

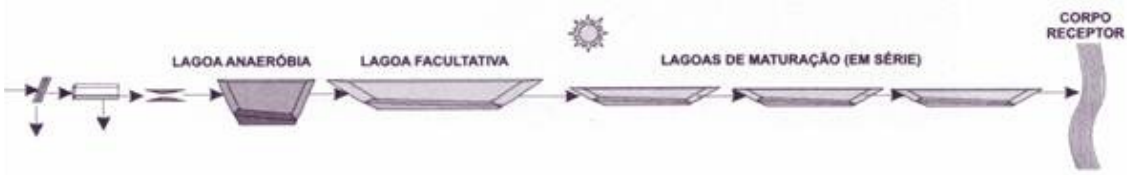
As lagoas de maturação possibilitam um polimento no efluente de qualquer dos sistemas de lagoas de estabilização ou de qualquer sistema de tratamento de esgoto, sendo seu principal objetivo a remoção dos organismos patogênicos.

As lagoas de maturação constituem-se numa alternativa bastante econômica, a desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração.

De forma a maximizar a eficiência na remoção de coliformes as lagoas de maturação podem ser projetadas das seguintes formas (figura 23):

- três ou quatro lagoas em série;
- lagoa única com chicanas.

Figura 23: Fluxograma típico de um sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série



Fonte: Von Sperling (2005).

f) Lagoas de polimento

As lagoas de polimento são conceitualmente similares às lagoas de maturação, recebem esta nomenclatura específica por realizarem o polimento de efluentes de estações de tratamento, em particular os reatores anaeróbios e mais especificamente os reatores tipo UASB. Isso se deve ao fato dos reatores anaeróbios não atingirem elevadas eficiências de remoção de DBO, requerendo usualmente um pós-tratamento, ou seja, polimento. A figura 24 ilustra o sistema composto por reator UASB e lagoas de polimento em série.

Figura 24: Sistema composto por reator UASB seguido por lagoas de polimento em série

Fonte: Von Sperling (2005).

1.5.3 Reator UASB

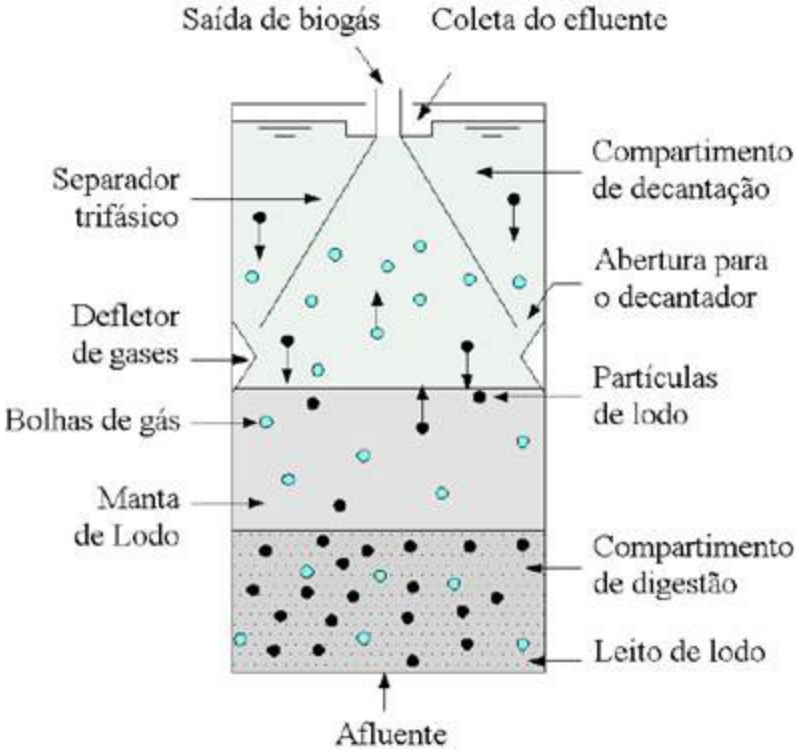
Von Sperling (2005) ressalta que os reatores UASB constituem-se na principal tendência atual de tratamento de esgotos no Brasil, seja unidades únicas ou seguidas de alguma forma de tratamento, pois seu grau de funcionamento é

elevado, já que as bactérias apresentam baixa atividade em temperaturas inferiores a 20ºC enquanto que quase todos os municípios do país possuem clima quente.

Como demonstra a figura 25, o reator UASB basicamente consiste de três partes fundamentais em sua coluna ascendente:

- leito de lodo;
- zona de sedimentação;
- separador de fases.

Figura 25: Representação esquemática do funcionamento de um reator UASB



Fonte: Martins (2010).

O reator UASB é constituído em sua coluna ascendente de um leito de lodo, uma zona de sedimentação e o separador de fase. Este separador de fases é um dispositivo característico do reator, tem a finalidade de dividir a zona de digestão (parte inferior), onde se encontra a manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia e a zona de sedimentação (parte superior).

A água residuária ao entrar e ser distribuída pelo fundo do reator UASB flui pela zona de digestão, onde se encontra o leito de lodo, ocorrendo a mistura do material orgânico nela presente com o lodo. Os sólidos orgânicos suspensos são quebrados, biodegradados e digeridos através de uma transformação anaeróbia,

resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. O biogás segue em trajetória ascendente com o líquido, após este ultrapassar a camada de lodo, em direção ao separador de fases (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994 apud SAAE, 2006).

A área disponível para o escoamento crescente do efluente no separador de fases deve ser de tal forma que o líquido, ao se aproximar da superfície líquida livre, tenha sua velocidade gradativamente reduzida, de modo a ser superada pela velocidade de sedimentação das partículas, oriundas dos flocos de lodo arrastados pelas condições hidráulicas ou flotados. Isso possibilita que este material sólido que passa pelas aberturas no separador de fases, alcançando a zona superior do reator, possa se sedimentar sobre a superfície inclinada do separador de fases. Desse modo, o acúmulo sucessivo de sólidos implicará, consequentemente, no aumento contínuo do peso desse material o qual, em um dado momento, irá tornar-se maior que a força de atrito e, então, deslizarão, voltando para a zona de digestão, na parte inferior do reator. Assim, a presença de uma zona de sedimentação acima do separador de fases resulta na retenção do lodo, permitindo a presença de uma grande massa na zona de digestão, enquanto se descarrega um efluente substancialmente livre de sólidos sedimentáveis (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994 apud SAAE, 2006).

Na parte interna do separador de fases fica a câmara de acumulação do biogás que se forma na zona de digestão. O projeto do UASB garante os dois pré-requisitos para digestão anaeróbia eficiente: a) através do escoamento ascensional do afluente passando pela camada de lodo, assegura-se um contato intenso entre o material orgânico e o lodo; e b) o decantador interno garante a retenção de uma grande massa de lodo no reator (VAN HAANDEL; CATUNDA, 1995). Com o fluxo ascendente a estabilização da matéria orgânica ocorre na zona da manta de lodo, não havendo necessidade de dispositivos de mistura, pois esta é promovida pelo fluxo ascensional e pelas bolhas de gás (OLIVA, 1997 apud SAAE, 2006).

A seguir estão listadas algumas das vantagens e desvantagens que o sistema apresenta (MARTINS, 2010):

- **Vantagens:**
  - não necessita grande área para ser implantado por ser um sistema compacto;

- sua implantação e operação possuem baixo custo;
- sua produção de lodo é baixa;
- só há consumo de energia em caso de necessidade de elevatória;
- remove em torno de 60-75% de DBO/DQO;
- é possível rápido reinicio se houver necessidade de paralisação;
- lodo com boa desidratabilidade.

• **Desvantagens**

- pode exalar maus odores;
- o sistema não possui grande capacidade em tolerar cargas tóxicas;
- partida do sistema leva elevado intervalo.

Conforme a CETESB (1988) este tipo de reator pode ser empregado tanto para pequenas, como para grandes populações. E devido ao seu pequeno volume de área que ocupa (tabela 4), a alternativa é indicada para situações que não existem áreas disponíveis e/ou custo das mesmas elevadas (SOARES, 2010).

Tabela 4: Áreas e volumes estimados requeridos no tratamento de esgoto doméstico por UASB

População (hab.)	Área (m^2)	Volume (m^3)
1.000	7,50	25,00
2.000	15,00	50,00
3.000	22,50	75,00
4.000	30,00	100,00
5.000	37,50	125,00
10.000	75,00	250,00
15.000	112,50	375,00
20.000	150,00	500,00
50.000	375,40	1250,00
100.000	750,00	2500,00
Valores per capita	0,0075 m^2/hab.	0,02500 m^3/hab.

Fonte: CETESB (1988 apud SOARES, 2010).

Embora apresente muitas vantagens, o efluente do processo anaeróbio ainda necessita de tratamento posterior para completar a remoção de compostos orgânicos e remover patógenos. Os sistemas de pós-tratamento podem ser simples, de baixo custo, devendo ser planejado, preferencialmente, em concordância com o conceito básico dos reatores anaeróbios.

Alguns tipos de combinação dos sistemas de tratamento de esgotos anaeróbio e aeróbio podem contribuir para a redução de custos operacionais e

energéticos do sistema, tornando-se alternativas promissoras, do ponto de vista técnico e econômico. Podendo ser citadas algumas alternativas (PONTES, 2003):

- lagoas de estabilização;
- lodos ativados;
- aplicação no solo;
- filtro anaeróbio;
- aplicação no solo;
- reator anaeróbio de leito expandido;
- filtro biológico.

1.5.4 Lodos ativados

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado em nível mundial, principalmente quando se deseja uma elevada qualidade do efluente com baixos requisitos de área.

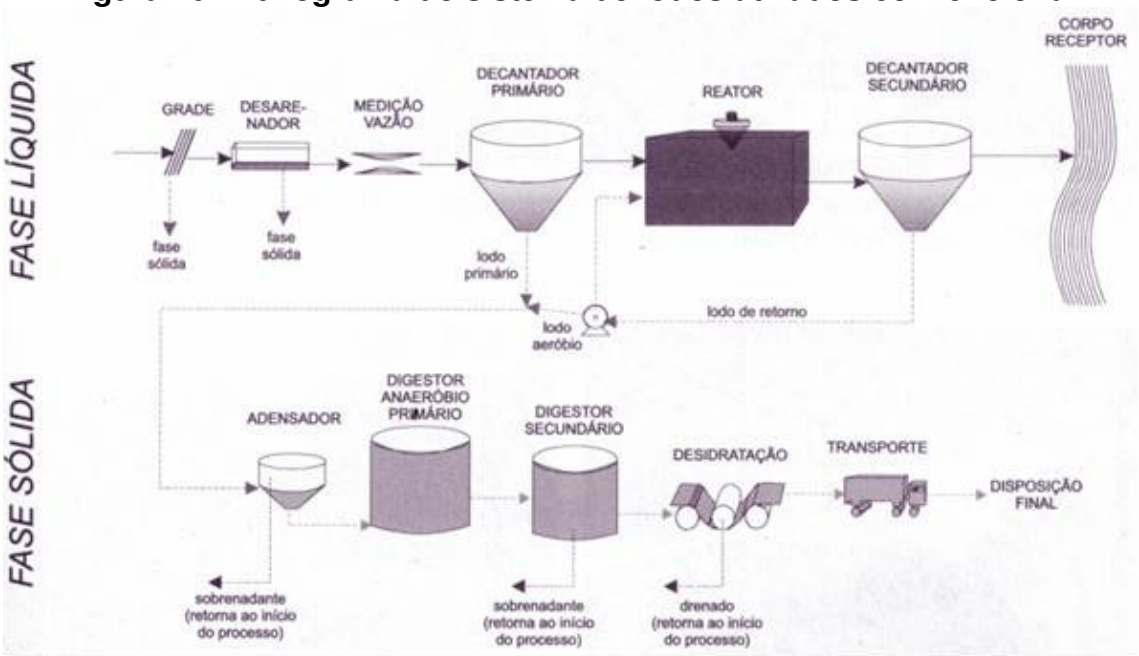
> Lodos ativados são um processo biológico onde o esgoto, na presença de oxigênio dissolvido, agitação mecânica e pelo crescimento e atuação de microrganismos específicos, forma flocos denominados lodo ativado. Essa fase do tratamento objetiva a remoção de matéria orgânica biodegradável presente nos esgotos. Após essa etapa, a fase sólida é separada da fase líquida em outra unidade operacional denominada decantador. O lodo ativado separado retorna para o processo ou é retirado para tratamento específico ou destino final (CASAN, 2014).

Segundo Von Sperling (2005) nos lodos ativados há diversas variantes do sistema e podem ser classificados segundo as seguintes categorias:

a) Lodos ativados convencionais

Os sistemas de lagoas aeradas, lagoas de decantação possuem em sua base um “depósito” de bactérias ainda ativas, na unidade de decantação. Caso essas bactérias fossem retornadas à unidade de aeração, a concentração nesta unidade seria abundantemente aumentada. Este é o princípio do sistema de lodos ativados, em que os sólidos são recirculados do fundo da unidade de decantação, por meio de bombeamento, para a unidade de aeração (figura 26).

Figura 26: Fluxograma do sistema de lodos ativados convencional



Fonte: Von Sperling (2005).

A concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração do sistema de lodos ativados é mais de dez vezes superior à de uma lagoa aerada de mistura completa. O tempo de detenção do líquido é da ordem de seis a oito horas, implicando em uma redução significativa do volume do tanque de aeração. No entanto, devido à recirculação dos sólidos, estes permanecem no sistema por um tempo superior ao do líquido, em torno de quatro a dez dias. Sendo esta maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência do processo de lodos ativados.

O sistema de lodos ativados convencional ocupa áreas reduzidas e tem elevada eficiência no tratamento de esgoto. No entanto, o sistema é complexo e requer uma maior capacitação técnica para sua operação e grandes gastos com energia elétrica para a aeração.

b) Aeração prolongada

A aeração prolongada possui o mesmo sistema de funcionamento do lodo ativado convencional, no entanto a biomassa permanece no sistema por um período mais longo, da ordem de 18 a 30 dias. Com isso diminui-se a disponibilidade de alimentos para as bactérias, fazendo com que elas para sobreviver passem a utilizar no seu processo metabólico a própria matéria orgânica. Isso faz com que o sistema seja um dos processos de tratamento mais eficientes na remoção de DBO. Desta

forma, o tratamento do lodo requer apenas uma etapa de adensamento e desidratação, dispensando a etapa de digestão.

A consequência desta simplificação do sistema é o maior gasto com energia para aeração, já que o lodo é estabilizado aerobiamente no reator.

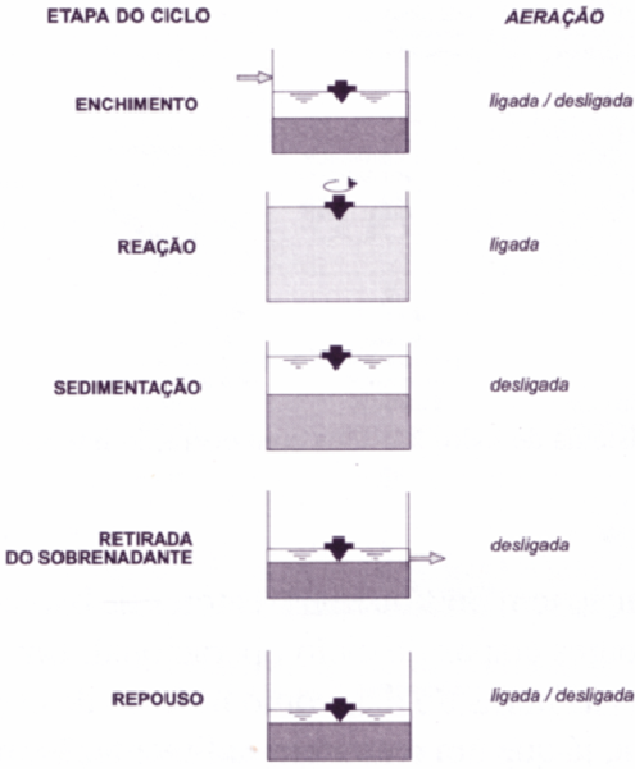
c) Fluxo intermitente (batelada)

Os sistemas de lodos ativados descritos anteriormente fazem com que o esgoto esteja sempre entrando e saindo do reator. Já o processo de fluxo intermitente consiste na incorporação de todas as unidades, processos e operações normalmente associadas ao tratamento convencional de lodos ativados (decantação primária, oxidação biológica, decantação secundária e bombeamento do lodo) em um único tanque, passando esses processos e operações a serem simplesmente sequências no tempo.

O processo consiste em um reator de mistura completa onde ocorrem todas as etapas do tratamento. Isso é conseguido através do estabelecimento de ciclos de operação com durações infinitas. A massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos, eliminando dessa forma a necessidade de decantadores separados.

Os ciclos normais de tratamento aparecem na figura 27 a seguir.

Figura 27: Ciclos do processo de operação



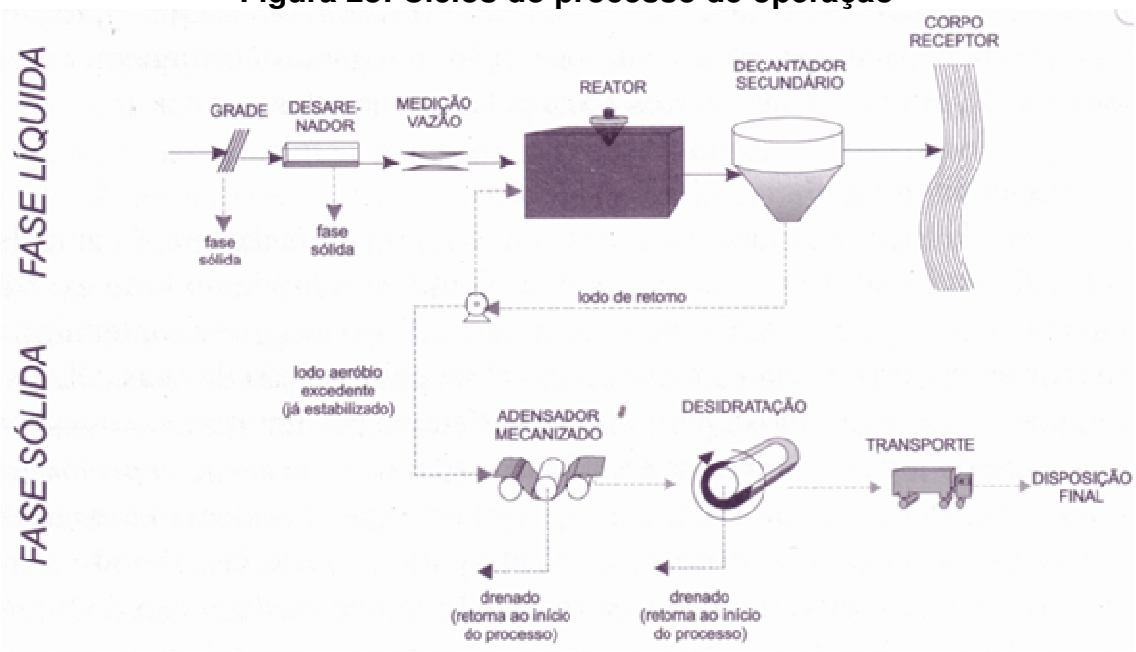
Fonte: Von Sperling (2005).

O descarte do lodo excedente geralmente ocorre durante o último ciclo, mas seu descarte também pode ser dado em qualquer etapa.

O período da duração de cada etapa do ciclo pode ser alterada em função das variações da vazão do afluente das necessidades de tratamento e das características do esgoto.

Esse sistema de tratamento comparado aos outros de lodo ativado é simplificado e as unidades que o compõem são: grade, desarenador, reatores, adensamento do lodo e desidratação do lodo (figura 28).

Figura 28: Ciclos do processo de operação

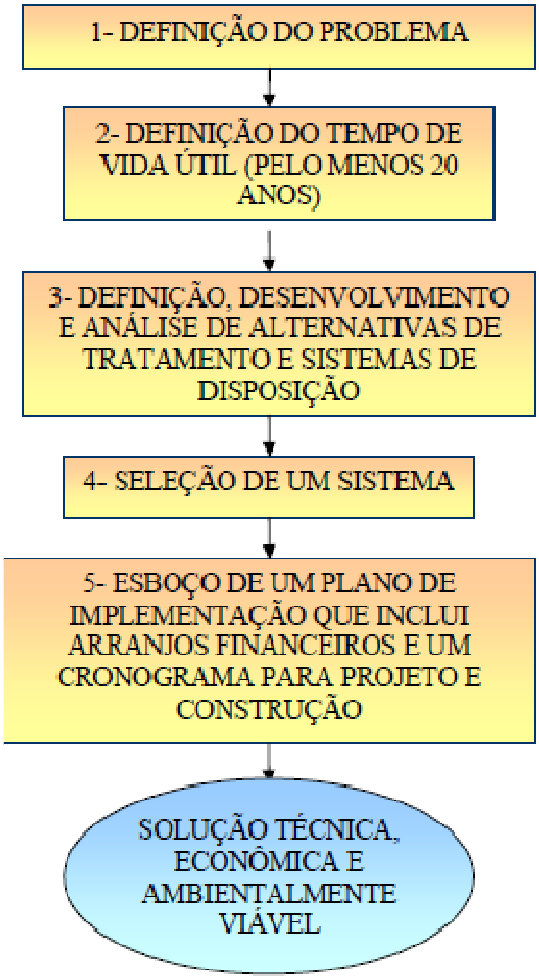


Fonte: Von Sperling (2005).

1.6 Escolha do Sistema de Esgotamento Sanitário

Para uma boa escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário Von Sperling (2005) menciona que primeiramente deve-se observar a confiabilidade, a eficiência, a disposição do lodo, as características do solo, os impactos ambientais, o custo de construção, o custo de operação e a sustentabilidade do empreendimento. Outro aspecto levantado pelo autor considera que quando não há um sistema ideal para a aplicação é necessária que se componha uma análise com os dados recolhidos no local, como demonstra o fluxograma na figura 29.

Figura 29: Fluxograma para o planejamento de estação de tratamento de esgoto



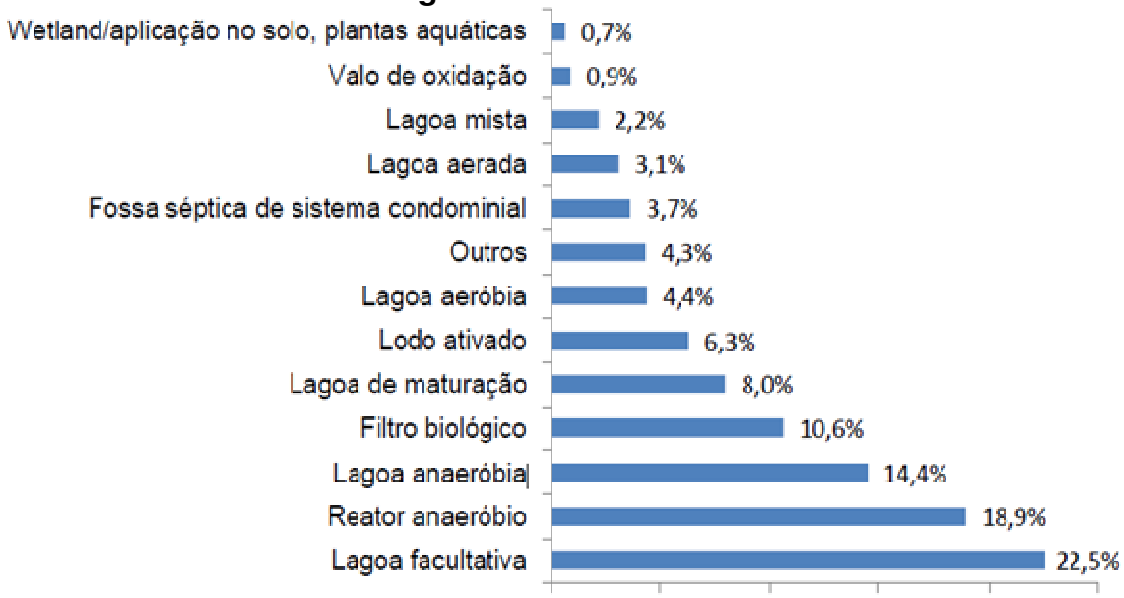
Fonte: Oliveira (2004).

Oliveira (2004 apud METCALF; EDDY, 1991) cita que a legislação sobre o nível de tratamento necessário tem sido alterada a nível que aumentam as informações sobres às características dos esgotos, devido à evolução dos processos de tratamento e os efeitos ambientais provocados pelos lançamentos de poluentes. Em vista disso, o autor considera o projeto de sistemas de esgotamento sanitário um dos grandes desafios da engenharia, sendo necessário o conhecimento teórico e principalmente a experiência profissional para a seleção de fluxogramas de processo de tratamentos.

Uma pesquisa feita pelo IBGE (2008) (figura 30) demonstra as tecnologias mais utilizadas em sistemas de tratamento de esgoto sanitários no Brasil, onde podemos observar que a lagoa facultativa, o reator anaeróbico, a lagoa anaeróbia, o

filtro biológico e a lagoa de maturação representam 75% das tecnologias empregadas em estação de tratamento.

Figura 30: Distribuição dos sistemas de tratamento de esgoto utilizados no Brasil



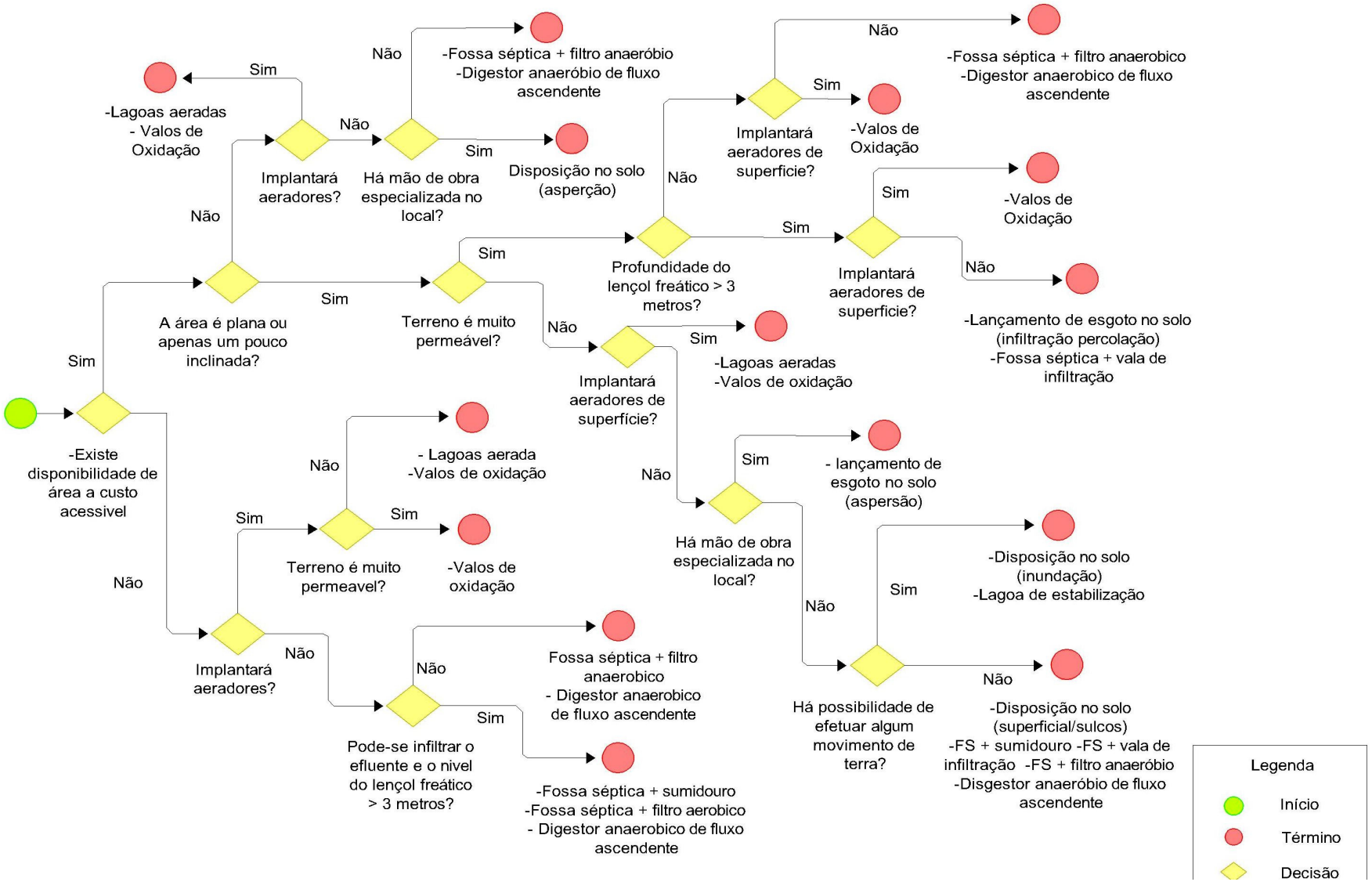
Fonte: IBGE (2008 apud HUNT, 2013).

Segundo Soares (2010 apud METCALF; EDDY, 1991) os autores definem diversas variáveis para uma boa escolha de um sistema de esgotamento sanitário adequado, sendo a do custo de implantação e manutenção a questão mais considerada por eles.

Utilizando um fluxograma, a CETESB (1988) traz uma metodologia para escolha de um sistema de tratamento, com enumeração de perguntas que direcionam as alternativas de escolha para a melhor opção do cenário vivenciado.

O fluxograma enfoca a disponibilidade da área a custo acessível, a topografia do terreno, as características do solo no ponto, a condição da mão de obra especializada local, dentre outros, como demonstra a figura 31.

Figura 31: Fluxograma para seleção de sistemas de tratamento de esgotos



Fonte: CETESB (1988 apud HUNT, 2013).

1.7 Fatores Consideráveis para Escolha do Tipo de Sistema

Diversos autores propuseram conjuntos de fatores consideráveis para a escolha de um sistema de esgotamento sanitário, existindo em muitos casos concordância sobre alguns deles. É importante lembrar que o nível de desenvolvimento do país influencia na relevância de certos fatores em relação a outros (OLIVEIRA, 2004).

O mesmo autor cita algumas variáveis importantes sugeridas por diversos autores que devem compor os principais fatores necessários à indicação do sistema adequado de tratamento de esgoto:

a) Características do local

Este item é composto pelas características do solo, como topografia, permeabilidade e profundidade do lençol freático.

b) Características do efluente

Deverá ser feita a caracterização dos efluentes, demonstrando suas características físicas, químicas e biológicas por meio de análises laboratoriais.

c) Custo do terreno

Deverá ser avaliado o custo do terreno que atenda as necessidades do tipo de tratamento a ser implantado.

d) Custo de construção

Envolve todos os custos incluídos na construção da obra, desde projetos, serviços iniciais, pagamento de honorários de colaboradores, taxas, etc.

e) Custo de manutenção e operação

São vários os custos a serem considerados nos sistemas de tratamento como, aluguéis de equipamento, análises laboratoriais dos efluentes, identificação da necessidade de mão de obra qualificada, entre outros.

f) Disponibilidade de terreno

Análise da facilidade ou dificuldade de se utilizar áreas para o sistema de tratamento, observando principalmente o custo e as características do local.

g) População

População atual e a projeção populacional para o tempo de anos de funcionamento do sistema ou para anos esperados para o sistema de acordo com o crescimento da cidade.

h) Requisito de energia

Dependendo do sistema a ser empregado deverá ser verificado se a cidade possui fontes de energia com quantidade e confiabilidade necessária ao tratamento e o custo de energia relacionado ao consumo.

i) Requisitos de pessoal

Deve-se prever a necessidade de pessoal qualificado que satisfaça a necessidade do sistema de tratamento.

j) Vazão aplicável no processo

Deve-se prever a vazão no processo, pois há sistemas que necessitam de uma vazão determinada para um bom funcionamento.

1.8 Critério de Decisão de um Sistema de Esgotamento

A tomada de decisão quanto ao processo a ser escolhido para um sistema de esgotamento sanitário deve ser iniciada fundamentalmente de um balanceamento entre os critérios técnicos e econômicos. Se a decisão do aspecto econômico parecer simples, o mesmo pode não ocorrer quanto aos aspectos financeiros. Além do mais, os pontos técnicos muitas vezes podem não ser alcançados e a decisão final pode ir de acordo com o julgamento de cada pessoa. Para que seja conduzido a uma escolha adequada, critérios devem ser atribuídos a diversos aspectos, ligados essencialmente à realidade do foco (VON SPERLING, 2005).

O mesmo autor apresenta na figura 32 uma comparação entre aspectos de importância na seleção dos sistemas de tratamento estudados em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, a situação considerada crítica é a eficiência do tratamento, enquanto nos países em desenvolvimento a situação crítica é o custo de operação.

Figura 32: Aspectos críticos e importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgoto

Fonte: Von Sperling (2005).

Diante disto, Souza, Neto e Lopes (2001 apud HUNT, 2013) argumentam que quanto mais simples for o sistema de tratamento de esgoto, com o mínimo necessário de mão de obra especializada e menos mecanizado, menor é a probabilidade da não interrupção do funcionamento e o descumprimento dos objetivos para com a legislação ambiental, pois há muita dificuldade na cobrança de serviços de saneamento básico, principalmente em municípios de pequeno porte devido ao perfil socioeconômico das comunidades brasileiras.

Segundo a mesma autora, as soluções de tratamento ideal são as de funcionamento simples que utilizam os processos naturais e os reatores menos mecanizados e mais simples de serem operados. Sendo assim, a tabela 5 demonstra a seguir algumas tecnologias indicadas segundo alguns autores.

Tabela 5: Tecnologias indicadas para cidades de pequeno e médio porte

Tecnologias de tratamento de esgoto	METCALF e EDDY (2003)	ANDRADE NETO (1997)	SPERLING (2005)	JORDÃO e VOLSCHAN (2009)
Tanque séptico	x	x	x	x
Filtros anaeróbios	x	x	x	x
RAFAALL	x	x	x	x
Lagoas de estabilização	x	x	x	
Disposição no solo	x	x	x	
Terras úmidas construídas	x	x	x	
Lodos ativados	x		x[2]	x[2]
Filtro biológico	x		x	x
Biodiscos	x		x	
Biofiltro aerado submerso	x		x	x
Rotor biológico de contato				x

Fonte: Hunt (2013).

Os sistemas de tratamento individuais apresentam vantagens técnicas e econômicas, porém antes da sua escolha deve-se levar em conta a análise da evolução do adensamento populacional, do espaço disponível, dos tipos de edificações e da capacidade operacional da população. Por outro lado, os sistemas de esgotamento sanitário coletivos são mais complexos, necessitando-se de redes coletoras e sistemas públicos de tratamento de esgotos, onde seu custo de implantação pode ser estimado (COSTA, 2010 apud GOMES; HARADA, 1997):

- rede coletora: 75% dos custos totais;
- coletores tronco: 10% dos custos totais;
- elevatórias: 1% dos custos totais;
- estações de tratamento: 14% dos custos totais.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho é uma pesquisa aplicada para a escolha de um sistema de esgotamento sanitário que se adapte melhor às condições de um município de pequeno porte.

2.1 Estrutura da Pesquisa

A pesquisa para escolha de um sistema de esgotamento sanitário é adaptada na metodologia de Von Sperling (2005) e Pacheco (2011), onde se comparam as seguintes informações das tecnologias (HUNT, 2013):

- eficiência na remoção de poluentes, DBO, SS, amônia, nitrogênio total, fósforo total, coliformes fecais e ovos helmintos;
- características dos principais sistemas de tratamento de esgotos, expressos em valores per capita (demanda de área, custo de implantação e custos de operação e manutenção);
- comparação entre os sistemas de tratamento de esgoto, abordando diversos aspectos de relevância (eficiência, economia e processo);
- custo de implantação das redes coletoras de esgotos.

As alternativas estudadas nesta pesquisa são as contempladas no item 1.5:

- fossa séptica;
- lagoas de estabilização;
- reator UASB;
- lodos ativados.

Para um melhor desenvolvimento do estudo a pesquisa foi desenvolvida em fases:

1. analisar os custos das tecnologias;
2. comparar os parâmetros;
3. definir o tratamento.

I. Analisar os custos das tecnologias

Para se estimar os custos de implantação final de um sistema de esgotamento sanitário foram calculados os custos de implantação + o custo do terreno + o custo de operação e manutenção.

Através da tabela 6, desenvolvida por Von Sperling (2005), foi realizado um estudo comparativo do custo total para as opções de tratamento.

Tabela 6: Características dos principais tipos de tratamento expressos em valores

Sistemas	Demanda de área (m²/hab.)	Custos	
		Implantação (R$/hab.)	Operação e manutenção (R$/hab.ano)
Lagoa facultativa	2,0-4,0	40-80	2,0-4,0
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	1,5-3,0	30-75	2,0-4,0
Lagoa aerada facultativa	0,25-0,50	50-90	5,0-9,0
Lagoa aerada mistura completa – lagoa sedimentação	0,2-0,4	50-90	5,0-9,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	0,2-0,4	50-90	5,0-9,0
Tanque séptico + filtro anaeróbio	0,2-0,35	80-130	6,0-10
Tanque séptico + infiltração	1,0-1,5	60-100	3,0-5,0
Reator UASB + filtro anaeróbio	0,05-0,15	45-70	3,5-5,5
Reator UASB + lagoa aerada facultativa	0,15-0,3	40-90	5,0-9,0
Lodos ativados convencionais	0,12-0,25	100-160	10-20
Lodos ativados – aeração prolongada	0,12-0,25	90-120	10-20
Lodos ativados – batelada	0,12-0,25	90-120	10-20

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

II. Analisar os parâmetros de custo

Após efetuar a análise dos custos das tecnologias foi criada uma planilha eletrônica onde se colocou os seguintes dados:

a) população futura: o número de habitantes atual e futuro; definido o período pelo usuário; assim determinado o tamanho da estação e os seus custos de implantação de operação e manutenção, e a demanda por área;

b) o valor do metro quadrado do terreno.

III. Analisar os parâmetros de remoção de poluentes

Após levar em conta os custos de implantação de uma ETE foi feita a análise da tecnologia de tratamento (tabela 7).

Tabela 7: Eficiência de remoção dos principais poluentes de interesse

Sistemas	Eficiência média de remoção					
	DBO (%)	DQO (%)	SS (%)	Amônia (%)	N total (%)	P total (%)
Lagoa facultativa	75-85	65-80	70-80	< 50	< 60	< 35
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	75-85	65-80	70-80	< 50	< 60	< 35
Lagoa aerada facultativa	75-85	65-80	70-80	< 30	< 30	< 35
Lagoa aerada mistura completa – lagoa sedimentação	75-85	65-80	80-87	< 30	< 30	< 35
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	80-85	70-83	73-83	50-65	50-65	> 50
Tanque séptico + filtro anaeróbio	80-85	70-80	80-90	< 45	< 60	< 35
Tanque séptico + infiltração	90-98	85-95	> 93	> 65	> 65	> 50
Reator UASB + filtro anaeróbio	75-87	70-80	80-90	< 50	< 60	< 35
Reator UASB + lagoa aerada facultativa	75-85	65-80	70-80	< 30	< 30	< 35
Lodos ativados convencionais	85-93	80-90	87-93	> 80	< 60	< 35
Lodos ativados – aeração prolongada	90-97	83-93	87-93	> 80	< 60	< 35
Lodos ativados – batelada	90-97	83-93	87-93	> 80	< 60	< 35

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

IV. Custo de implantação do sistema de transporte de efluentes

Para verificar os custos de implantação das redes coletoras foi seguido o roteiro de cálculo proposto por Pacheco (2011).

No entanto, vale ressaltar que para os custos das redes foi tomado cuidado devido ao fato de existirem vários elementos particulares no seu dimensionamento, como tipo de solo, topografia e adensamento populacional.

a) Redes coletoras de esgotos

Na figura 33 entrou-se com a população de saturação da sub-bacia para determinar o DN (mm).

Figura 33: Distribuição da composição diametral da rede de transporte de efluentes

População	Diâmetros Nominais (mm)						
	150	200	250	350	500	800	1000
1 - 5.000	100%						
5.001 - 10.000	80,00%	20,00%					
10.001 - 20.000	72,73%	18,18%	9,09%				
20.001 - 50.000	69,57%	17,39%	8,70%	4,35%			
50.001 - 100.000	68,09%	17,02%	8,51%	4,26%	2,13%		
100.001 - 200.000	67,37%	16,84%	8,42%	4,21%	2,11%	1,05%	
200.001 - 500.000	67,02%	16,75%	8,38%	4,19%	2,09%	1,05%	0,52%

Fonte: Pacheco (2011).

Para se obter o custo da rede foi classificada a área a ser implantada em um dos cinco níveis apresentados na figura 34. O nível de declividade 1 representa o terreno com a maior declividade (favorável à rede) e o nível de declividade 5 representa o terreno mais plano (desfavorável à rede).

Para estimar a profundidade foi necessário classificar as redes em relação ao tipo de escoramento (figura 34), pois as profundidades dos tubos estão diretamente ligadas com a declividade do terreno.

Figura 34: Distribuição da composição do tipo de escoramento por nível de terreno

Nível de declividade	Sem Escoramento	Pontalete	Descontínuo	Contínuo	Especial	Metálico e Madeira
1	81%	5%	11%	3%		
2	66%	8%	16%	9%	1%	0%
3	57%	7%	16%	14%	5%	1%
4	48%	6%	15%	15%	11%	5%
5	23%	3%	18%	21%	20%	15%

Fonte: Pacheco (2011).

Desta forma, é possível obter diferentes custos para redes coletoras por tipo de escoramento, de acordo com o nível de declividade do terreno.

Através das tabelas das figuras 35, 36 e 37 foi selecionada a condição em que a área ou localidade da rede a ser implantada mais se encaixa. Assim escolhendo a matriz de resultados da rede coletora:

1. rede coletora com solo favorável e baixa urbanização;

Figura 35: Custo da RCE (R$) para solo favorável e baixa urbanização

Nível [1]	DN 150 mm (R$/m)	DN 200 mm (R$/m)	DN 250 mm (R$/m)	DN 300 mm (R$/m)	DN 350 mm (R$/m)
1	105,08	124,08	156,71	197,34	228,68
2	124,04	143,40	176,37	217,36	249,04
3	137,97	157,72	191,09	232,47	264,55
4	150,97	171,35	205,36	247,37	280,08
5	196,28	218,70	254,74	298,79	333,53

Fonte: Pacheco (2011).

2. rede coletora com solo desfavorável e baixa urbanização;

Figura 36: Custo da RCE (R$) para solo desfavorável e baixa urbanização

Nível [1]	DN 150 mm (R$/m)	DN 200 mm (R$/m)	DN 250 mm (R$/m)	DN 300 mm (R$/m)	DN 350 mm (R$/m)
1	129,68	150,75	185,44	228,15	261,56
2	152,17	173,77	209,01	252,26	286,22
3	170,53	192,77	228,65	272,54	307,14
4	190,97	214,24	251,13	296,04	331,66
5	256,89	283,08	322,90	370,73	409,28

Fonte: Pacheco (2011).

3. rede coletora com solo favorável e alta urbanização;

Figura 37: Custo da RCE (R$) para solo favorável e alta urbanização

Nível [1]	DN 150 mm (R$/m)	DN 200 mm (R$/m)	DN 250 mm (R$/m)	DN 300 mm (R$/m)	DN 350 mm (R$/m)
1	134,85	155,69	190,17	232,67	265,91
2	154,76	175,96	210,80	253,66	287,25
3	169,77	191,37	226,61	269,88	303,87
4	184,04	206,28	242,17	286,08	320,71
5	232,95	257,25	295,20	341,18	377,88

Fonte: Pacheco (2011).

4. rede coletora com solo desfavorável e alta urbanização.

Figura 38: Custo da RCE (R$) para solo desfavorável e alta urbanização

Nível [1]	DN 150 mm (R$/m)	DN 200 mm (R$/m)	DN 250 mm (R$/m)	DN 300 mm (R$/m)	DN 350 mm (R$/m)
1	166,67	190,45	227,94	273,53	309,91
2	190,68	215,05	253,13	299,31	336,29
3	210,87	235,94	274,72	321,60	359,28
4	233,90	260,10	300,01	348,01	386,81
5	307,03	336,39	379,47	430,65	472,62

Fonte: Pacheco (2011).

A extensão da rede coletora foi encontrada calculando-se a área da sub-bacia ou localidade de esgotamento e aplicado uma taxa de implantação de rede (180 a 240 m/ha).

b) Estações elevatórias de esgoto

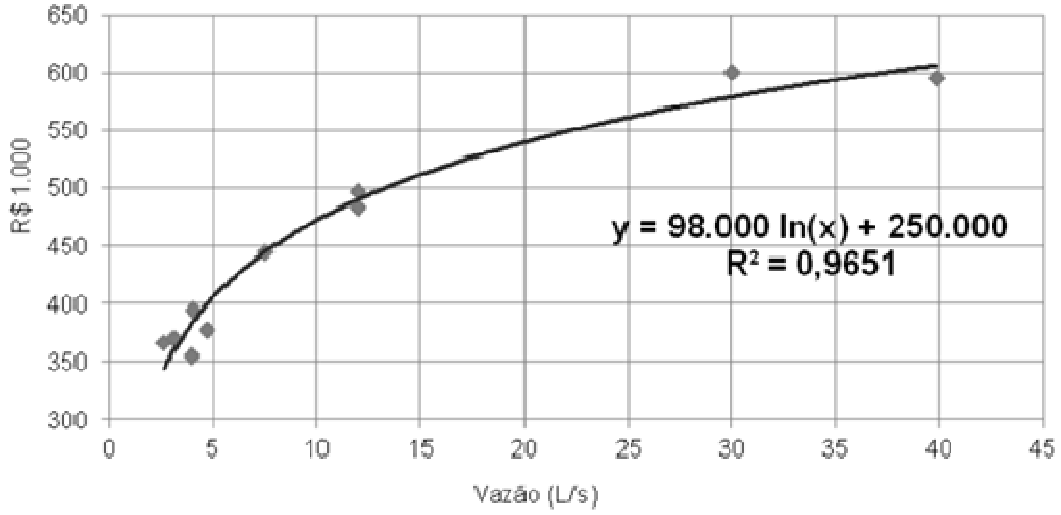
Para estimar a altura manométrica da linha de recalque foi analisada a tabela da figura 39, assim determinado a faixa da manométrica para a escolha da curva (figuras 40, 41 e 42).

Figura 39: Classificação das alturas manométricas para conjunto de bombas das EEEs

Altura Manométrica	Classificação
Até 15 m.c.a.	Baixa
De 15 a 30 m.c.a.	Média Baixa
De 30 a 45 m.c.a.	Média Alta
Maior que 45 m.c.a.	Alta

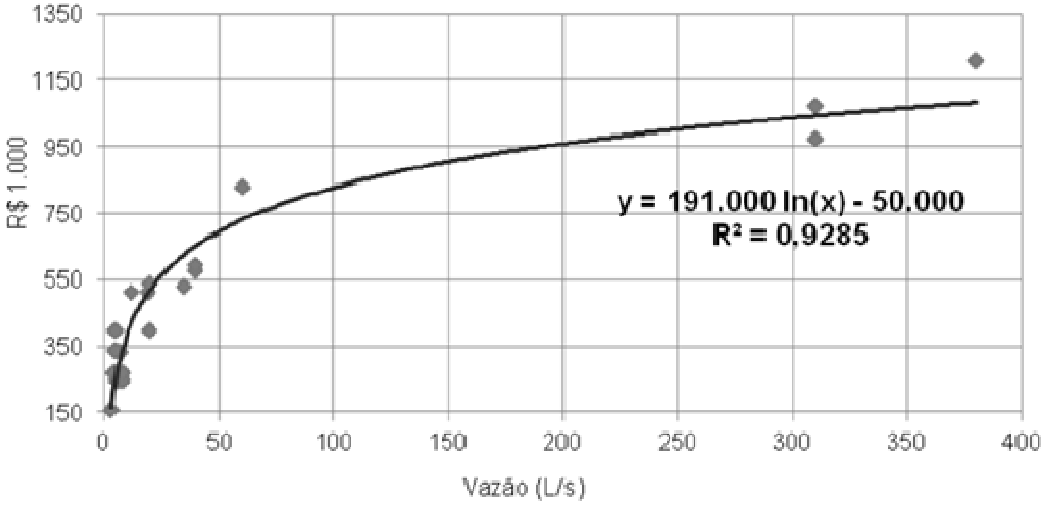
Fonte: Pacheco (2011).

Figura 40: Estações elevatórias de esgoto com Hman até 15 m.c.a



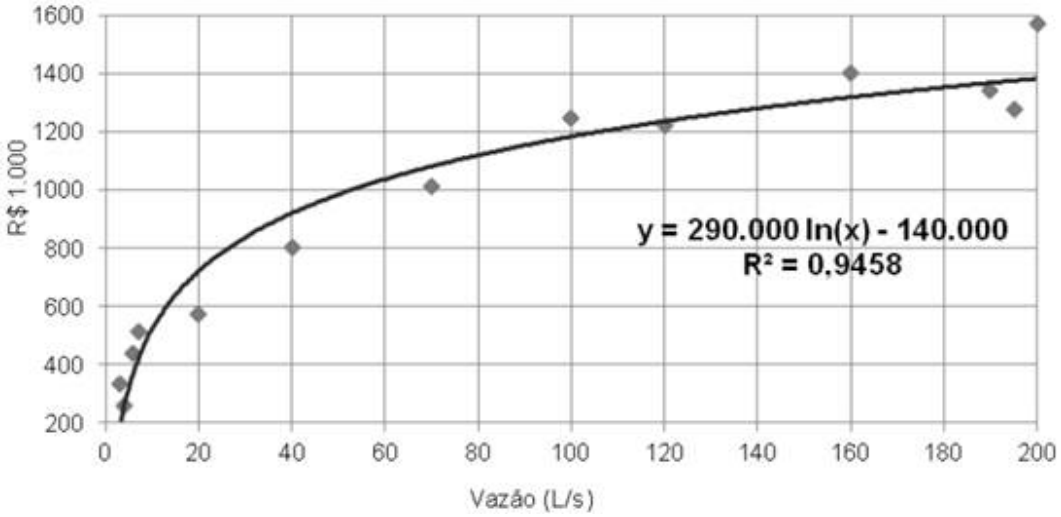
Fonte: Pacheco (2011).

Figura 41: Estações elevatórias de esgoto com Hman até 30 m.c.a



Fonte: Pacheco (2011).

Figura 42: Estações elevatórias de esgoto com Hman até 30 a 45 m.c.a



Fonte: Pacheco (2011).

Para se determinar o custo da estação elevatório de esgoto foi calculada a vazão média de esgoto demandada para a estação de tratamento através da fórmula abaixo (figura 43).

Figura 43: Fórmula da vazão doméstica média de esgoto

$$Q_{med} = \frac{P \times q \times C}{86.400}$$

P = População atendida
q = Quota per capita de água (150 L/hab.d)
C = Coeficiente de retorno. Norma brasileira sugere 0,8
Fonte: Von Sperling (2005).

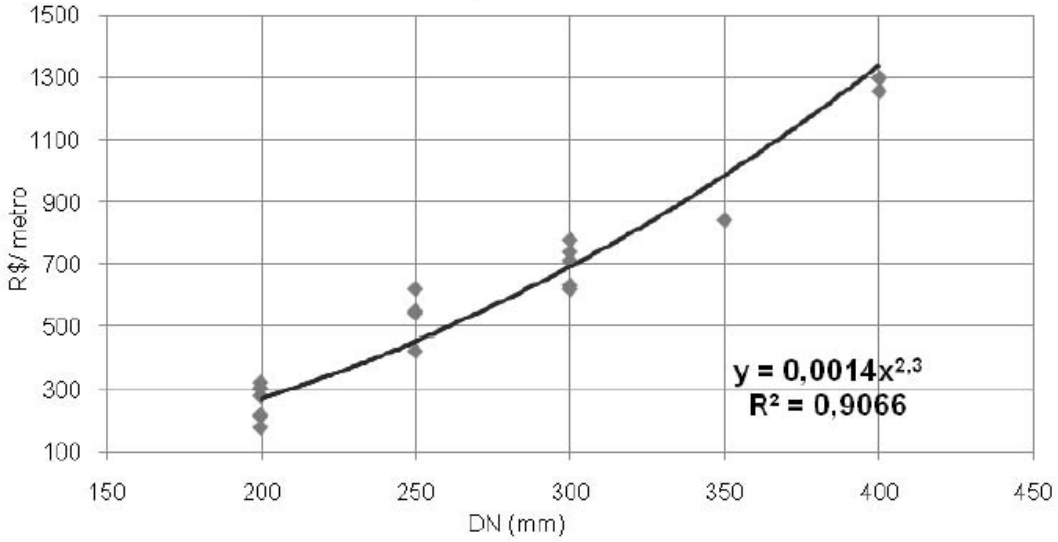
c) Custo de implantação dos coletores troncos e interceptores

Segundo Pacheco (2011) os custos para coletores troncos e interceptores não foram filtrados de acordo com os diferentes graus de urbanização e tipos diferentes de solos, porque, quando eles ocorrerem, devem ser tratados como particularidades locais da obra.

Então, para se determinar o custo final destas obras lineares foi necessário estimar a extensão necessária, de acordo com o estudo de concepção ou alternativas de projetos avaliados.

Os custos dos coletores e interceptores por faixa de diâmetro nominal estão representados na figura 44.

Figura 44: Curva de custo para coletores tronco e interceptores – DN 200 a 400 mm



Fonte: Pacheco (2011).

2.2 Coleta de Dados

A coleta de dados foi feita de duas maneiras através de pesquisas bibliográficas e pesquisa exploratória.

A pesquisa bibliográfica foi visada sobre os sistemas de tratamento utilizados no modelo, enfocando a qualidade do tratamento a ser empregado, os custos de implantação, operação e manutenção do sistema. Sendo a pesquisa exploratória necessária para a complementação dos dados não disponíveis em literatura.

Para um melhor desenvolvimento do estudo foi necessário o recolhimento dos seguintes dados:

- vazão média de afluente de esgoto;
- locais para implantação do sistema;
- níveis de tratamento dos sistemas de esgotamento utilizados no modelo;
- custos de implantação dos sistemas de esgotamento utilizados no modelo;
- custos de operação e manutenção.

2.3 Estudo de Caso

O estudo foi realizado no município de Ajuricaba – RS, situado na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, com uma área de 323 km², segundo censo de 2010 (IBGE, 2013).

O clima é classificado como subtropical, com uma temperatura média no mês mais frio compreendida entre 3ºC e 18ºC e temperaturas do mês mais quente superiores a 30ºC.

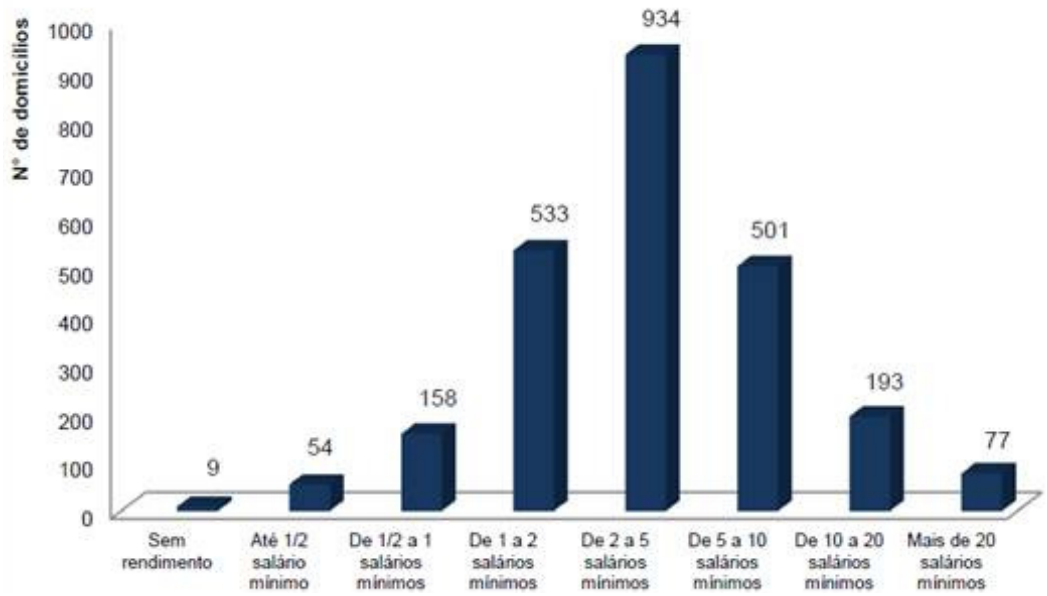
Segundo o censo de 2010 (IBGE, 2013) o município possui uma população de 7.225 habitantes distribuídos da seguinte forma:

- população urbana: 4.109 habitantes;
- população rural: 3.146 habitantes.

A densidade demográfica do município é de 22,44 hab./km² (IBGE, 2013), índice este superior encontrado para o Brasil que é de 21 hab./km².

O perfil econômico do município está representado na figura 45 com base no censo de 2010 (IBGE, 2013). Pode-se observar que a renda média dos domicílios é de dois a cinco salários mínimos, sendo superior a renda real dos domicílios do Brasil que foi estimada em R$ 950,00 em 2010.

Figura 45: Perfil socioeconômico do município de Ajuricaba



Fonte: Ajuricaba (2013).

Na tabela 8 apresentam-se os dados referentes ao acesso dos domicílios aos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

Tabela 8: Serviços de saneamento básico no município de Ajuricaba

Abastecimento de Água		
Domicílios Particulares	**Destino**	**N° de domicílios**
Abastecimento de água	Total	2.301
Forma de abastecimento	Rede geral de distribuição	2.076
	Poço ou nascente na propriedade	214
	Carro-pipa	-
	Água da chuva armazenada em cisterna	-
	Água da chuva armazenada de outra forma	-
	Outra	11
Esgotamento Sanitário		
Domicílios Particulares	**Destino**	**N° de domicílios**
Possui banheiro	Total	2.431
	Rede geral de esgoto ou pluvial	10
	Fossa séptica	425
	Fossa rudimentar	1.955
	Vala	30
	Rio, lago ou mar	01
	Outros	10
Possui sanitário	Total	19
	Rede geral de esgoto ou pluvial	-
	Fossa séptica	-
	Fossa rudimentar	14
	Vala	02
	Rio, lago ou mar	-
	Outros	03
Não tinham nem banheiro nem sanitário	-	06

Fonte: Ajuricaba (2013).

Através da tabela 9 verificou-se que a população do município tende a decrescer a uma taxa de 0,61% no período de 2013 a 2033. Contudo, a tendência é que futuramente a concentração da população seja maior na área urbana, ao contrário do que se verifica atualmente.

Tabela 9: Projeção populacional até 2033 para Ajuricaba

Ano	População urbana projetada (habitantes)	População rural projetada (habitantes)	População total projetada (habitantes)
2013	4.034	3.090	7.124
2014	4.009	3.072	7.081
2015	3.985	3.053	7.038
2016	3.961	3.034	6.996
2017	3.937	3.016	6.953
2018	3.913	2.998	6.911
2019	3.890	2.980	6.869
2020	3.866	2.962	6.828
2021	3.843	2.944	6.786
2022	3.819	2.926	6.745
2023	3.796	2.908	6.705
2024	3.773	2.891	6.664
2025	3.751	2.873	6.624
2026	3.728	2.856	6.584
2027	3.705	2.838	6.544
2028	3.683	2.821	6.504
2029	3.661	2.804	6.465
2030	3.638	2.787	6.426
2031	3.616	2.770	6.387
2032	3.594	2.754	6.348
2033	3.573	2.737	6.310

Fonte: Ajuricaba (2013).

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O intuído do estudo foi com base nas informações recolhidas verificar a sustentabilidade financeira e mesmo a viabilidade econômica de um projeto de implantação de saneamento básico que visa atender os preceitos legais para tratamento de esgotos.

As informações levantadas no trabalho foram segundo explicitado na referida metodologia, através de aplicação de roteiro de entrevista e de pesquisa aplicada.

3.1 Aplicação do Fluxograma de Seleção de Sistemas de Tratamento de Esgotos

Neste item são apresentados os resultados encontrados através da aplicação do fluxograma de seleção de sistemas de tratamento de esgoto.

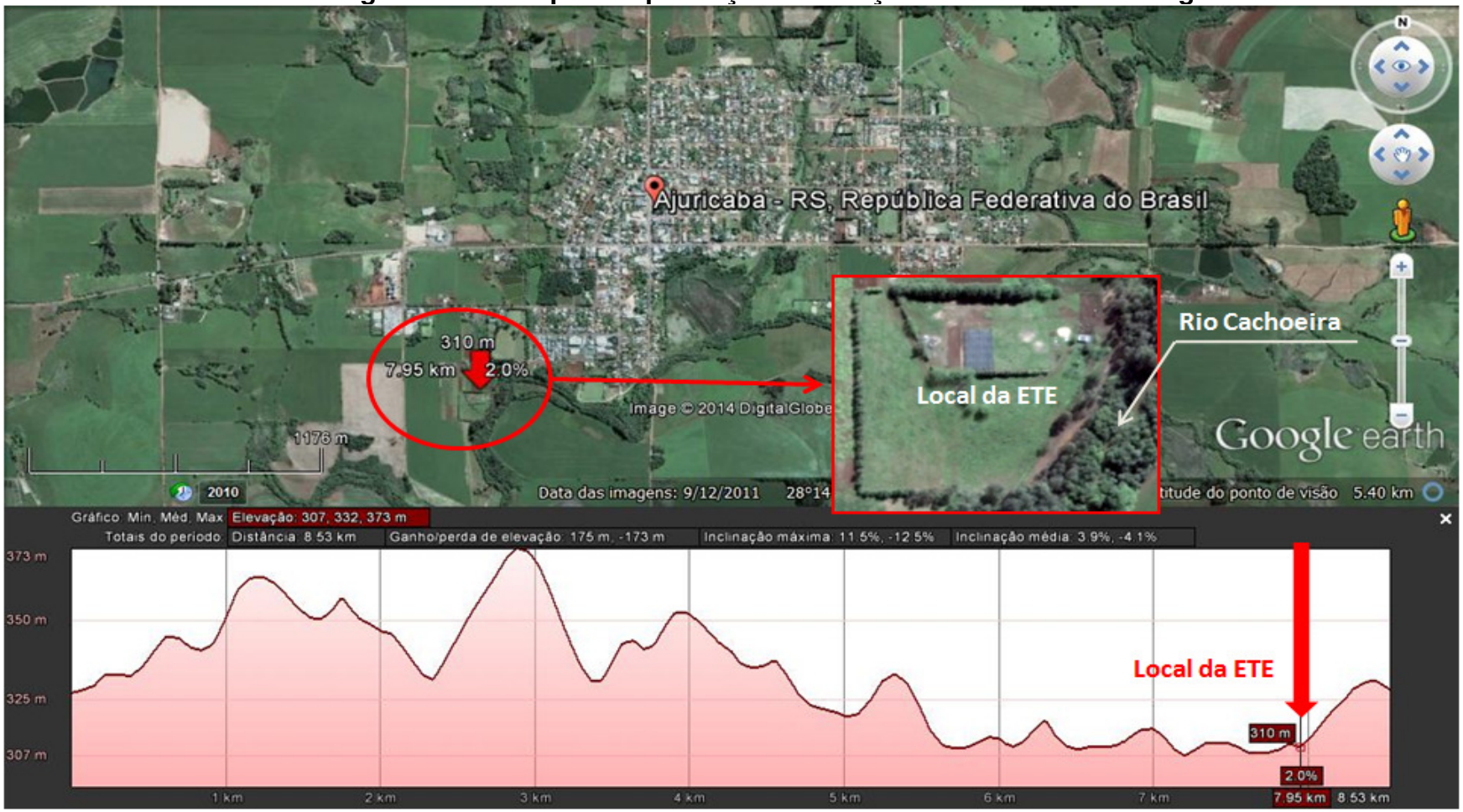
3.1.1 Disponibilidade e custo de área para implantação do sistema de tratamento de esgoto

Segundo Jordão e Pessoa (2011) a localização da estação de tratamento pode-se constituir muitas vezes em um problema para o planejador, pois a aspectos a serem considerados, como: odores, ruídos e geração de tráfego, devendo assim ter uma atenção especial para as áreas vizinhas ou próximas.

A figura 46 apresenta o local para implantação da estação de tratamento de esgoto.

Através de uma pesquisa no mercado imobiliária no Município de Ajuricaba-RS, obteve-se a estimativa no valor de R$ 60,00 (sessenta reais) o metro quadrado do terreno para implantação da estação de tratamento de esgoto.

Figura 46: Local para implantação da estação de tratamento de esgoto



Fonte: Adaptado de Google (2014).

Através do Google Earth (2014) foi possível averiguar um espaço físico perto da área urbana, um local favorável e disponível, beneficiado pela topografia e distante de edificações.

3.1.2 Declividade do terreno

O estudo do local para a implantação teve por finalidade identificar a região com disponíveis critérios para movimentação de solos (corte e aterro) e ambiente de acesso de equipamentos e veículos e com uma baixa declividade do terreno.

Como demonstra a figura 46 pode-se observar a identificação da região de implantação da ETE, como sendo a de cota mais baixa da área urbana, com uma elevação de 310 m em relação ao nível do mar e abaixo de todas as cotas das edificações da cidade e com uma declividade média do terreno de 2% (figura 47). Assim contribuindo para uma fácil instalação de uma ETE e um bom funcionamento da rede coletora por gravidade.

Figura 47: Cotas de altitude do terreno

Fonte: Adaptado de Google (2014).

3.1.3 Permeabilidade do solo

Segundo ensaios realizados por Pereira e Schoffl (2012) o solo do município de Ajuricaba é classificado como areia ou silte argiloso, ou solo arenoso, e possui um coeficiente de permeabilidade de 65 L/m².dia.

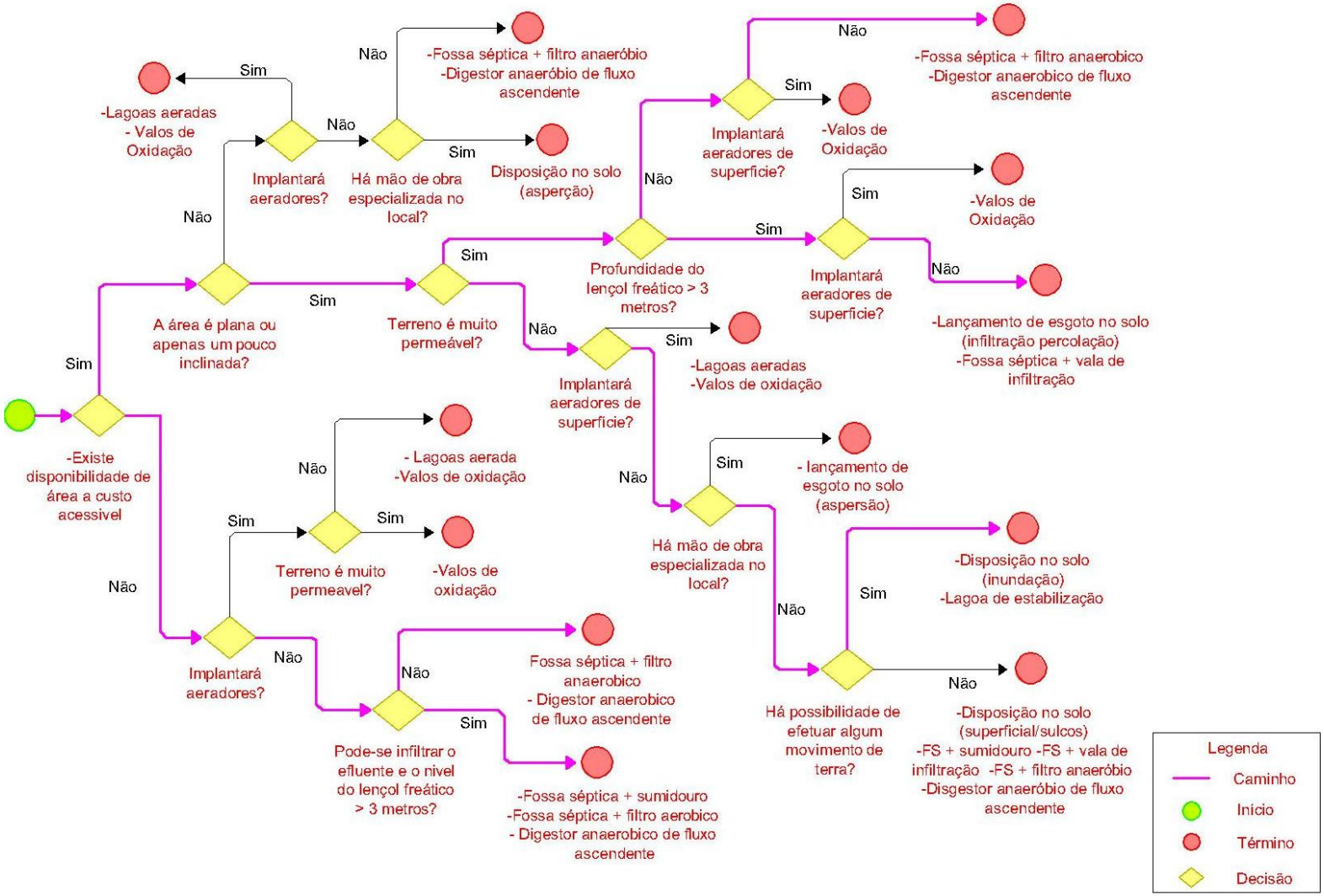
Assim sendo, uma região com um solo muito permeável, fato esse classificado como faixa 4 (ABNT, 1993).

3.1.4 Pré-seleção das alternativas

Com base nos dados recolhidos no estudo foram encontrados possíveis resultados no fluxograma da CETESB (1988), entre as opções de tratamento estudadas neste trabalho.

A figura 48 demonstra os caminhos seguidos para chegar a cada sistema de tratamento de esgotos.

Figura 48: Fluxograma da seleção dos sistemas de tratamento de esgotos



Fonte: Adaptado de CETESB (1988 apud HUNT, 2013).

Esta pré-seleção consiste em um procedimento de exclusão das alternativas que não atenderam aos requisitos do fluxograma.

A tabela 10 demonstra as alternativas selecionadas no fluxograma.

Tabela 10: Sistemas selecionados no fluxograma

Itens	Sistema
1	Fossa séptica + infiltração
2	Fossa séptica + filtro anaeróbio
3	Lagoa facultativa
4	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa
5	Lagoa aerada facultativa
6	Reator UASB + filtro anaeróbio
7	Reator UASB + lagoa aerada facultativa

Estes sistemas selecionados pelo fluxograma foram comparados entre si, utilizando alguns critérios, para assim encontrar a melhor alternativa técnica e econômica.

3.2 Avaliação da Situação Financeira para Implantação de uma ETE

Com base nos dados de custo adaptados de Von Sperling (2005) realizou-se um estudo comparativo de custo total por habitantes das tecnologias e o custo de operação e manutenção.

De acordo com uma pesquisa exploratória feito no setor imobiliário do município de Ajuricaba foi chegado ao custo do metro quadrado do terreno para possível implantação da ETE. Assim, os custos relacionados ao tratamento de esgoto de uma ETE foram divididos da seguinte forma:

- custo de implantação e manutenção do sistema;
- custo do terreno.

3.2.1 Avaliação de custos de implantação e manutenção

A tabela 11 apresenta os custos de implantação, operação e manutenção das alternativas selecionadas no estudo.

A população adotada para cálculo de projeto a fim de obter o custo de implantação, operação e manutenção dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário foi a população atual residente na área urbana: 4.034 habitantes.

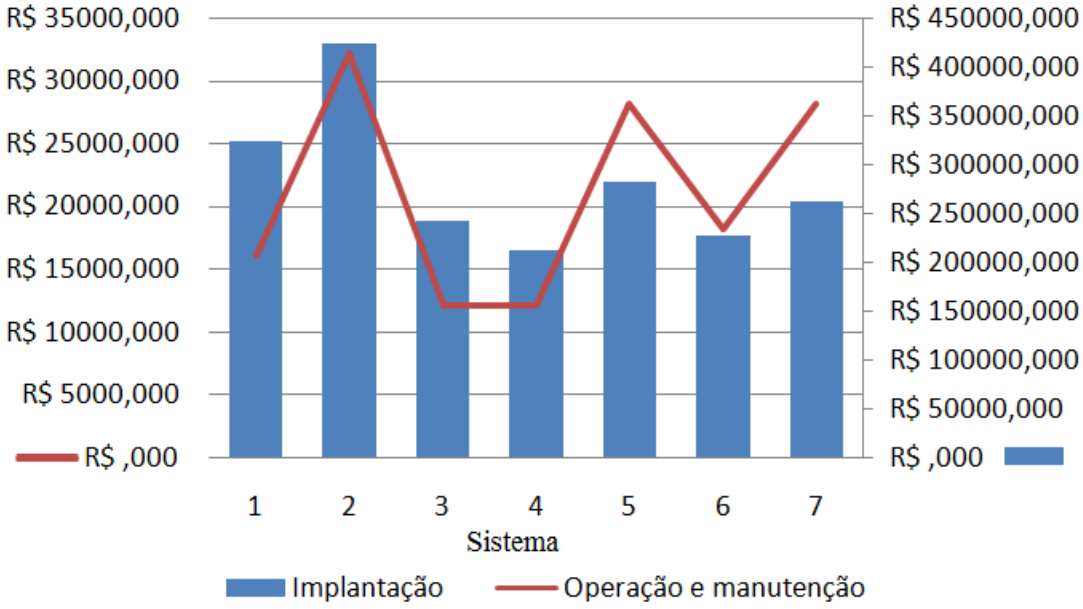
Tabela 11: Custo de instalação e operação dos sistemas de tratamento de esgoto

Item	Sistema	Habitantes	Implantação	Operação e manutenção (R$ ano)
1	Fossa séptica + infiltração	4.034	R$ 322.720,00	R$ 16.136,00
2	Fossa séptica + filtro anaeróbio	4.034	R$ 423.570,00	R$ 32.272,00
3	Lagoa facultativa	4.034	R$ 242.040,00	R$ 12.102,00
4	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	4.034	R$ 211.785,00	R$ 12.102,00
5	Lagoa aerada facultativa	4.034	R$ 282.380,00	R$ 28.238,00
6	Reator UASB + filtro anaeróbio	4.034	R$ 225.904,00	R$ 18.153,00
7	Reator UASB + lagoa aerada facultativa	4.034	R$ 262.210,00	R$ 28.238,00

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Analisando a tabela 11 verifica-se que o sistema 4 é a opção menos onerosa entre os sistemas selecionados.

Figura 48: Custo de instalação e manutenção dos sistemas



Quanto à implantação, a figura demonstra que os sistemas 1 e 2 representam a situação de valor mais elevado de implantação. Se opondo com uma grande diferença ao sistema 4.

Como se observa na figura 48, a operação e manutenção anual dos sistemas tem uma grande oscilação entre as opções de tratamento de esgotos, sendo as opções 3 e 4 as mais vantajosas.

3.2.2 Avaliação do custo da demanda de área

A tabela 12 apresenta a população adotada para cálculo de projeto, a fim de obter a demanda de área exigida pelas alternativas selecionadas e o custo do terreno.

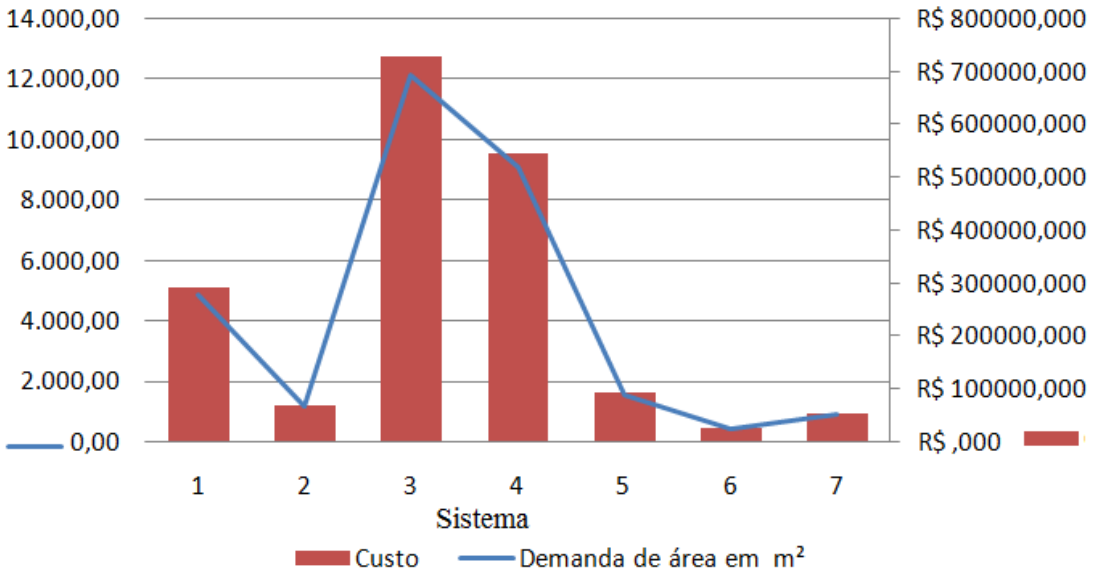
Tabela 12: Demanda de área e custo do terreno

Item	Sistema	Hab.	Demanda de área (m²)	Custo terreno
1	Fossa séptica + infiltração	4.034	4.840,80	R$ 290.448,00
2	Fossa séptica + filtro anaeróbio	4.034	1.129,52	R$ 67.771,20
3	Lagoa facultativa	4.034	12.102,00	R$ 726.120,00
4	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	4.034	9.076,50	R$ 544.590,00
5	Lagoa aerada facultativa	4.034	1.532,92	R$ 91.975,20
6	Reator UASB + filtro anaeróbio	4.034	403,40	R$ 24.204,00
7	Reator UASB + lagoa aerada facultativa	4.034	887,48	R$ 53.248,80

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Analisando a tabela 12 é possível perceber a grande demanda média de área para alguns sistemas e a enorme disparidade de custo do terreno.

Figura 49: Demanda de área e custo



Na figura 49 é possível notar que as alternativas 3 e 4 apresentam a maior demanda de área e as alternativas 2, 6 e 7 a menor demanda de área. Fato esse que reduz consideravelmente alguns custos de implantação de tratamento de esgoto sanitário e também aumenta consideravelmente o custo de outros sistemas de tratamento de esgoto.

3.2.3 Análise dos custos

A tabela 13 apresenta um resumo comparativo dos custos médios de implantação, manutenção e área necessária, adaptados da literatura, entre as alternativas estudadas, considerando os critérios expostos anteriormente.

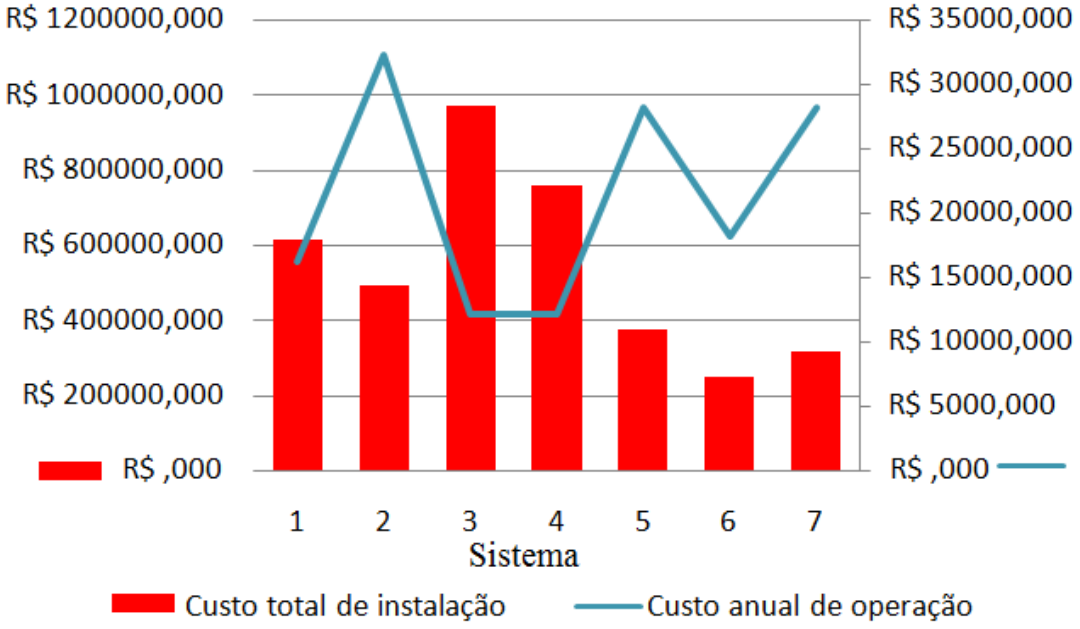
Tabela 13: Resumo comparativo de custo entre os sistemas estudados

Item	Sistema	Habitantes	Demanda de área (m²)	R$ Área	R$ Implantação	Operação e manutenção (R$ ano)	Custo total de instalação (área + implantação)
1	Fossa séptica + infiltração	4.034	4.840,80	R$ 290.448,00	R$ 322.720,00	R$ 16.136,00	R$ 613.168,00
2	Fossa séptica + filtro anaeróbio	4.034	1.129,52	R$ 67.771,20	R$ 423.570,00	R$ 32.272,00	R$ 491.341,20
3	Lagoa facultativa	4.034	12.102,00	R$ 726.120,00	R$ 242.040,00	R$ 12.102,00	R$ 968.160,00
4	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	4.034	9.076,50	R$ 544.590,00	R$ 211.785,00	R$ 12.102,00	R$ 756.375,00
5	Lagoa aerada facultativa	4.034	1.532,92	R$ 91.975,20	R$ 282.380,00	R$ 28.238,00	R$ 374.355,20
6	**Reator UASB + filtro anaeróbio**	**4.034**	**403,40**	**R$ 24.204,00**	**R$ 225.904,00**	**R$ 18.153,00**	**R$ 250.108,00**
7	Reator UASB + lagoa aerada facultativa	4.034	887,48	R$ 53.248,80	R$ 262.210,00	R$ 28.238,00	R$ 315.458,80

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Verificando os resultados obtidos na tabela 13 e posto na figura 50, pode-se observar que as tecnologias que apresentam maior custo de instalação possuem menor custo de operação e manutenção anual.

Figura 50: Custo total de instalação x custo de operação



Conforme a figura 50 é possível perceber que o sistema 6 (Reator UASB + filtro anaeróbio) é a opção menos onerosa de custo para implantação entre as alternativas selecionadas, com um custo de operação e manutenção central.

3.2.4 Avaliação da remoção dos principais poluentes

Na tabela 14 são apresentados os níveis de tratamento dos sistemas selecionados, relacionado à eficiência de remoção de poluentes. Desta forma é possível determinar se a tecnologia escolhida compreende um bom tratamento em relação às demais.

Tabela 14: Eficiência de remoção dos principais poluentes de interesse

Sistemas	Eficiência média de remoção					
	DBO (%)	DQO (%)	SS (%)	Amônia (%)	N total (%)	P total (%)
Lagoa facultativa	75-85	65-80	70-80	< 50	< 60	< 35
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	75-85	65-80	70-80	< 50	< 60	< 35
Lagoa aerada facultativa	75-85	65-80	70-80	< 30	< 30	< 35
Fossa séptica + filtro anaeróbio	80-85	70-80	80-90	< 45	< 60	< 35
Fossa séptica + infiltração	90-98	85-95	> 93	> 65	> 65	> 50
Reator UASB + filtro anaeróbio	**75-87**	**70-80**	**80-90**	**< 50**	**< 60**	**< 35**
Reator UASB + lagoa aerada facultativa	75-85	65-80	70-80	< 30	< 30	< 35

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Examinando a tabela 14 pode-se perceber que a diferença da porcentagem na remoção dos poluentes encontrados nos esgotos domésticos entre um sistema de tratamento e outro não é de grande contraste. Isso indica que o sistema de tratamento escolhido é eficaz para remover os poluentes encontrados nos esgotos domésticos.

Como se observa, segundo a metodologia utilizada, os números demonstram que o reator UASB + filtro anaeróbio representam uma alternativa compatível, passível de aplicação no estudo de caso, garantindo requisitos técnicos e econômicos.

3.3 Custo de Implantação das Redes Coletoras de Esgoto

Para obtenção dos custos de implantação dos sistemas de escoamento dos esgotos foi levado em consideração a população atual na área urbana: 4.034 habitantes. E utilizado os critérios desenvolvidos por Pacheco (2011), como demonstrados no item IV da metodologia.

a) Redes coletoras de esgotos

- Diâmetro nominal das redes de transporte de efluente

Através da figura 33 e com o número da população em estudo foi chegado ao diâmetro nominal das redes: 150 mm.

- Extensão das redes de transportes de efluentes

Para encontrar a extensão das redes coletoras foi utilizado o critério de Pacheco (2011), onde se aplica uma taxa de implantação da rede de 180 a 240 m/ha (tabela 15).

Tabela 15: Extensão das redes coletoras

Área urbana (ha)	Extensão (m/ha)	Total da extensão (m)
154	180 a 240	27.720 a 36.960

- Custo das redes de transportes de efluentes

O grau de urbanização também é um fator que pode ter influência direta nos custos das redes, ou seja, quanto mais urbanizada é a área de implantação (ou sub-bacia), maior é a chance de encontrar interferências, tais como: redes de distribuição de água, redes de drenagem, redes elétrica e telefônica e travessias (de córregos, rodovias e ferrovias) entre outros casos particulares, além dos custos adicionais de recomposição de calçadas e asfalto (PACHECO, 2011).

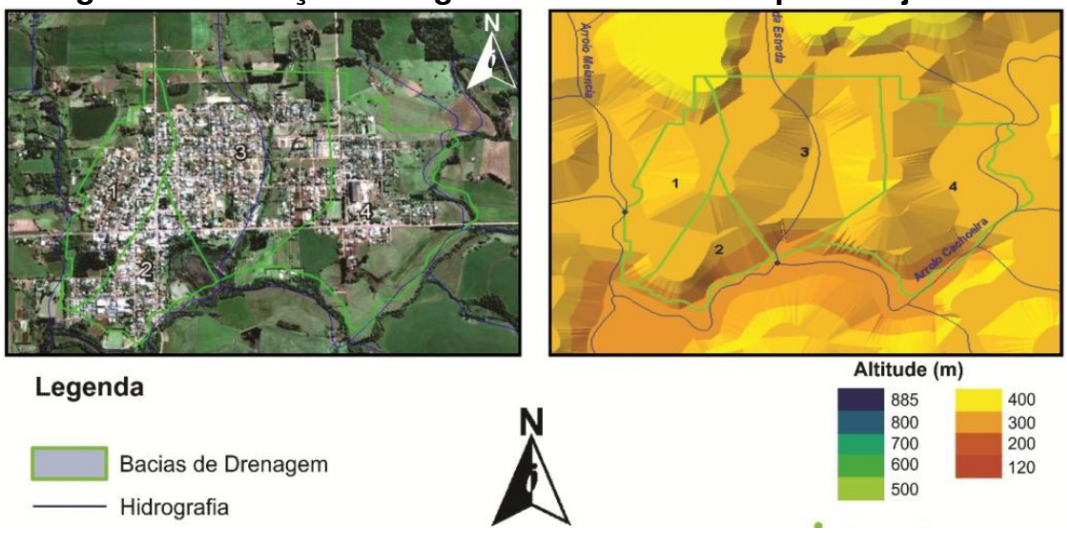
Outro fator determinante é o tipo do solo onde as redes serão implantadas. Para diferentes tipos de solo existem diferentes tecnologias de execução que possuem influência direta nos custos (PACHECO, 2011).

Para chegar ao custo do metro das redes coletoras de esgoto foi utilizada a figura 35, que considera para área solo favorável e baixa urbanização, como é o caso de Ajuricaba.

Ainda para se obter o custo das redes foi necessário classificar o nível de declividade do terreno do município de Ajuricaba, seguindo os dados da figura 34.

Como demonstra a figura 51, a área urbana do município de Ajuricaba apresenta um terreno com declividade que pode ser considerada favorável para as redes, pois possui uma boa elevação para implantação de bacias e sub-bacias de recolhimento de esgoto. Assim, para o cálculo de custo foi utilizado o nível de declividade 2 (figura 34).

Figura 51: Elevação da região urbana do município de Ajuricaba



Fonte: Ajuricaba (2013).

Com os dados necessários recolhidos, o resultado final para o custo do metro da rede coletora de esgoto foi de R$ 124,04 (figura 52).

Figura 52: Custo do metro de rede coletora de esgoto

Nível [1]	DN 150 mm (R$/m)	DN 200 mm (R$/m)	DN 250 mm (R$/m)	DN 300 mm (R$/m)	DN 350 mm (R$/m)
1	105,08	124,08	156,71	197,34	228,68
2	124,04	143,40	176,37	217,36	249,04
3	137,97	157,72	191,09	232,47	264,55
4	150,97	171,35	205,36	247,37	280,08
5	196,28	218,70	254,74	298,79	333,53

Fonte: Adaptado de Pacheco (2011).

Assim, com a metragem necessária de rede coletora encontrada na tabela 15 e o custo do metro linear encontrado na figura 52 podemos chegar a um custo total de instalação das redes (tabela 16).

Tabela 16: Custo de implantação das redes de transportes de efluentes

Extensão total das redes	Custo do metro	Total
27.720 a 36.960	124,04	3.438.388,80 a 4.584.518,40

b) Estações elevatórias de esgoto

Outro critério proposto por Pacheco (2011) é calcular ou estimar a altura manométrica da linha de recalque, proposto no item B do anexo IV da metodologia.

Como demonstrado nas figuras 46 e 51 percebe-se que a área urbana não necessita de estação elevatória de esgoto, devido a sua declividade que favorece ao escoamento por gravidade do esgoto.

c) Coletores troncos e interceptores

Através da figura 33 encontrou-se o diâmetro necessário para os coletores troncos e interceptores: 150 mm. Como o estudo proposto por Pacheco (2011) possui curva de custo para coletores troncos e interceptores a partir de 200 mm foi adotada a bitola de 200 mm para o cálculo. Assim, com a curva de custo da figura 44 chegou-se ao valor de R$ 300,00 por metro linear de tubulação.

Segundo Pacheco (2011) para se determinar o custo final destas obras lineares é necessário estimar a extensão necessária de acordo com um estudo de concepção ou alternativas de projetos a serem avaliadas.

Para chegar ao comprimento final destas tubulações no município de Ajuricaba foi levado em consideração o comprimento das ruas de Norte a Sul e a distância da estação de tratamento ao centro da cidade. Definindo assim um comprimento total de 12.200 m de coletores e interceptores.

Tabela 17: Custo total dos coletores troncos e interceptores

Extensão	Custo do metro	Total
12.200	300,00	3.660.000,00

3.4 Custo de Implantação do Sistema de Esgotamento Sanitário

A tabela 18 apresenta os valores encontrados nas alternativas de estudo para implantação de um sistema de esgotamento sanitário no município de Ajuricaba para uma população de 4.034 habitantes.

Tabela 18: Custo total de implantação do sistema de esgotamento sanitário

Item	Custo
Reator UASB + filtro anaeróbio	R$ 225.904,00
Área para implantação do sistema	R$ 24.204,00
Redes coletoras de esgoto	R$ 3.438.388,80 a 4.584.518,40
Coletor tronco e interceptores	R$ 3.660.000,00
Total	**7.348.496,80 a 8.294.626,40**

CONCLUSÃO

Foram seguidos métodos para composições de custos e para uma melhor escolha da tecnologia a fim de implantar um sistema de esgotamento sanitário em um pequeno município para assim chegarmos a um valor final de implantação.

A partir da revisão bibliográfica e da metodologia aplicada neste estudo pode-se observar que o custo relacionado ao tratamento de esgoto foi o custo menos expressivo dentro dos orçamentos analisados, representando em média 3% dos custos totais, com uma divergência daquilo exposto na literatura que, de acordo com alguns autores, a rede coletora e o coletor tronco são responsáveis por 85% dos custos totais e o tratamento e estações elevatórias somente 15% dos custos para implantação de sistemas de esgotamento sanitário.

Essa divergência ocorreu devido a não necessidade de instalação de estações elevatórias, a pouca demanda de área necessária para a instalação do reator UASB e ao baixo custo do metro quadrado do terreno para a implantação da estação de tratamento.

Para as tecnologias com uma grande demanda de área, quando o valor do metro quadrado é alto, o custo do terreno é muito representativo no custo total da tecnologia, sendo que, por este motivo, estas tecnologias poderão ser desconsideradas entre as alternativas. Dentre as tecnologias analisadas, o reator UASB é a tecnologia mais econômica devido a não necessidade de uma grande área para sua implantação e o baixo custo de implantação.

Diante disso, podemos concluir que o fator econômico é prioritário no Brasil para implantação de um sistema de esgotamento sanitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**: NBR 7229. Rio de Janeiro, 1993. 15p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tanques sépticos**: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação: NBR 13969. Rio de Janeiro, 1997. 60p.

ADREOLI, C. V. (coord.). **Lodo de fossa séptica**: tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. 1. ed. Curitiba: ABES, 2009.

AJURICABA. **Plano municipal de saneamento básico e plano de gestão integrada de resíduos sólidos**. TOMO IV, 2013, 148p.

BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA MARIO OSORIO MARQUES (org.). **Trabalhos acadêmicos**: apresentação, referências e citações. 2. ed. Ijuí: Ed. UNIJUÍ, 2014. (Cadernos UNIJUÍ; Série Educação, 85).

BRASIL. **Esgotamento sanitário**: operação e manutenção de redes coletoras de esgotos. 2. ed. Brasília, 2008. 78p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

BRITTO, A. L. **Regularização dos serviços de saneamento no Brasil**: perspectiva histórica, contexto atual e novas exigências de uma regulação pública. Rio de Janeiro, 2014.

CASAN – COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUA E SANEAMENTO. **ETE – Estação de tratamento de esgotos sanitários**. 2014. Disponível em: <http://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#0>. Acesso em: 21/04/2014.

CETESB – COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. 36p.

CHERNICHARO, C. A. L. (coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 2001. 51p. Pesquisa, Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

COSTA, D. R. V. **Avaliação de custo de implantação de sistemas de esgotamentos sanitários em comunidade de pequeno porte**. 2010. 76p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.

GONÇALVES, R. F. (coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. 1. ed. Vitória: RIMA, 2003.

GOOGLE HEART.

HUNT, C. C. **Modelo multicritério de apoio à decisão aplicado à seleção de sistema de tratamento de esgoto para pequenos municípios**. 2013. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa pecuária**. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 28/04/2014.

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. **Notas etodológicas**. 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 11/2014.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. Trad. Max Lothar Hess. 26. ed. Alemanha: Edgar Blucher Ltda, 1986.

INSTITUTO HUMANITAS UNISINOS. **Saneamento básico no Brasil**: um cenário alarmante. Entrevista especial com Édison Carlos. 2013. Disponível em: <http://www. ihu.unisinos.br/entrevistas/524625-qos-servicos-de-coleta-e-tratamento-de-esgoto-ainda-sao-muito-precariosqentrevista-especial-com-edison-carlos>. Acesso em: 18/03/2014.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969p.

MARTINS, G. E. M. **Estudo da eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto operados pela SABESP**. 2010. 62p. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário de LINS – UNILINS, São Paulo, 2010.

NETO, C. O. A.; MELO, H. N. S.; FILHO, M. L. **Filtros anaeróbios com fluxo ascendente e fluxo descendente**. 2014. 7p. Trabalhos Técnicos, Universidade Federal do Estado do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

NUVOLARI, A. (coord.). **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2012. 549p.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 197p. Tese (Doutorado em Administração), Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP, São Paulo, 2004.

PACHECO, R. P. **Custos para implantação de sistemas de esgotamento sanitário**. 2011. 149p. Dissertação (Engenharia de Recursos Hídricos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

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

PEREIRA, M.; SCHOFFL, J. **Relatório sobre análise de solo de Ajuricaba**. 2012. 16p. Trabalho (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

PONTES, P. P. **Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador**. 2003. 198p. Tese (Pós-graduação Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

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

SAAE – SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO. **Sistemas de tratamento de esgoto**. Aracruz, 2006. 40p.

SAKER, J. P. P. **Saneamento básico e desenvolvimento**. São Paulo, 2007. 138p.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: um manual para regiões de clima quente. Campina Grande – Paraíba, 1994. 240p.

VOLSCHAN JR., I. **Esgotamento sanitário**: operação e manutenção de redes coletoras de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 2. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 78p.

VON SPERLING, M. **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, 2005. 452p.