

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Bruna Moreira Canarim

**AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO DO CAMPUS DO VALE/UFRGS: AVALIAÇÃO
ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS**

Porto Alegre
dezembro 2012

BRUNA MOREIRA CANARIM

**AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO DO CAMPUS DO VALE/UFRGS: AVALIAÇÃO
ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Dieter Wartchow

Porto Alegre
dezembro 2012

BRUNA MOREIRA CANARIM

**AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO DO CAMPUS DO VALE/UFRGS: AVALIAÇÃO
ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2012

Prof. Dieter Wartchow
Dr. pela Universidade de Stuttgart
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Eng. Felipe Krüger Leal
Mestre. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. João Julio Klüsener (UFRGS)
Mestre. pela Universidade Federal de Santa Maria

Geog. Alice Rodrigues Cardoso
Mestre. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)
Dr. pela Universidade de Stuttgart

Dedico este trabalho a meus pais, José Claudio e Vânia, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dieter, orientador deste trabalho, pelo apoio e colaboração.

Agradeço a Prof. Carin, professora do trabalho de conclusão, pela dedicação e auxílio na solução dos questionamentos.

Agradeço aos meus pais, minhas irmãs e namorado por tudo.

Agradeço aos colegas de trabalho pela convivência diária e aprendizado, principalmente, Flávio, João, Dudu, Lucas, Chiquinho, Idalécio, Silvano, Paulinho, Antônio, Ricardos, Taison, Michele, Tamires, Vladi, Nei, Valdir, Elton, João BBB, Rudson, Divério e Valdo.

Um dia é preciso parar de sonhar, tirar seus projetos da gaveta e, de alguma forma, começar.

Autor desconhecido

RESUMO

Este trabalho versa sobre a comparação econômica de alternativas de esgotamento sanitário para a atual situação do Campus do Vale da UFRGS. O aumento da produção de esgotos, em função da construção das novas edificações na universidade, superou a capacidade da estação de tratamento existente, exigindo melhorias no sistema. Neste contexto, este trabalho propõe um estudo de alternativas para suprir a nova demanda, comparando suas estimativas de custos associados. A partir da revisão bibliográfica da literatura, que aborda diversos sistemas de tratamento de esgotos, legislação vigente, e parâmetros usados para a determinação de custos de implantação e operação, foram analisadas três alternativas que atendem tecnicamente as novas necessidades do local. São elas: a ligação de toda a rede no coletor tronco do DMAE, a construção de uma nova ETE, e a melhoria da ETE existente associada à ligação de parte da rede no coletor tronco do DMAE. Estas foram comparadas quanto aos seus custos de implantação e operação para um período de retorno de vinte anos, com o objetivo de identificar a opção mais vantajosa para a instituição. A metodologia usada para a comparação econômica foi o método do valor presente (VPL). As conclusões e resultados da aplicação deste trabalho podem ser de grande valia para a tomada de decisão por parte dos gestores da Universidade quanto a que sistema a adotar para equacionar a problemática ambiental decorrente do lançamento de esgotos não tratados no corpo receptor, o arroio Dilúvio.

Palavras-chave: Efluentes Campus do Vale. Sistemas de esgoto.
Avaliação econômica ETEs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama do delineamento da pesquisa	15
Figura 2 – Sistema unitário	17
Figura 3 – Sistema separador absoluto	18
Figura 4 – Traçado de rede tipo perpendicular	19
Figura 5 – Traçado de rede tipo em leque	20
Figura 6 – Traçado de rede tipo radial ou distrital	20
Figura 7 – Fluxograma típico do tratamento preliminar	23
Figura 8 – Esquema de um decantador primário circular	23
Figura 9 – Esquema simplificado do metabolismo bacteriano	24
Figura 10 – Conceito de um sistema convencional de tratamento de esgotos	25
Figura 11 – Esquema de um filtro biológico	27
Figura 12 – Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional	28
Figura 13 – Fluxograma de um sistema de aeração prolongada	28
Figura 14 – Fluxograma de um sistema de lodos ativados com operação intermitente ...	28
Figura 15 – Fluxogramas dos principais sistemas de lagoas de estabilização	29
Figura 16 – Fluxograma de um sistema de reator UASB	31
Figura 17 – Sistema de esgotamento sanitário ponta da cadeia	37
Figura 18 – Detalhamento do Sistema de esgotamento sanitário ponta da cadeia	38
Figura 19 – Bacia do Campus do Vale/UFRGS	39
Figura 20 – Localização ETE existente	40
Figura 21 – Reator	40
Figura 22 – Custos de implantação para ETE lodos ativados batelada	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de emissão para efluentes líquidos domésticos de DBO5, DQO e Sólidos Suspensos	34
Tabela 2 – Padrões de emissão para efluentes líquidos domésticos para os parâmetros fósforo e coliformes termotolerantes	35
Tabela 3 – Consumo de água do Campus do Vale	42
Tabela 4 – Consumo energético para ETEs	44
Tabela 5 – Consumo de água no anel viário	44
Tabela 6 – Consumo de água fora do anel viário	45
Tabela 7 – Avaliação econômica das alternativas	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA	13
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	13
2.2.1 Objetivo principal	13
2.2.2 Objetivos secundários	13
2.3 PREMISSA	13
2.4 DELIMITAÇÕES	14
2.5 LIMITAÇÕES	14
2.6 DELINEAMENTO	14
3 ESGOTO SANITÁRIO	16
3.1 SISTEMAS PARA ESGOTAMENTO SANITÁRIO	16
3.1.1 Sistema de esgotamento unitário	17
3.1.2 Sistema de esgotamento separador parcial	17
3.1.3 Sistema de esgotamento separador absoluto	17
3.2 REDES COLETORAS	19
4 TRATAMENTO DE ESGOTOS	21
4.1 OPERAÇÕES E PROCESSOS UNITÁRIOS	21
4.1.1 Processos Físicos	21
4.1.2 Processos Químicos	21
4.1.3 Processos Biológicos	22
4.2 NÍVEIS DE TRATAMENTO	22
4.2.1 Tratamento preliminar	22
4.2.2 Tratamento primário	23
4.2.3 Tratamento secundário	24
4.2.4 Tratamento terciário	24
4.3 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO	25
4.3.1 Gradeamento	25
4.3.2 Caixa de areia	26
4.3.3 Decantador	26
4.3.4 Fossa séptica	26
4.3.5 Filtro biológico	26
4.3.6 Lodos ativados	27

4.3.7 Lagoas de estabilização	29
4.3.8 Reator UASB	30
4.3.9 Desinfecção	31
4.3.10 Alternativas Combinadas	31
5 LEGISLAÇÃO	32
5.1 A QUEM COMPETE	33
5.2 PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES	33
6 ALTERNATIVAS	36
6.1 COLETOR TRONCO	36
6.2 NOVA ETE	38
6.3 ETE EXISTENTE E COLETOR TRONCO	39
7 CUSTOS	41
7.1 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PROPOSTAS	41
7.1.1 Coletor Tronco	41
7.1.2 Nova ETE	43
7.1.3 ETE existente e Coletor Tronco	44
7.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA	46
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de esgotamento sanitário devem ser tratados com prioridade em todas as instâncias da administração pública, pois as deficiências de saneamento básico evidenciadas principalmente na poluição dos corpos hídricos constitui um dos mais sérios problemas de saúde pública mundial. É preciso garantir a qualidade dos efluentes sanitários, respeitando os padrões de lançamento exigidos, para minimizar os danos ao meio ambiente.

As instituições públicas, responsáveis pela garantia dos serviços essenciais, têm o dever de preservar o meio ambiente através da existência de sistemas de saneamento básico suficientes para a sua comunidade, inclusive prevendo o crescimento populacional e desenvolvimento econômico de sua sociedade. Os empreendimentos públicos ou privados devem ser submetidos a processos de licenciamento ambiental de forma que os sistemas de esgotos sanitários (SES) atendam aos padrões de emissão estabelecidos pelas resoluções e a legislação vigente.

Um dos maiores desafios do saneamento básico no Brasil é a implantação de SES que sejam sustentáveis ambiental e financeiramente, pois segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2009), os índices de cobertura de coleta e tratamento de esgoto são baixos. Considerando as Políticas Públicas do Governo Federal no período de 2005 a 2012, novos investimentos na ampliação das instituições de ensino superior estão sendo realizadas, e, neste contexto, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul vêm aumentando consideravelmente o número de edificações e de alunos. Todas estas novas construções exigem infraestrutura, inclusive as estruturas de coleta e tratamento de efluentes.

Os efluentes do Campus do Vale atualmente possuem tratamento através de sistemas individuais tipo fossa e filtro, e uma estação de tratamento coletivo que abrange parte das edificações. Os sistemas individuais não são monitorados e não podem ser considerados como sistemas eficientes, sendo necessário encontrar um novo destino para seus efluentes. Topograficamente, não é viável enviar todos os efluentes dos sistemas individuais para o tratamento coletivo, e mesmo que fosse possível este não teria capacidade para receber todos os esgotos gerados no Campus.

Os efluentes do Campus do Vale são destinados para a Bacia Hidrográfica Mãe d'Água, uma das cabeceiras do arroio Dilúvio e para o arroio Dilúvio, ambas urbanizadas, que se caracterizam pela degradação ambiental. A UFRGS, através do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), participa de um projeto de pesquisa em rede, denominado Projeto MAPLU2 – Rede de Manejo de Águas Pluviais. O Subprojeto 3 – Gestão de Bacias Urbanas – tem como objetivo, a recuperação da qualidade hídrica da sub-bacia hidrográfica urbana do Arroio Mãe D'Água através da elaboração de um plano estratégico de ações, a ser construído de forma participativa. Assim, é necessário, dentro de alternativas tecnicamente viáveis, analisar a opção economicamente mais vantajosa para o esgotamento sanitário do Campus do Vale da UFRGS.

O trabalho dividiu-se em oito capítulos, iniciando-se pela introdução, no qual é possível inteirar-se da proposta do trabalho. O segundo capítulo apresenta as diretrizes da pesquisa, contendo a questão de pesquisa, os objetivos principal e secundário, premissa, delimitações e limitações consideradas para o seu desenvolvimento, bem como o delineamento do projeto. Os capítulos três, quatro e cinco dizem respeito à pesquisa bibliográfica referente aos sistemas de esgotamento e aos processos tratamento de esgotos e legislação. No capítulo seis são demonstradas as alternativas selecionadas para o esgotamento sanitário. No capítulo sete é desenvolvida a pesquisa sobre custos e avaliação econômica das alternativas. No capítulo oito são feitas as considerações finais.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual é a alternativa mais econômica, entre as estudadas, para o sistema de esgotamento sanitário do Campus do Vale/UFRGS?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação da alternativa mais econômica para o esgotamento sanitário do Campus do Vale/UFRGS entre as analisadas nesse estudo.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) identificação das alternativas técnica e economicamente viáveis para o tratamento dos esgotos do Campus do Vale/UFRGS;
- b) comparação econômica das alternativas encontradas.

2.3 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que todos os esgotos sanitários gerados devem ser corretamente coletados e tratados.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo de concepção de alternativas para esgotamento sanitário das unidades que compõe a área de estudo.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações deste trabalho a utilização de dados de consumo baseados na população atual e o estudo de três alternativas: a ligação de todos os esgotos do Campus no coletor tronco do DMAE; a construção de uma nova ETE para atender a toda a demanda; e a melhoria da ETE existente associada à ligação no coletor tronco do DMAE.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

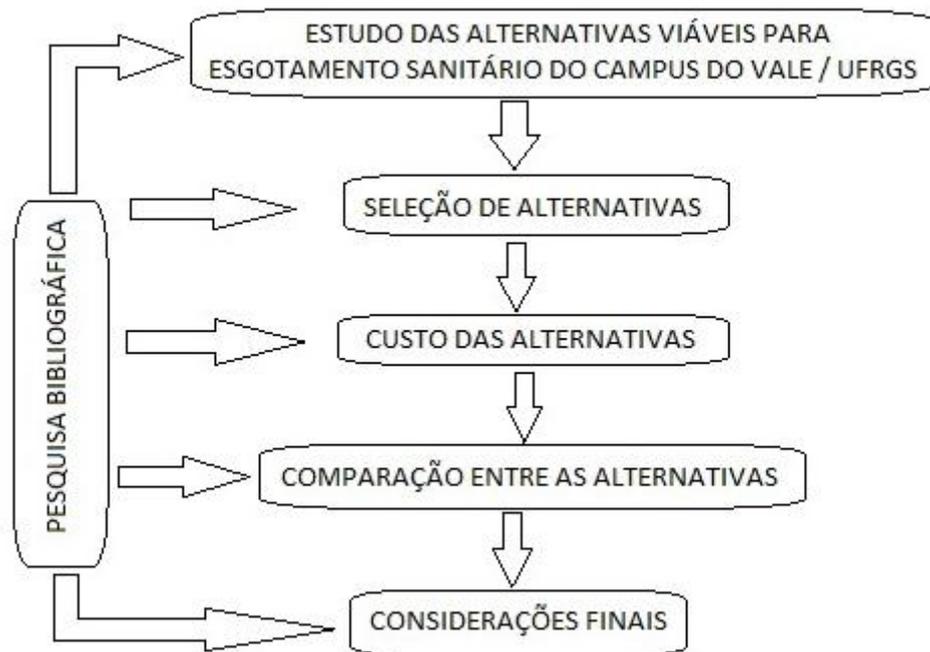
- a) pesquisa bibliográfica;
- b) estudo das alternativas viáveis de esgotamento sanitário para o Campus do Vale/UFRGS;
- c) seleção de alternativas;
- d) estimativa de custos das alternativas selecionadas;
- e) comparação econômica entre as alternativas selecionadas;
- f) considerações finais.

A pesquisa bibliográfica, que esteve presente durante todo o trabalho, teve papel fundamental para aprimorar o conhecimento sobre o assunto e apontar as normas e legislação sobre o assunto abordado. Primeiramente foi feito um estudo sobre os sistemas para esgotamento sanitário, legislação e custos.

Após a pesquisa bibliográfica e de acordo com a legislação vigente foi feito um estudo das alternativas de esgotamento sanitário para o Campus do Vale/UFRGS, abordando a viabilidade técnica de implantação das alternativas. Posteriormente foram escolhidas três alternativas para a etapa seguinte: a ligação no coletor tronco do DMAE, a construção de uma nova ETE, e a melhoria da ETE existente associada à ligação no coletor tronco do DMAE. Na

sequencia desta pesquisa, foi feita uma estimativa de custos de implantação e operação de cada uma das alternativas, comparado-as economicamente. O trabalho foi encerrado com algumas considerações finais que sintetizam o estudo. A representação esquemática do delineamento é apresentada na figura 1.

Figura 1 – Diagrama do delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

3 ESGOTO SANITÁRIO

Segundo a Norma NBR 9648, “Esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986a, p. 1). Ainda, de acordo com a mesma Norma:

- a) esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas;
- b) esgoto industrial é o despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos;
- c) água e infiltração é toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- d) contribuição singular é a vazão de esgoto concentrada em um ponto da rede coletora, significativamente maior que o produto da taxa de contribuição por superfície esgotada, pela área responsável por esse lançamento;
- e) contribuição pluvial parasitária é a parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário.

Estas definições estabelecem a origem dos esgotos sanitários. Os diferentes sistemas para o transporte, e tratamentos desses esgotos são descritos a seguir.

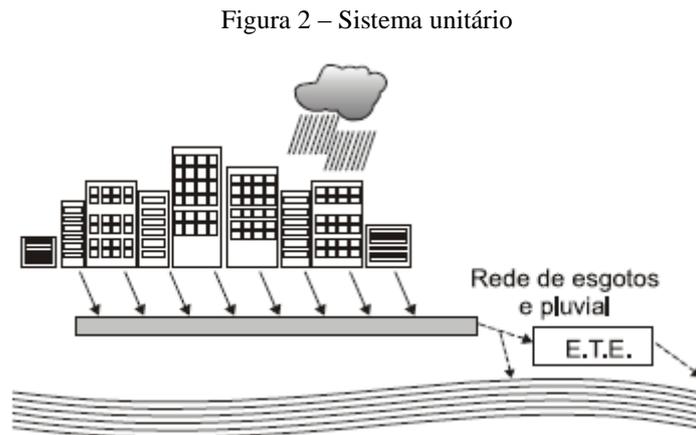
3.1 SISTEMAS PARA ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A concepção básica do sistema de esgotamento sanitário deve ser a “Melhor opção de arranjo, sob os pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986a, p. 1). Para Jordão e Pessôa (2005, p. 71), qualquer sistema de esgotos sanitários encaminha seus efluentes para corpos d’água receptores que não devem sofrer alterações nos parâmetros fixados e, para isso, é necessário que o efluente passe por processo de tratamento.

A melhor solução para coleta, transporte e tratamento de esgotos sanitários deve observar as necessidades da população e o planejamento financeiro. Conforme Tsutiya e Alem Sobrinho (2000, p. 2), os sistemas de esgotos podem ser de três tipos: unitário, separador parcial e separador absoluto.

3.1.1 Sistema de esgotamento unitário

Sistema em que as águas residuárias (domésticas e industriais), as águas de infiltração e as pluviais circulam por um único sistema (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000, p. 2). Na figura 2, observa-se um esquema do sistema unitário, em que as redes pluvial e sanitária seguem pelo mesmo conduto.



(fonte: SPERLING, 1996a, p. 52)

3.1.2 Sistema de esgotamento separador parcial

No sistema separador parcial uma parcela das águas pluviais (de telhados e pátios) é encaminhada junto com as águas residuárias e as águas de infiltração por outro conduto, resultando em um esquema similar ao da figura 3. Conforme Tsutiya e Bueno (2004, p. 3), “[...] no sistema separador parcial o sistema de esgotos urbanos é, também, constituído de redes de esgoto e de galerias de águas pluviais.”.

3.1.3 Sistema de esgotamento separador absoluto

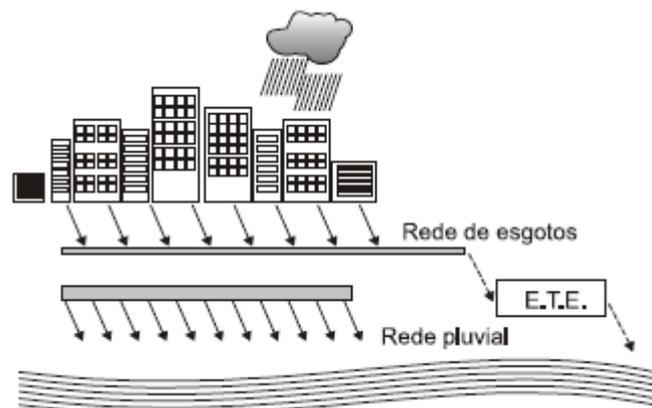
Consiste, basicamente, na captação das águas residuárias e de infiltração em sistemas independentes. Dos sistemas projetados e submetidos ao licenciamento ambiental é o mais utilizado no Brasil e, segundo Tsutiya e Alem Sobrinho (2000, p. 4), apresenta as seguintes vantagens:

- a) custa menos, pelo fato de empregar tubos mais baratos, de fabricação industrial (manilhas, tubos de PVC etc.);

- b) oferece mais flexibilidade para a execução por etapas, de acordo com as prioridades (prioridade maior para a rede sanitária);
- c) reduz consideravelmente o custo do afastamento das águas pluviais, pelo fato de permitir o seu lançamento no curso de água mais próximo, sem a necessidade de tratamento;
- d) não se condiciona e nem obriga a pavimentação das vias públicas;
- e) reduz muito a extensão das canalizações de grande diâmetro em uma cidade, pelo fato de não exigir a construção de galerias em todas as ruas;
- f) não prejudica a depuração dos esgotos sanitários.

Na figura 3 observa-se um esquema do sistema separador absoluto, em que as redes pluvial e sanitária seguem por condutos diferentes.

Figura 3 – Sistema separador absoluto



(fonte: SPERLING, 1996a, p. 52)

Tucci (2008, p. 107) ressalta que, pela inexistência de redes de esgoto em algumas regiões, as prefeituras acabam permitindo a ligação do esgoto na rede pluvial, ficando sem tratamento e, quando o sistema é implementado, fica difícil remover as ligações inadequadas, gerando dois sistemas misturados. A Resolução Conama n. 357 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece padrões de lançamento de efluentes. Os artigos da Resolução alertam sobre a exigência de tratamento dos efluentes para posterior deságue.

Percebe-se que, apesar da Resolução, muitos condutos pluviais ainda recebem efluentes domésticos, fazendo com que os sistemas se tornem ineficazes, aumentando a poluição nos

corpos receptores. Todos os sistemas descritos comportam diferentes traçados de rede que são ilustrados a seguir.

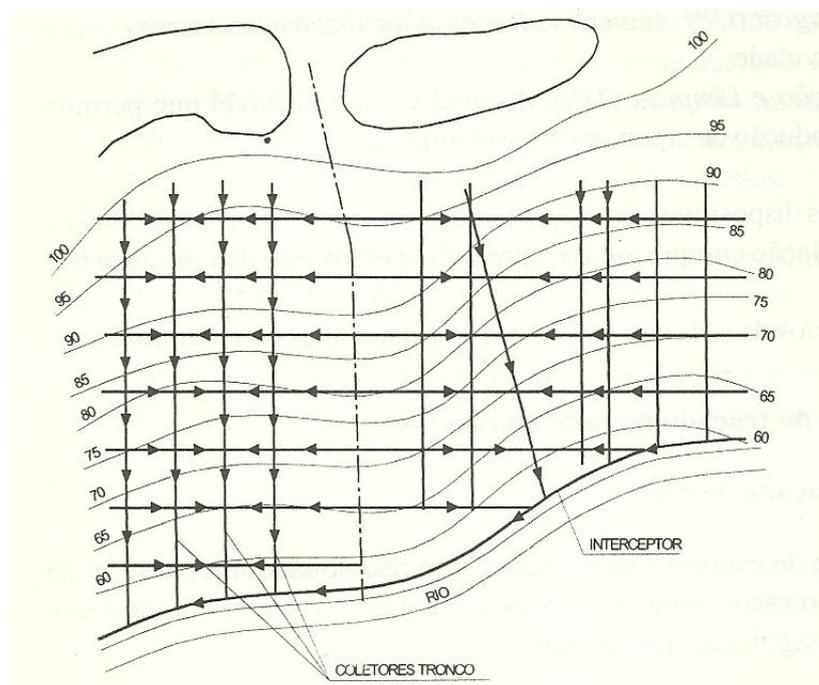
3.2 REDES COLETORAS PARA ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A rede coletora é o sistema de canalizações que recebe os esgotos das edificações e é traçada de acordo com a topografia da cidade. Segundo Tsutiya e Alem Sobrinho (2000, p. 15), uma rede pode ser:

- a) perpendicular, quando compõe de vários coletores tronco com traçado perpendicular ao curso de água;
- b) em leque, quando os coletores tronco correm pela parte baixa das bacias e nele incidem os coletores secundários;
- c) radial ou distrital, quando a cidade é dividida em distritos ou setores independentes e criam-se pontos baixos para onde são dirigidos os esgotos e daí recalcado para o destino final.

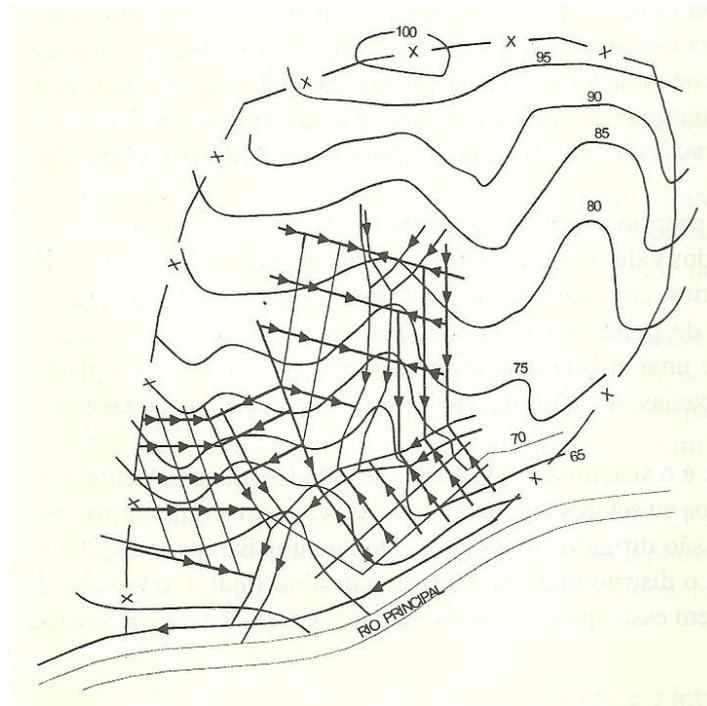
Nas figuras 4 a 6 podem-se observar os traçados citados.

Figura 4 – Traçado de rede tipo perpendicular



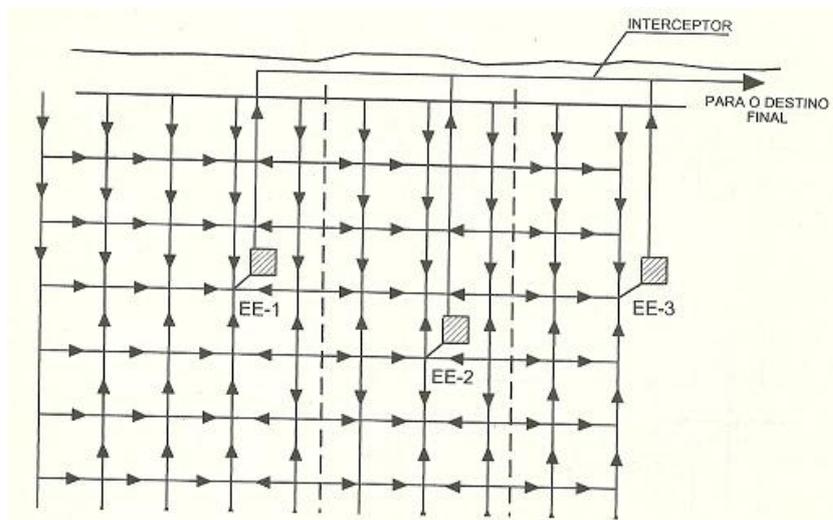
(fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000, p. 16)

Figura 5 – Traçado de rede tipo em leque



(fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000, p. 16)

Figura 6 – Traçado de rede tipo radial ou distrital



(fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2000, p. 17)

4 TRATAMENTO DE ESGOTOS

Este capítulo foi elaborado para melhor entendimento das diversas etapas do tratamento de esgotos. Jordão e Pessôa (2005, p. 71), ressaltam que “O grau de tratamento necessário será sempre função do corpo receptor, das características de uso da água a jusante do ponto de lançamento, de sua capacidade de autodepuração, e das características e condições de despejos.”. Segundo Campos (1999, p. 3), deve-se ponderar processos biológicos, aeróbio e anaeróbio como solução para o tratamento de esgotos sanitários para, então, encontrar a solução mais apropriada. A seguir, são descritos os processos unitários e os níveis de tratamento dos sistemas convencionais.

4.1 OPERAÇÕES E PROCESSOS UNITÁRIOS

Os sistemas de tratamento de esgotos são compostos por operações e processos unitários e podem ser divididos em físicas, químicos e biológicos.

4.1.1 Físicos

As operações físicas são aquelas em que predomina a ação de forças físicas (ex: gradeamento, mistura, floculação, sedimentação, flotação e filtração) (SPERLING, 1996a, p. 172). Jordão e Pessôa (2005, p. 95), acrescentam que estes processos têm por finalidade separar as substâncias em suspensão incluindo:

- a) remoção dos sólidos grosseiros;
- b) remoção dos sólidos sedimentáveis;
- c) remoção dos sólidos flutuantes.

4.1.2 Químicos

Nos processos químicos, a remoção dos contaminantes ocorre pela adição de produtos químicos (ex: precipitação, absorção, desinfecção) (SPERLING, 1996a, p. 172). Jordão e

Pessôa (2005, p. 95), acrescentam que estes processos têm sido utilizados para melhorar a eficiência dos processos físicos e biológicos, os mais adotados são:

- a) coagulação e floculação;
- b) precipitação química;
- c) elutriação;
- d) oxidação química;
- e) cloração;
- f) neutralização ou correção do pH.

4.1.3 Biológicos

Os processos biológicos realizam a remoção dos contaminantes por atividade biológica (ex: remoção da matéria orgânica carbonácea, desnitrificação) (SPERLING, 1996a, p. 172). Para Jordão e Pessôa (2005, p. 96), estes processos dependem da ação de micro-organismos presentes nos esgotos, os principais são:

- a) oxidação biológica (aeróbia, como lodos ativados, filtros biológicos aeróbios, valos de oxidação e lagoas de estabilização; e anaeróbia, como reatores anaeróbios de fluxo ascendente, ou de manta de lodo, lagoas anaeróbias, e tanques sépticos);
- b) digestão do lodo (aeróbia e anaeróbia, fossas sépticas).

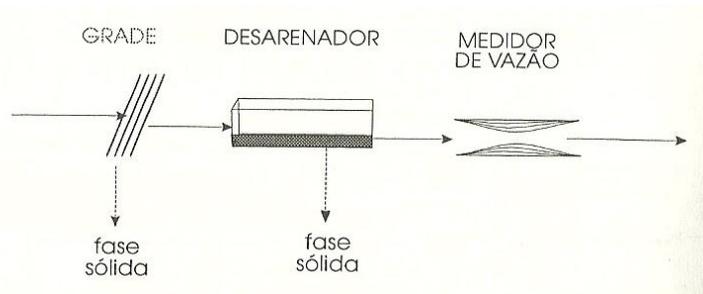
4.2 NÍVEIS DE TRATAMENTO

Segundo Jordão e Pessôa (2005, p. 98), “É comum classificar as instalações de tratamento em função do grau de redução dos sólidos em suspensão e da demanda bioquímica do oxigênio proveniente da eficiência de uma ou mais unidades de tratamento.”. Cada fase possui vários dispositivos de tratamento que são descritos a seguir.

4.2.1 Tratamento preliminar

Sperling (1996a, p. 182) explica que o tratamento preliminar destina-se à remoção de sólidos grosseiros e areia e que os mecanismos básicos são de ordem física. A figura 7 demonstra o fluxograma típico do tratamento preliminar.

Figura 7 – Fluxograma típico do tratamento preliminar



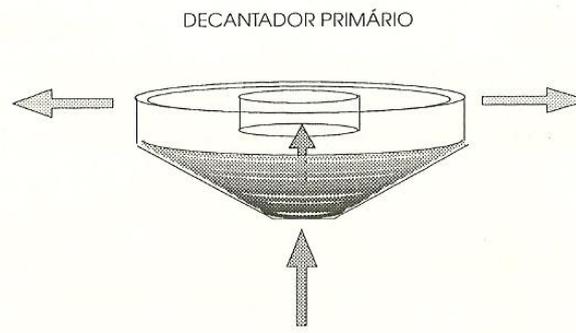
(fonte: SPERLING, 1996a, p. 182)

Segundo Jordão e Pessôa (2005, p. 182), “Em alguns casos especiais, mediante estudos criteriosos, o efluente do tratamento preliminar poderá ser lançado diretamente no corpo receptor [...]”.

4.2.2 Tratamento primário

Sperling (1996a, p. 184) explica que o tratamento primário destina-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes. Os principais dispositivos de tratamento preliminar são os decantadores e a fossa séptica. Na figura 8, observa-se o esquema de um decantador primário circular.

Figura 8 – Esquema de um decantador primário circular



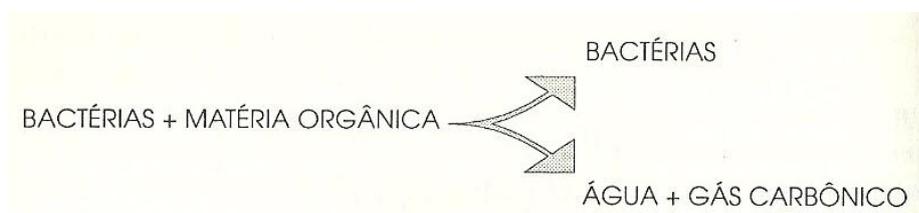
(fonte: SPERLING, 1996a, p. 184)

No tratamento preliminar são removidos os sólidos sedimentáveis para que os esgotos estejam em condições de serem submetidos a tratamentos secundários (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 243).

4.2.3 Tratamento secundário

Sperling (1996a, p. 185) explica que o tratamento secundário destina-se à remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão e que uma variedade de micro-organismos convertem esta matéria em gás carbônico, água e material celular (crescimento e reprodução de microorganismos). Na figura 9, observa-se o do metabolismo bacteriano.

Figura 9 – Esquema simplificado do metabolismo bacteriano

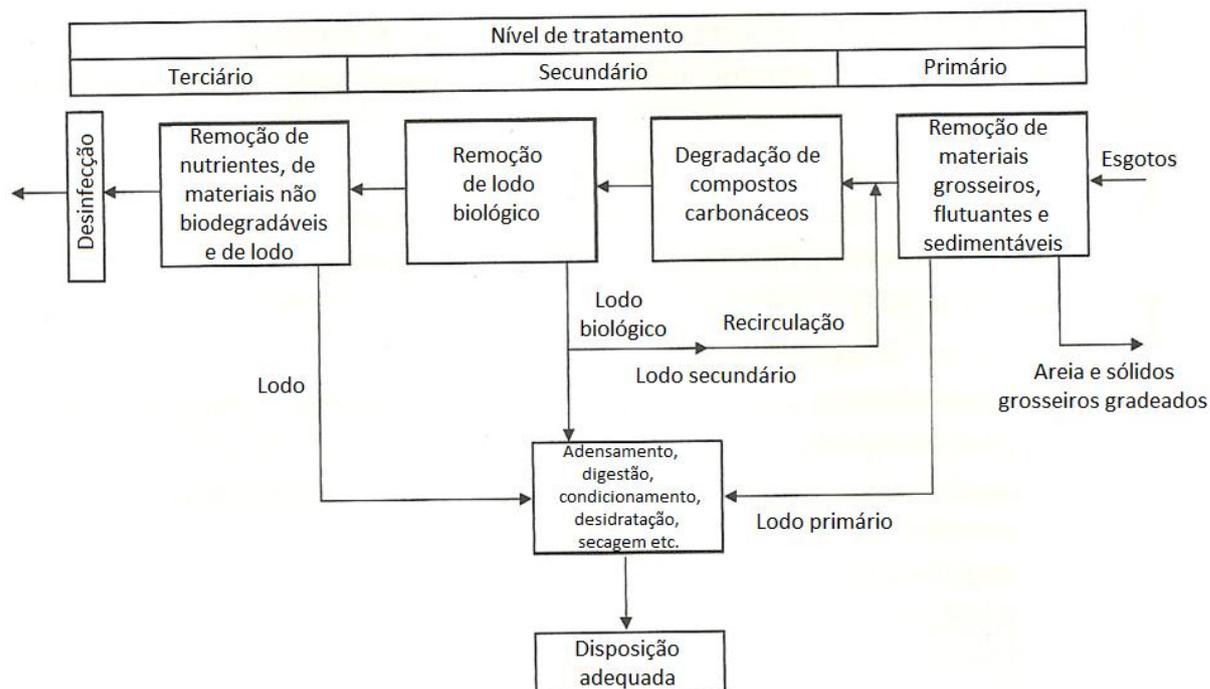


(fonte: SPERLING, 1996a, p. 186)

4.2.4 Tratamento terciário

O tratamento terciário consiste na remoção de nutrientes, de materiais não biodegradáveis e de lodo e na desinfecção. Jordão e Pessoa (2005, p. 819) explicam que o objetivo da desinfecção é a inativação seletiva de organismos patogênicos, não sendo objetivo exterminar completamente a presença de micro-organismos. Na figura 10, pode-se observar a composição de uma estação de tratamento convencional com os diferentes níveis de tratamento (primário, secundário e terciário) até a desinfecção e seus processos unitários.

Figura 10 – Conceito de um sistema convencional de tratamento de esgotos



(fonte: CAMPOS, 1999, p. 16)

4.3 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO

As estações de tratamento são compostas por várias etapas de tratamento de acordo com os níveis descritos na figura 10. Cada estação tem sua particularidade devido às características dos esgotos, do corpo receptor e da legislação vigente. Para Campos (1999, p. 4) “[...] pode-se sintetizar que há muitas alternativas para tratamento de esgotos, desde uma simples, porém controlada, disposição no solo até sofisticadas estações completamente automatizadas.”. Os sistemas mais utilizados são descritos a seguir.

4.3.1 Gradeamento

O gradeamento é um processo físico, a nível preliminar, para remoção de sólidos grosseiros. O processo consiste na detenção do material que não passa pelas grades, e a remoção deste material pode ser manual ou mecanizada (SPERLING, 1996a, p. 182). Segundo Jordão e Pessoa (2005, p. 152), as grades são barras de ferro ou aço paralelas, verticais ou inclinadas para reter o material.

4.3.2 Caixa de areia

A caixa de areia também é um processo físico, a nível preliminar, para evitar abrasão nos equipamentos e tubulações. Condiciona-se o fluxo dos esgotos para que a areia sedimente por gravidade para posterior remoção (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 183).

4.3.3 Decantador

O decantador é um processo físico, a nível primário, para remover sólidos em suspensão. Os decantadores primários são destinados a remover sólidos orgânicos e inorgânicos (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 243).

4.3.4 Fossa séptica

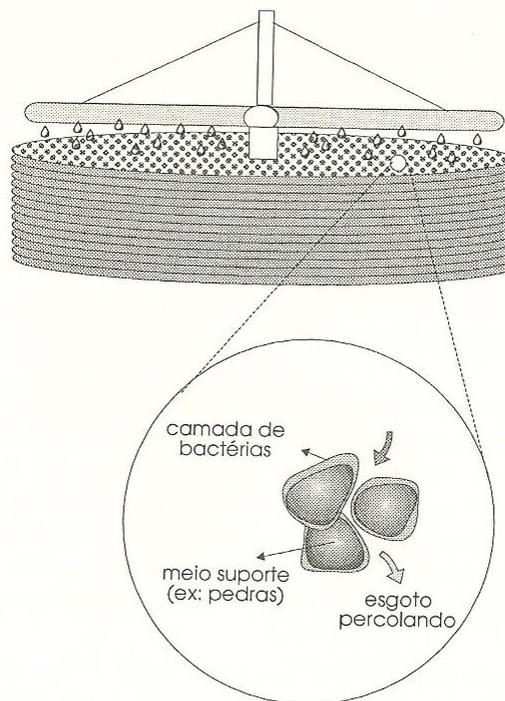
A fossa séptica é um processo físico a nível primário. Pode ser definida como uma câmara construída para reter os esgotos o tempo suficiente para que ocorra a sedimentação dos sólidos e a retenção do material graxo transformando-se em compostos mais estáveis (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 386).

4.3.5 Filtro biológico

O filtro biológico (FB) é um processo biológico, a nível secundário, para remoção da matéria orgânica. Segundo Sperling (1996a, p. 185), a base do processo é o contato de micro-organismos com a matéria orgânica contida nos esgotos. Para Jordão e Pessôa (2005, p. 462), “Resumidamente, o contato do esgoto afluyente com a massa biológica contida no FB realiza uma oxidação bioquímica.”.

A figura 11 mostra o detalhe do filtro em que a camada de bactérias absorve a matéria orgânica transformando em gás, sais e água. O meio de suporte pode ser de diversos materiais, desde pedras até plásticos.

Figura 11 – Esquema de um filtro biológico



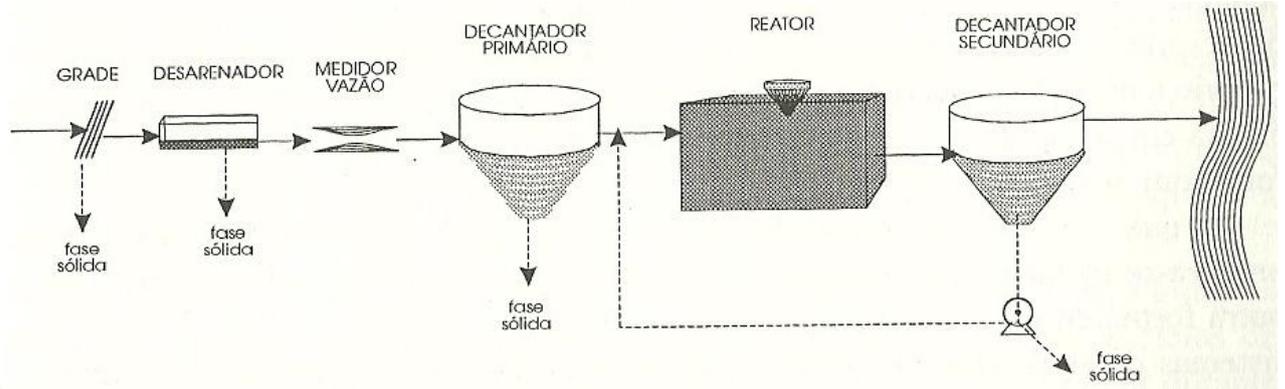
(fonte: SPERLING, 1996a, p. 198)

4.3.6 Lodos ativados

O processo de lodos ativados é um processo biológico, a nível secundário, e pode ser dividido em lodos ativados convencional, aeração prolongada e fluxo intermitente. Sobre o processo de lodos ativados Jordão e Pessoa (2005, p. 507) explicam que: “Nele o esgoto afluente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados (em unidades chamadas tanques de aeração), para logo após se separar os lodos ativados do esgoto (por sedimentação em decantadores).”.

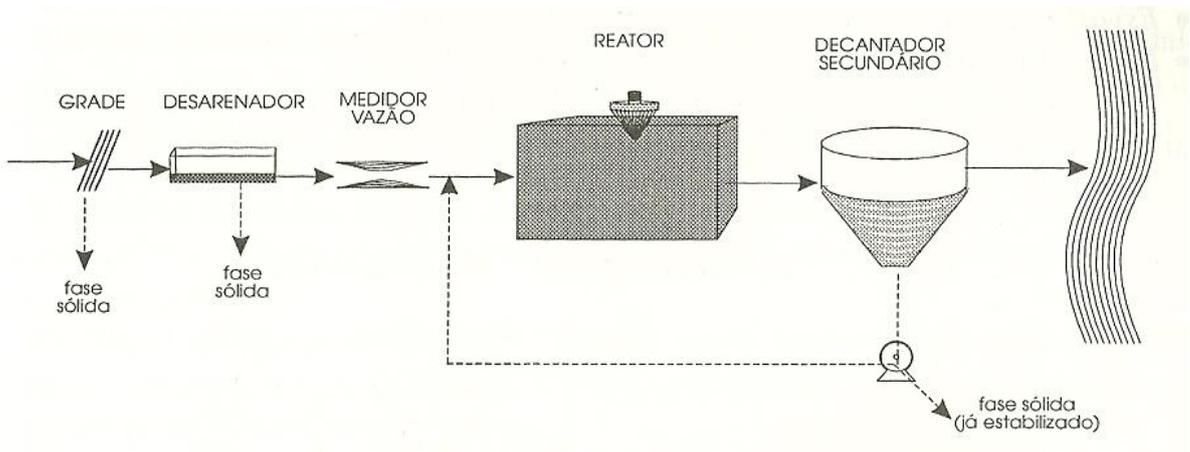
Segundo Sperling (1996a, p. 192), o princípio básico do sistema de lodos ativados é a existência de um **reservatório** de bactérias ativas e ávidas por alimento e a consequente assimilação da matéria orgânica por essas bactérias dentro do reator, no decantador parte dessas bactérias retornam ao reator para novo ciclo. Nas figuras 12 a 14 observa-se os tipos de sistemas de lodos ativados, nota-se que nos dois primeiros o lodo reage no reator, vai para o decantador e, parte, retorna ao reator, no último todas etapas ocorrem no reator que para em alguns momentos, funcionando como decantador.

Figura 12 – Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional



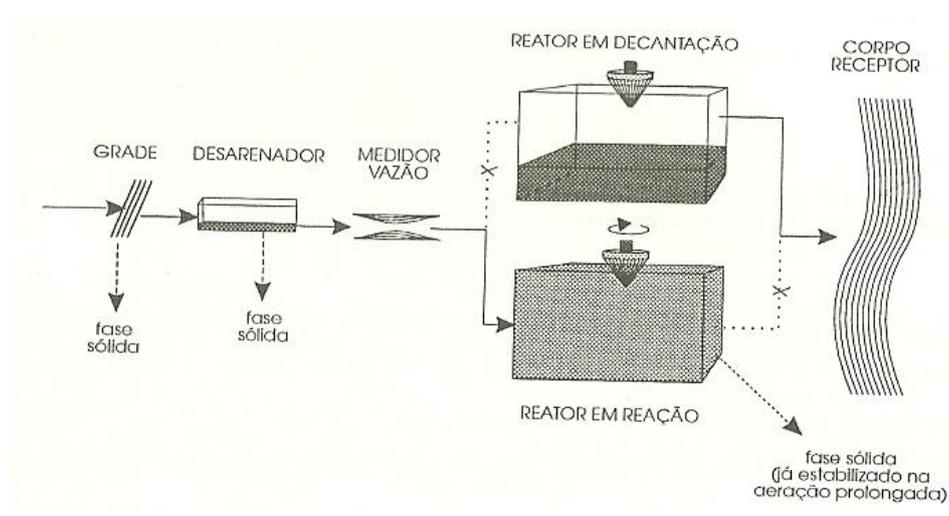
(fonte: SPERLING, 1996a, p. 193)

Figura 13 – Fluxograma de um sistema de aeração prolongada



(fonte: SPERLING, 1996a, p. 195)

Figura 14 – Fluxograma de um sistema de lodos ativados com operação intermitente



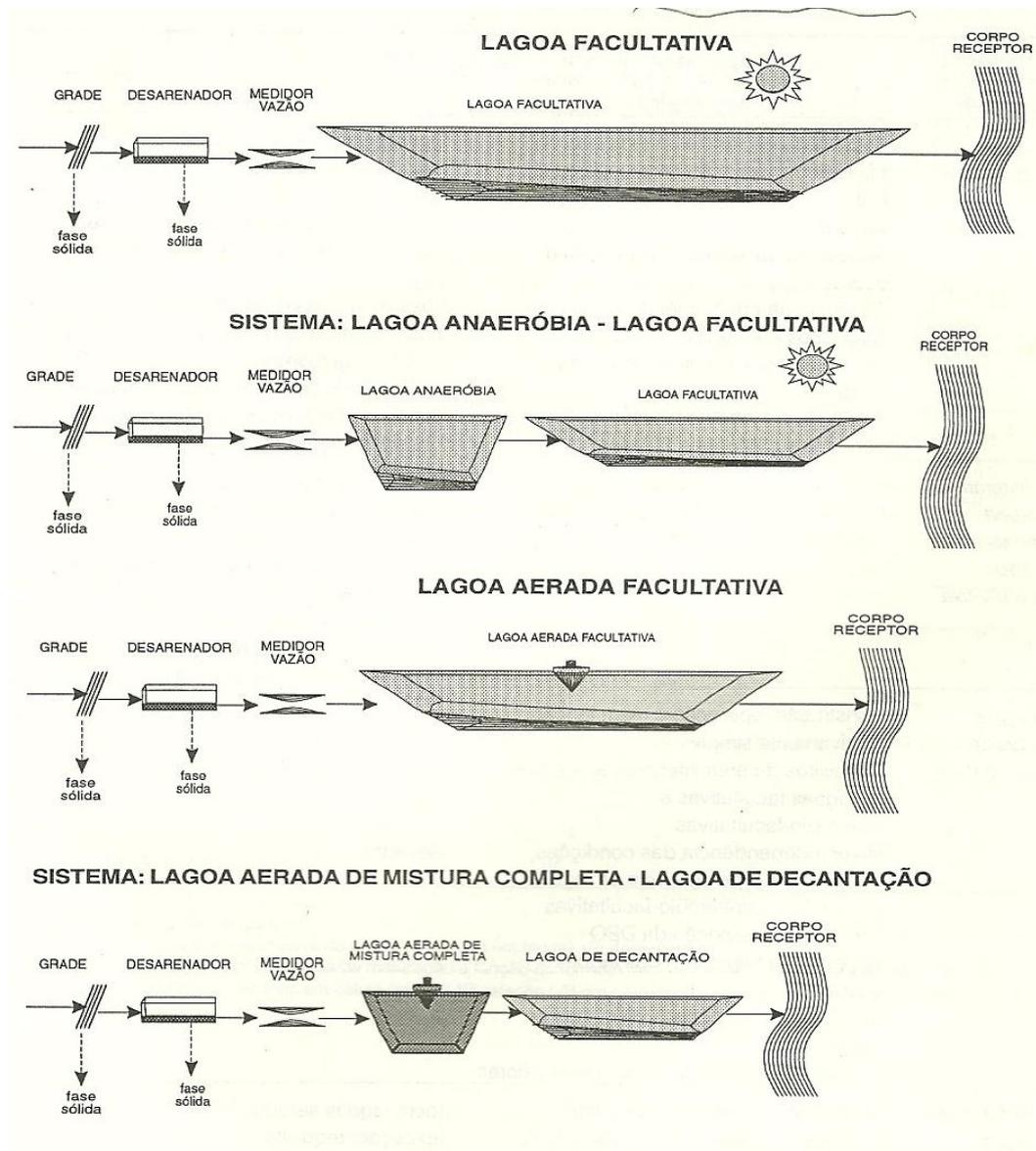
(fonte: SPERLING, 1996a, p. 196)

Na aeração prolongada, o lodo permanece mais tempo no sistema que no convencional e, o fluxo intermitente, consiste em um reator de mistura completa no qual ocorrem todas as etapas do tratamento (SPERLING, 1996a, p. 194).

4.3.7 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são processos biológicos, a nível secundário, para remoção da matéria orgânica e, como fica representado na figura 15, possuem diversas variantes.

Figura 15 – Fluxogramas dos principais sistemas de lagoas de estabilização



(fonte: SPERLING, 1996b, p. 13)

Segundo Sperling (1996b, p. 11), as lagoas de estabilização constituem a forma mais simples para o tratamento de esgotos e são bastante indicadas para as condições brasileiras. Indica, também, que, nas lagoas facultativas, o esgoto é retido por um período de tempo longo o suficiente para que processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam com a predominância de fenômenos naturais.

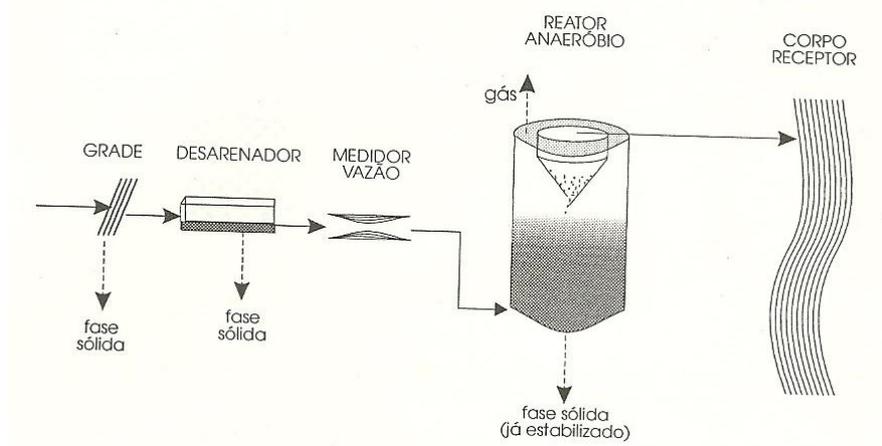
No sistema em que a lagoa anaeróbia é colocada antes da facultativa, Jordão e Pessôa (2005, p. 708) destacam vantagens, pois a área das duas lagoas é menor que a área de somente a facultativa e melhora o aspecto da facultativa, pois a acumulação de sólidos se dá primeiro na anaeróbia, que é mais profunda. Sperling (1996a, p. 190), ressalta ainda que a forma de suprimentos de oxigênio é a principal diferença da lagoa aerada, pois este é fornecido através de aeradores enquanto na facultativa o oxigênio é obtido através da fotossíntese.

A lagoa aerada de mistura completa requer maior potência de agitação para garantir totais condições de aerobiose e, por isso, é raramente utilizada frente ao consumo de energia (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 762). Segundo Sperling (1996a, p. 190), a maior vantagem da lagoa aerada é a redução no volume apesar do aumento no nível de operação, pois os sólidos são mantidos em suspensão no meio líquido, aumentando a eficiência do sistema.

4.3.8 Reator UASB

Segundo Jordão e Pessôa (2005, p. 798), o esgoto desarenado entra pela parte superior do reator UASB e desce por tubos verticais até o fundo do tanque para a posterior distribuição ascensional. Sperling (1996a, p. 204), ressalta que não há necessidade de decantação primária, simplificando o fluxograma da estação como mostra a figura 16.

Figura 16 – Fluxograma de um sistema de reator UASB



(fonte: SPERLING, 1996a, p. 204)

4.3.9 Desinfecção

Jordão e Pessoa (2005, p. 819) explicam que, para cada uso da água que sai das estações, aplicam-se critérios e padrões de qualidade para a desinfecção, e que o seu principal objetivo é a proteção da saúde pública, inativando organismos patogênicos. Segundo Sperling (1996a, p. 144), os processos de tratamento são muito eficientes na remoção de sólidos e de matéria orgânica, mas não tem a mesma eficiência para desinfecção apesar da grande importância.

4.3.10 Alternativas combinadas

Uma ETE também pode ser constituída por etapas de tratamento biológico anaeróbico e aeróbico. Pode-se conjugar dois tipos ou mais de reatores para obter resultados melhores de tratamento, alta eficiência e menor consumo de energia de acordo com os padrões de emissão estabelecidos.

A operação pode ser diferenciada entre uma operação contínua ou em batelada. Um reator batelada não admite entrada nem saída de reagentes ou produtos durante o processamento da reação. Todos os reagentes são introduzidos no reator de uma só vez. Em seguida são misturados e reagem entre si. Após algum tempo, os produtos obtidos também são descarregados de uma só vez.

5 LEGISLAÇÃO

O presente capítulo foi elaborado para melhor entendimento das normas e legislação que regulamentam os padrões de lançamento de efluentes bem como o licenciamento das estações de tratamento de esgotos. Conforme o Art. 2 da Lei Federal n. 11.445 (BRASIL, 2007)

Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

- a) universalização do acesso;
- b) integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;
- c) abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- d) disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- e) adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- f) articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- g) eficiência e sustentabilidade econômica;
- h) utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
- i) transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- j) controle social;
- k) segurança, qualidade e regularidade;
- l) integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

O Art. 11 da Lei Federal n. 11.445 (BRASIL, 2007) dispõe sobre as condições de validade dos contratos que tenham por objeto a prestação de serviços públicos de saneamento básico:

- a) a existência de plano de saneamento básico;
- b) a existência de estudo comprovando a viabilidade técnica e econômico-financeira da prestação universal e integral dos serviços, nos termos do respectivo plano de saneamento básico;
- c) a existência de normas de regulação que prevejam os meios para o cumprimento das diretrizes desta Lei, incluindo a designação da entidade de regulação e de fiscalização;
- d) a realização prévia de audiência e de consulta públicas sobre o edital de licitação, no caso de concessão, e sobre a minuta do contrato.

5.1 A QUEM COMPETE

Segundo Art. 17 da Lei Federal n. 11.445 (BRASIL, 2007) “O serviço regionalizado de saneamento básico poderá obedecer a plano de saneamento básico elaborado para o conjunto de Municípios atendidos.”, no caso de Porto Alegre, o órgão responsável é o Departamento Municipal de Água e Esgotos e o Plano Diretor de Esgotos de Porto Alegre que determina as diretrizes do plano de saneamento básico.

5.2 PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

O Art. 24 da Resolução do Conama n. 357 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005) “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedecem às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.”.

O Art. 26 da mesma Resolução alerta que

Os órgãos ambientais federal, estaduais e municipais, no âmbito de sua competência, deverão, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, [...], de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas pelo enquadramento para o corpo de água.

O Art. 35 da Resolução do Conama n. 357 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005) indica que “[...], o órgão ambiental competente poderá, quando a vazão do corpo de água estiver abaixo da vazão de referência, estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, aos lançamentos de efluentes [...]”. De acordo com o Art. 36 da Resolução do Conama. 357 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO

AMBIENTE, 2005), “Além dos requisitos previstos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis, os efluentes provenientes de serviços de saúde e estabelecimentos nos quais haja despejos infectados com micro-organismos patogênicos, só poderão ser lançados após tratamento especial.”.

A Resolução do CONSEMA n. 128 (RIO GRANDE DO SUL, 2006), dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul e, de acordo com o Art. 4, “[...] aplica-se a todas as atividades geradoras de efluentes líquidos, excluindo lançamentos no mar e infiltrações no solo, que serão objetos de avaliações independentes no licenciamento pelo órgão ambiental competente.”. O Art. 19 dessa mesma Resolução coloca que “Para efeito de controle das condições de lançamento, não é permitida a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, antes do seu lançamento, tais como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação, com a finalidade de diluição.”. O Art. 20 dessa Resolução estabelece que, para efluentes líquidos domésticos, devem ser observados os padrões de emissão da tabela 1 para os parâmetros DBO₅, DQO, Sólidos Suspensos (SS), em função da vazão de lançamento.

Tabela 1 – Padrões de emissão para efluentes líquidos domésticos de DBO₅, DQO e Sólidos Suspensos

Faixa de vazão (m ³ /d)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	SS (mg/L)
Q < 20	180	400	180
20 ≤ Q < 100	150	360	160
100 ≤ Q < 200	120	330	140
200 ≤ Q < 500	100	300	100
500 ≤ Q < 1000	80	260	80
1000 ≤ Q < 2000	70	200	70
2000 ≤ Q < 10.000	60	180	60
10.000 ≤ Q	40	150	50

(fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2006, p. 8)

O Art. 20 da Resolução do CONSEMA n. 128 (RIO GRANDE DO SUL, 2006), informa também a variação dos padrões de emissão para os parâmetros fósforo e coliformes termotolerantes ou *escherichia coli*, devendo atender aos valores de concentração estabelecidos ou operarem com a eficiência mínima fixada, em função das faixas de vazão referidas na tabela 2.

Tabela 2 – Padrões de emissão para efluentes líquidos domésticos para os parâmetros fósforo e coliformes termotolerantes

Faixa de vazão (m ³ /d)	Fósforo Total		Coliformes Termotolerantes	
	Concentração (mg P/L)	Eficiência (%)	Concentração (NMP/100 mL)	Eficiência (%)
Q < 200	-	-	-	-
200 ≤ Q < 500	-	-	10 ⁶	90
500 ≤ Q < 1000	-	-	10 ⁵	95
1000 ≤ Q < 2000	3	75%	10 ⁵	95
2000 ≤ Q < 10.000	2	75%	10 ⁴	95
10.000 ≤ Q	1	75%	10 ³	99

(fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2006, p. 9)

6 ALTERNATIVAS PROPOSTAS

Este trabalho propõe o estudo econômico de três alternativas para melhorias do esgotamento sanitário do Campus: a ligação no coletor tronco do DMAE, a construção de uma nova ETE, e a melhoria da ETE existente associada à ligação no coletor tronco do DMAE. A seguir, são detalhadas as alternativas.

6.1 COLETOR TRONCO

Nos últimos anos a administração pública do Município de Porto Alegre vem melhorando a sua rede de esgotamento sanitário através da implantação de coletores de grande diâmetro, estrategicamente projetados para reunir os esgotos gerados em sub-bacias com redes coletoras já implantadas que até o momento não dispunham de destino final adequado. Um desses coletores passa justamente pela área do Campus do Vale, dispõe-se ao longo do Arroio Dilúvio e apresenta-se como uma real alternativa para a destinação dos esgotos gerados no Campus. A ideia central desta alternativa é ligar as redes coletoras do campus a este coletor, transferindo a responsabilidade pelo tratamento de esgotos para o DMAE com a contrapartida financeira através de pagamento de tarifa.

De acordo com o atual Plano Diretor de Esgotos de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2010), a bacia em que se insere o Campus do Vale faz parte do sistema de esgoto sanitário Ponta da Cadeia (SES Ponta da Cadeia) e nesse Sistema, mais da metade da área de abrangência já dispõe de redes coletoras do tipo separador absoluto que convergem para o centro da cidade, por gravidade e/ou por recalque, através de estações de bombeamento de esgotos de grande porte existentes, projetadas e construídas segundo Planos Diretores anteriores. Nesta Bacia encontra-se o percentual mais significativo de redes coletoras de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, em comparação com outras regiões da cidade. Os esgotos sanitários coletados são conduzidos por coletores tronco e interceptores, localizados na maior parte próximo às margens do Arroio Dilúvio e que aportam na estação de bombeamento de esgoto (EBE) Baronesa do Gravataí. Desta EBE, os esgotos seguem para a EBE Ponta da Cadeia e, desta, através de emissário subaquático, são lançados no canal de navegação do Lago Guaíba.

A figura 17 demonstra a abrangência do sistema de esgotamento sanitário ponta da cadeia do qual os coletores que passam pelo Campus fazem parte.

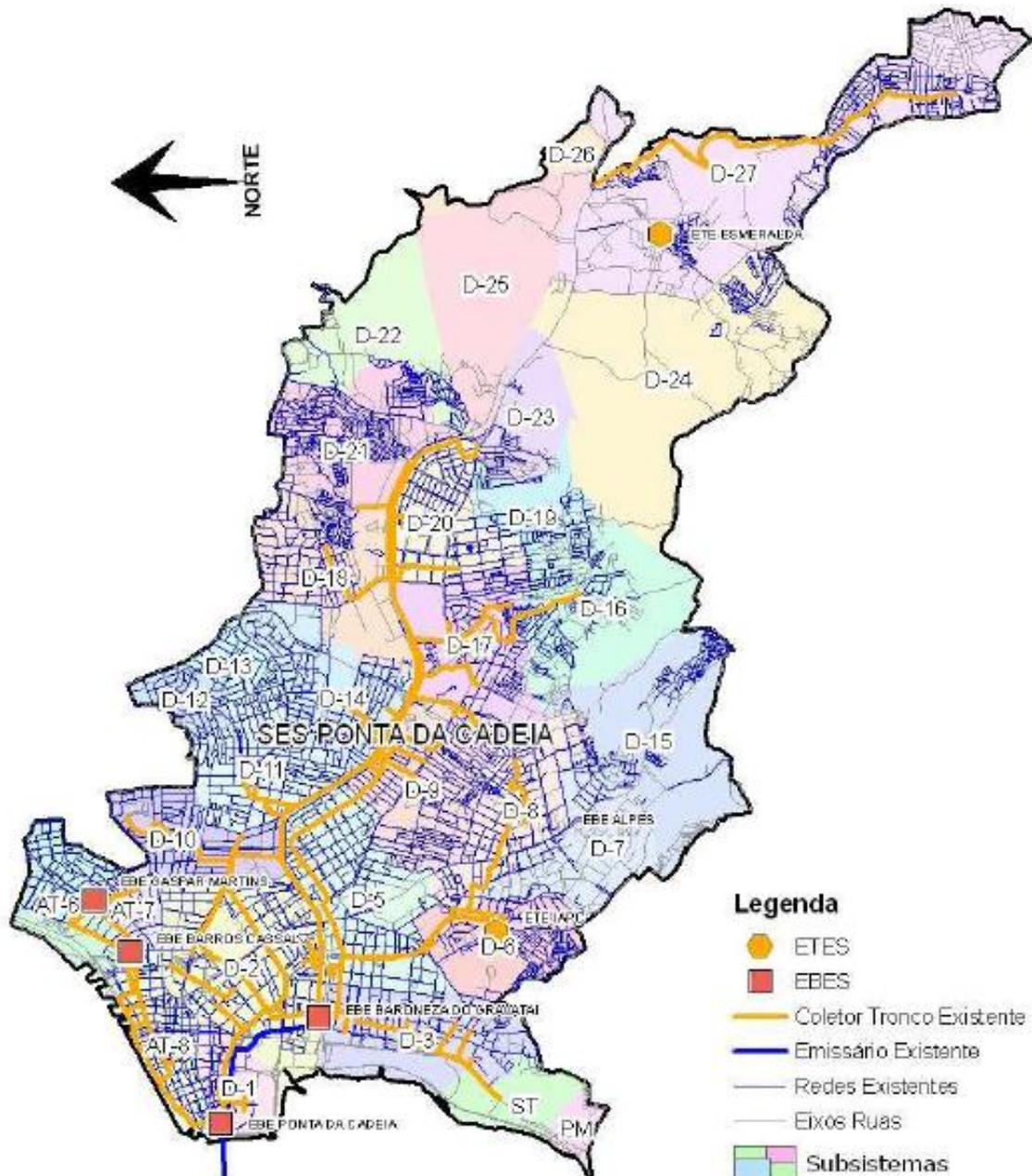
Figura 17 – Sistema de esgotamento sanitário ponta da cadeia



(fonte: PORTO ALEGRE, 2010)

Na figura 18 observa-se o detalhamento do SES Ponta da Cadeia, demonstrando os coletores tronco, as estações de bombeamento, as redes e as estações de tratamento. O Campus do Vale está situado no início do sistema sendo que o coletor D-27 estende-se pela área do Campus desde a área de testes do Laboratório de pavimentação (LPAV), passando pelo Colégio de Aplicação, Faculdade de Veterinária, até a Faculdade de Agronomia, ao longo da margem esquerda do Arroio Dilúvio.

Figura 18 – Detalhamento do Sistema de esgotamento sanitário ponta da cadeia



(fonte: PORTO ALEGRE, 2010)

6.2 NOVA ETE

As disponibilidades de área e condições topográficas favoráveis tornam a construção de uma nova estação de tratamento, a segunda alternativa viável para os efluentes gerados no Campus do Vale. De uma forma simplificada, o local pode ser encarado como uma bacia de contribuição que converge basicamente para a área das Faculdades de Veterinária e Agronomia, que são os pontos de menor cota altimétrica. Nos fundos da Faculdade de

Veterinária, há inclusive uma considerável área sem edificações, suficiente para implantação da referida ETE. Na figura 19 observa-se a bacia do Campus com as indicações das ETEs.

Figura 19 – Bacia do Campus do Vale/UFRGS



(fonte: elaborada pelo autor)

6.3 ETE EXISTENTE E COLETOR TRONCO

As duas primeiras alternativas não consideram a capacidade de tratamento da ETE existente no Campus. Entretanto como é uma estrutura já implantada, o seu aproveitamento deve ser estudado. Assim é interessante avaliar uma terceira alternativa, que consiste em aproveitar a ETE existente para tratar uma parcela de esgotos, associada à ligação das demais redes do Campus no coletor do DMAE.

A ETE existente (figuras 20 e 21) está localizada nas proximidades do terminal de ônibus. Nela o tratamento é feito por um reator de mistura completa no qual ocorrem todas as etapas de um processo de lodo ativado: mistura do efluente com o lodo ativado, aeração e degradação da matéria orgânica. O sistema é simplificado, sendo que a sedimentação do lodo se dá no próprio reator.

Esta estação recebe os esgotos gerados nos blocos I, II, III e IV (região conhecida como “anel viário”), sendo que um dos seus principais problemas está relacionado às ligações irregulares

de coletores pluviais, que, em eventos de chuva, retornam um esgoto de baixa carga orgânica, que prejudica o desenvolvimento bacteriológico, fundamental para este tipo de tratamento.

Nesta terceira alternativa, a ETE continuaria existindo, tratando os esgotos do anel viário. As demais redes do campus seriam ligadas a rede do DMAE.

Figura 20 – Localização ETE existente



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 21 – Reator



(fonte: foto do autor)

No próximo capítulo são estimados os custos de cada alternativa proposta para o esgotamento sanitário do Campus.

7 CUSTOS

De acordo com Tsutiya e Alem Sobrinho (2000, p. 24), “As redes de esgotos representam cerca de 75% do custo de implantação de um sistema de esgoto sanitário, os coletores tronco 10%, as elevatórias 1%, e as estações de tratamento 14%.”. Nas estações o custo varia de acordo com o processo e o nível de tratamento adotado. Segundo Campos (1999, p. 21), é preciso perceber as vantagens das soluções simples diante das condições ambientais, culturais e econômicas do Brasil, ou seja, reatores menos mecanizados e mais fáceis de serem construídos e operados.

Para Jordão e Pessôa (2005, p. 877), “Os custos de implantação da estação de tratamento dependerão em primeiro lugar do processo e do grau de tratamento adotados.”. A estimativa de custos deve prever custos de implantação e de operação. Conforme coloca Sperling (1996a, p. 234), os custos de implantação devem contabilizar custos de construção, compra ou desapropriação de terreno, projeto e supervisão e empréstimos durante a construção, os custos anuais devem contabilizar juro dos empréstimos, amortização dos empréstimos, depreciação da estação, seguro da estação e custos de operação e manutenção da estação.

7.1 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PROPOSTAS

A estimativa de custos de implantação e operação foi feita para as três alternativas: a ligação no coletor tronco do DMAE, a construção de uma nova ETE, e a melhoria da ETE existente associada à ligação no coletor tronco do DMAE.

7.1.1 Coletor tronco

O cálculo do volume de esgotos produzido foi feito a partir dos dados do consumo de água, verificados nas contas mensais administradas pela Superintendência de infraestrutura (SUINFRA), para o primeiro semestre de 2012. Os meses de janeiro e fevereiro foram excluídos por apresentarem valores muito abaixo da média dos outros meses. A tabela 3 mostra o volume de água consumido.

Tabela 3 – Consumo de água do Campus do Vale

CONSUMO DE ÁGUA (em m ³) 2012								
ENDEREÇO	RAMAL	HIDRÔMETRO	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	
			M ³					
Av. Bento Gonçalves, 10600 - IPH	1.225.162	F06N000005	3.558	3.614	3.537	3.626	3.348	
Av. Bento Gonçalves, 7570 - Odontologia	879.037	10000720	261	283	424	382	5	
Av. Bento Gonçalves, 7712 - Fac. Agronomia	2.402.335	23.001.206	250	170	225	78	44	
Av. Bento Gonçalves, 7712 - Casa Vegetação	879.029	A07N297717	127	107	145	130	15	
Av. Bento Gonçalves, 7712 - Fac. Agronomia	879.002	25.000.036	892	919	881	1.004	883	
Av. Bento Gonçalves, 7712 - Fac. Agronomia	879.010	26000034	296	352	292	341	272	
Av. Bento Gonçalves, 7712 / A - Plantas de Lavoura	2.111.454	10012224	512	524	542	633	690	
Av. Bento Gonçalves, 7712 / B - Plantas de Lavoura	2.111.462	10017596	268	248	48	28	81	
Av. Bento Gonçalves, 8670 - Of. Produção	878.987	A05N494774	21	5	16	33	206	
Av. Bento Gonçalves, 8804 - Fac. Veterinária	878.979	1962768	20	13	12	12	13	
Av. Bento Gonçalves, 8824 - Fac. Veterinária	2.116.235	A06N576385	137	129	45	50	21	
Av. Bento Gonçalves, 9090 - Fac. Veterinária	878.952	E08N000275	883	761	957	960	879	
Av. Bento Gonçalves, 9090 - Fac. Veterinária	2.231.719	A07N069227	364	147	405	364	336	
Av. Bento Gonçalves, 9320 - PPGEEMM	878.960	211722	295	5	5	5	2	
Av. Bento Gonçalves, 9802 - C Vale	878.944	J11XA00478	6.405	6.405	8.406	8.454	8.737	
Av. Protásio Alves, 9339 - Pref. Univ.	640.190	A01S557408	544	520	563	516	512	
SOMA			14.833	14.202	16.503	16.616	16.044	

(fonte: trabalho não publicado)¹

Segundo os dados da tabela 3, o consumo mensal médio de água é de 15.640,00m³ o que significa um volume de esgotos de 12.512,00m³ por mês, ou seja, uma vazão de 4,8l/s. Este cálculo leva em consideração o coeficiente de retorno de $C = 0,8$ sugerido na NBR 9649, que traz a seguinte definição: “Coeficiente de retorno é a relação média entre os volumes de esgoto produzido e de água efetivamente consumida.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986b, p. 2).

Pelo Decreto n. 17.603 (PORTO ALEGRE, 2011), que estabelece os preços cobrados pelos serviços de distribuição de água e remoção de esgotos prestados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), a remoção de esgotos sanitários para órgãos Públicos apresenta o preço básico de R\$ 4,64/m³.

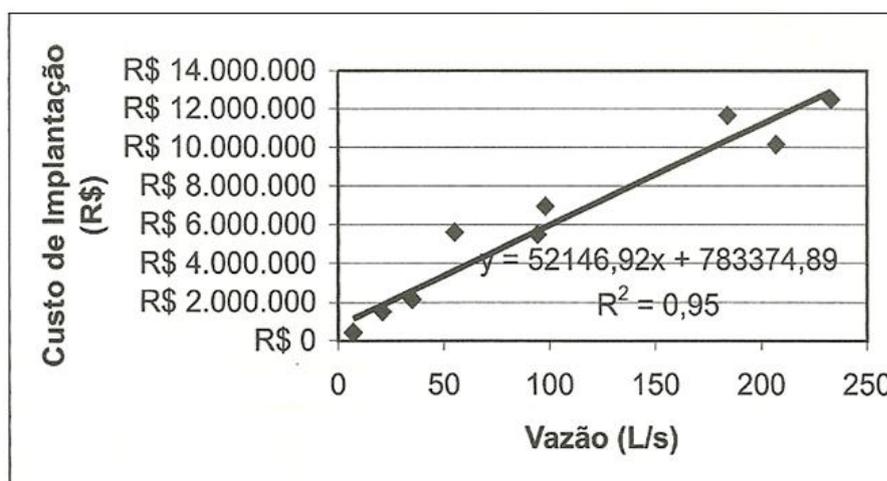
Desta forma, o custo mensal de operação para a primeira alternativa é estimado em R\$ 58.055,68.

¹ Tabela cedida pela Superintendência de infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul elaborada com base nos dados de consumo de água de 2012.

7.1.2 Nova ETE

A segunda alternativa possui dois custos associados: um relativo à operação e outro de implantação. Para estimativa de custos de implantação foi utilizada a equação proposta por Jordão e Pessoa (figura 22), que se baseou em estações já implantadas em alguns municípios brasileiros. Ela relaciona custos de implantação e vazão de tratamento.

Figura 22 – Custos de implantação para ETE lodos ativados batelada



(fonte: JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 883)

A vazão utilizada nesta estimativa também é a obtida nos dados da tabela 3 ($Q = 4,8\text{L/s}$), pois esta alternativa pressupõe que todos os esgotos gerados no campus serão destinados a nova ETE. Assim, o custo de implantação desta segunda alternativa é de R\$ 1.033.680,11.

O custo de operação desta ETE é composto pelo custo energético do reator e o custo de mão de obra para operar a estação continuamente. O custo energético de operação foi calculado com base na tabela 4

Tabela 4 – Consumo energético para ETEs

ETE	Q (l/s)	Índice de Energia		Índice de Lodos		Índice de Área (m ² /hab)
		Kwh/m ³	Kwh/hab.mês	g/m ³	g/hab.dia	
LE1	165	0,0701	0,2115	-	3,25*	2,325
LE2	150	0,1064	0,4960	-	-	5,203
LE3	84,5	0,0477	0,5177	-	-	3,603
Média das LE		0,0747	0,408	-	-	3,710
LA	Q (l/s)	0,2304	1,054	244,99	37,35	0,1765
	300					
RAFA	66	0,1179	0,531	4,38	0,658	0,3158

(fonte: CARDOSO, 2007, p. 33)

Segundo dados da tabela 4, para uma ETE tipo Lodos Ativados, o consumo energético é de 0,2304 Kwh/m³, o que, para uma vazão de 12.512m³/mês, retornam um consumo de 2.882 Kwh/mês. Considerando-se então um valor de R\$ 0,44/Kwh, resulta um custo energético mensal de R\$ 1.268,00.

O custo operacional relativo à mão de obra é de R\$ 15.800,00/mês, considera 3 operadores (técnicos em química) com salário mensal bruto e benefícios de R\$ 3.300,00, e 1 químico responsável com salário mensal bruto e benefícios de R\$ 5.900,00. Os valores foram estimados em função da tabela salarial da UFRGS para nível técnico e superior.

Assim, o custo total de operação da nova ETE é de R\$ 17.068,00 multiplicado por 2 devido necessidade de nitrificação que gera um aumento no consumo energético, mais os custos com laboratório e materiais de consumo resultando R\$ 34.136,00/mês.

7.1.3 ETE existente e Coletor Tronco

Essa alternativa associa a ligação dos esgotos das unidades do anel viário na ETE existente com a ligação das demais unidades (unidades fora do anel viário) no coletor tronco do DMAE. Então para a análise de custos, a contribuição foi dividida em duas parcelas: unidades do anel viário e fora do anel viário, conforme tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Consumo de água no anel viário

UFRGS / SUINFRA / PREFEITURA UNIVERSITÁRIA

CONSUMO DE ÁGUA (em m³) 2012

ENDEREÇO	RAMAL	HIDRÔMETRO	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
			M ³				
Av. Bento Gonçalves, 9320 - PPGEEMM	878.960	211722	295	5	5	5	2
Av. Bento Gonçalves, 9802 - C Vale	878.944	J11XA00478	6.405	6.405	8.406	8.454	8.737
Av. Protásio Alves, 9339 - Pref Univ	640.190	A01S557408	544	520	563	516	512
SOMA			7.244	6.930	8.974	8.975	9.251

(fonte: trabalho não publicado)²

Tabela 6 – Consumo de água fora do anel viário

CONSUMO DE ÁGUA (em m³) 2012

ENDEREÇO	RAMAL	HIDRÔMETRO	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
			M ³				
Av. Bento Gonçalves, 10600 - IPH	1.225.162	F06N000005	3.558	3.614	3.537	3.626	3.348
Av. Bento Gonçalves, 7570 - Odontologia	879.037	10000720	261	283	424	382	5
Av. Bento Gonçalves, 7712 - Fac.Agronomia	2.402.335	23.001.206	250	170	225	78	44
Av. Bento Gonçalves, 7712 - Casa Vegetação	879.029	A07N297717	127	107	145	130	15
Av. Bento Gonçalves, 7712 - Fac Agronomia	879.002	25.000.036	892	919	881	1.004	883
Av. Bento Gonçalves, 7712 - Fac Agronomia	879.010	26000034	296	352	292	341	272
Av. Bento Gonçalves, 7712 / A - Plantas de Lavoura	2.111.454	10012224	512	524	542	633	690
Av. Bento Gonçalves, 7712 / B - Plantas de Lavoura	2.111.462	10017596	268	248	48	28	81
Av. Bento Gonçalves, 8670 - Of Produção	878.987	A05N494774	21	5	16	33	206
Av. Bento Gonçalves, 8804 - Fac Veterinária	878.979	1962768	20	13	12	12	13
Av. Bento Gonçalves, 8824 - Fac Veterinária	2.116.235	A06N576385	137	129	45	50	21
Av. Bento Gonçalves, 9090 - Fac Veterinária	878.952	E08N000275	883	761	957	960	879
Av. Bento Gonçalves, 9090 - Fac Veterinária	2.231.719	A07N069227	364	147	405	364	336
SOMA			7.589	7.272	7.529	7.641	6.793

(fonte: trabalho não publicado)³

De acordo com os dados das tabelas 5 e 6, tem-se uma média de consumo de água no anel viário de 8.275m³/mês e 7.365m³/mês fora do anel viário. Considerando o coeficiente de retorno de 0,8, o volume de esgoto produzido no anel viário é 6.620m³/mês com vazão de 2,55l/s, e o volume produzido fora do anel é de 5.892m³/mês com vazão de 2,27l/s.

Assim, para estimativa de custos operacionais da ETE existente, tem-se que estimar custos energéticos e de mão de obra:

², ³ Tabela cedida pela Superintendência de infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul elaborada com base nos dados de consumo de água de 2012.

De acordo com a tabela 4, considerando o consumo energético de 0,2304Kwh/m³ para uma ETE com sistema lodos ativados, para a vazão de 6.620m³/mês, tem-se um consumo energético de 1.525 Kwh/mês. Assim, com o custo de referência de R\$ 0,44/kWh, tem-se um custo energético da ETE existente de R\$ 671,00/mês.

O custo da mão de obra para a ETE existente é o mesmo estimado no item 7.1.2 de R\$ 15.800,00/mês, pois leva em consideração o mesmo número de funcionários.

O custo operacional total da ETE existente é portanto o somatório dos custos anteriores (energético e mão de obra) de R\$ 16.471,00/mês.

A parcela referente a ligação no coletor tronco do DMAE também leva em consideração o Decreto n. 17.603 (PORTO ALEGRE, 2011), que estabelece o valor de R\$ 4,64/m³ para o serviço de remoção de esgotos sanitários para órgãos Públicos. Assim a ligação do efluente das unidades fora do anel viário no coletor tronco do DMAE, custa mensalmente R\$ 27.339,00. Desta forma o custo total desta alternativa é R\$ 43.810,00/mês.

7.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para a avaliação econômica das alternativas utilizou-se o método do valor presente líquido para um período de projeto de 20 anos. Por este método, determina-se o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros. As duas expressões para o cálculo do valor presente são expressas a seguir:

$$P = F / (1 + i)^n \quad (\text{fórmula 1})$$

$$P = A \times \{[(1 + i)^n - 1] / [i \times (1 + i)^n]\} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

P = valor presente;

F = valor futuro;

i = taxa de desconto anual;

n = número de anos do projeto;

A = gasto anual.

Os processos de engenharia econômica permitem a adaptação de dados a uma forma que permita que estes sejam comparados com os de outras alternativas homogeneamente (SPERLING, 1996a, p. 235). Através do método do valor presente líquido, de acordo com as fórmulas 1 e 2, foi feito um comparativo do custo das alternativas propostas e os valores são demonstrados na tabela 7.

Tabela 7 – Avaliação econômica das alternativas

Descrição	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Coletor Tronco	Nova ETE	ETE existente e Coletor
Custo implantação		R\$ 1.033.680,11	
Custo operação (mensal)	R\$ 58.055,68	R\$ 34.136,00	R\$ 43.810,00
Juros	6% aa	6% aa	6% aa
Período de projeto (anos)	20	20	20
Valor presente operação	R\$ 8.103.456,61	R\$ 4.764.729,22	R\$ 6.115.033,61
Valor presente total	R\$ 8.103.456,61	R\$ 5.798.409,33	R\$ 6.115.033,61

(fonte: elaborada pelo autor)

Na tabela 7, observa-se o custo total, no valor presente, de cada alternativa. No próximo capítulo são feitas as considerações finais.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta pesquisa foram estimados os investimentos necessários para três alternativas de melhoria do sistema de esgotamento sanitário do Campus do Vale, que vêm expandindo suas estruturas físicas através da construção de novas edificações. Das alternativas analisadas, a construção de uma nova estação de tratamento de esgotos é que apresenta o menor custo para o período de projeto analisado (20 anos). As demais alternativas também são tecnicamente viáveis, podendo-se salientar que a ligação da rede do campus no coletor tronco tem a vantagem de transferir a responsabilidade sobre os tramites ambientais para o DMAE que tem o saneamento como atividade fim, e sendo familiarizado com a questão é possivelmente uma alternativa de implantação mais imediata, tendo em vista principalmente que suas ETEs já estão em fase de construção com as licenças ambientais em fase de liberação.

A segunda alternativa, uma nova ETE exigiria projeto, licenciamento e execução implicando em um tempo mais longo para início de operação. Além disso, não foram considerados neste trabalho os custos com licenciamento ambiental, pois não se encontrou bibliografia referente a este assunto. Esta alternativa também pode trazer problemas administrativos os gestores da UFRGS, pois tendo em vista as incertezas econômicas no âmbito do Governo Federal e a atividade fim da Universidade (ensino, a pesquisa e extensão), se não forem mantidas as políticas públicas adequadas, a operação da nova ETE pode ficar prejudicada, com a responsabilidade de seus danos ambientais sobre a universidade.

Esse trabalho foi baseado na tarifa do DMAE de R\$ 4,64/m³ para remoção esgoto junto a órgãos públicos. Entretanto, se este valor, elevado em relação à tarifa doméstica, for negociado junto ao poder municipal, a ligação de todos os esgotos na rede do DMAE, pode se tornar a alternativa mais vantajosa para a instituição de ensino.

Por fim recomenda-se cadastrar as redes de esgoto existentes, investir em programas de redução de perdas e implementar a ETE existente através de sua automatização. Para qualquer uma das alternativas sugere-se que a ETE existente permaneça em operação, mesmo que parcial, para servir de estrutura de ensino para o IPH.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986a.

_____. **NBR 9649**: projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986b.

BRASIL. **Lei n. 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979; 8.036, de 11 de maio de 1990; 8.666, de 21 de junho de 1993; 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 24 maio 2012.

CAMPOS, J. R. (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CARDOSO, C. S. G. **Proposta para o desenvolvimento de um indicador de ecoeficiência em ETEs**. 2007. 46 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2012.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Plano Diretor de Esgotos**. 5. ed. Porto Alegre, 2010.

_____. Decreto n. 17.603, de 29 de dezembro de 2011. Estabelece os preços a serem cobrados, pelos serviços de distribuição de água e remoção de esgotos prestados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE). Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=215>. Acesso em: 10 set. 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução n. 128, de 24 de novembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2006. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id4887.htm>>. Acesso em: 24 maio 2012.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996a.

_____. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil. **Revista Água Latinoamérica**, Tucson, v. 4, n. 4, p. 20-25, jul./ago. 2004. Disponível em: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/070804%20Sanitario%20Brasil_port.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2012.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200007&script=sci_arttext>. Acesso em: 18 jul. 2012.