

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

Clarice Stella Portz

**SISTEMA DE ESGOTAMENTO COMBINADO: ADOÇÃO
COMO FASE INICIAL PARA VIABILIZAR OBRAS DE
SANEAMENTO INTEGRANDO QUESTÕES
SANITÁRIAS E AMBIENTAIS**

Porto Alegre
dezembro 2009

CLARICE STELLA PORTZ

**SISTEMA DE ESGOTAMENTO COMBINADO: ADOÇÃO
COMO FASE INICIAL PARA VIABILIZAR OBRAS DE
SANEAMENTO INTEGRANDO QUESTÕES
SANITÁRIAS E AMBIENTAIS**

Trabalho de Diplomação a ser 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 2009

CLARICE STELLA PORTZ

**SISTEMA DE ESGOTAMENTO COMBINADO: ADOÇÃO
COMO FASE INICIAL PARA VIABILIZAR OBRAS DE
SANEAMENTO INTEGRANDO QUESTÕES
SANITÁRIAS E AMBIENTAIS**

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 2009

Prof. Dieter Wartchow
Dr. pela Universidade de Stuttgart
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Eng. Carlos Alberto Bertuol Machado (CORSAN-RS)
Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Diego Altieri da Silveira (UFRGS)
Msc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dieter Wartchow
Dr. pela Universidade de Stuttgart

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido força e perseverança.

Aos meus pais e namorado pelo apoio e estímulo dedicado no transcorrer deste trabalho.

Ao Prof. Dieter Wartchow, orientador deste trabalho pela atenção, paciência e apoio dedicado. Sua orientação foi indispensável para o desenvolvimento do mesmo.

A Prof. Carin Schmitt pela dedicação e auxílio na formatação e apresentação desta pesquisa.

Aos meus colegas que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho.

O homem precisa de um novo tipo de relação com a natureza; uma relação que seja de integração, em vez de domínio; uma relação de pertencer a ela, em vez de possuí-la.

Pierre Weil

RESUMO

PORTZ, C. S. **Sistema de esgotamento combinado**: adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais. 2009. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O referente trabalho aborda a necessidade de modificações nas técnicas utilizadas quanto ao esgotamento sanitário adotado nas grandes cidades. A crescente poluição de arroios e rios próximos às concentrações urbanas demonstra que a drenagem urbana é uma grande fonte de contaminação dos recursos hídricos, levando consigo parcela de esgoto sanitário além de poluição difusa. Parte da população que não dispõe de redes de esgoto utiliza as redes pluviais para coleta e transporte de esgoto doméstico. Dessa forma, o esgoto gerado pela população acaba por desaguar nos corpos d'água sem tratamento algum, conferindo elevada concentração de poluentes aos corpos receptores. Frente a esta realidade, o trabalho propõe, numa fase inicial, a gestão integrada entre a drenagem pluvial e o sistema de esgotamento sanitário nas cidades, como forma de viabilizar obras de saneamento para que maior parte da população possa ser atendida por esses serviços. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos problemas gerados pela falta de redes de esgoto nas cidades, a ineficiência na operação dos sistemas separadores e sobre as características do sistema combinado, utilizado em países mais desenvolvidos. A revisão bibliográfica contempla também um pequeno capítulo relacionado a concepção de projetos de saneamento, destacando as bases de projeto e parâmetros para avaliação financeira. Em seguida, foi feito um estudo técnico e econômico referente às alternativas propostas pelo Plano Diretor de Saneamento do Município de Bagé, que prevê a implantação de redes de esgotamento sanitário por etapas, com a construção de estações de tratamento de esgotos, partindo da utilização das redes pluviais existentes adaptando-as a um sistema combinado, passando por uma fase de transição e finalizando com o sistema separador absoluto. O levantamento de aspectos técnicos referentes à implantação de obras de saneamento por etapas, utilizando o sistema de esgoto combinado, se faz importante para a confecção de uma norma técnica que regulamente esse tipo de sistema no Brasil. Assim, será possível viabilizar obras de saneamento com mais rapidez, menores custos e impactos ambientais.

Palavras-chave: sistemas de esgoto sanitário; viabilidade econômica; técnicas alternativas; tratamento de esgotos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: delineamento da pesquisa	15
Figura 2: hietograma, hidrograma, polutograma e carga acumulada de DQO no escoamento da Bacia dos Açorianos	21
Figura 3: fluxograma da identificação da situação de esgotamento	24
Figura 4: alternativas de gestão para empreender sistemas de esgotamento sanitário	24
Figura 5: sistema de esgoto separador absoluto	25
Figura 6: medição do sistema de esgoto da cidade de Tatuí – SP	26
Figura 7: sistema de esgoto combinado	28
Figura 8: variação da vazão em período seco e úmido em um sistema unitário	28
Figura 9: dispositivos de desvio e coleta de água pluvial em grandes bacias	31
Figura 10: dispositivos de desvio e coleta de água pluvial em pequenas bacias	31
Figura 11: determinação do volume permitido	42
Figura 12: dispositivo de desvio de águas pluviais	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: vazões máximas afluentes às ETE durante período de precipitação	30
Quadro 2: parâmetros utilizados para cálculo de vazões	48
Quadro 3: projeção de contribuições sanitárias	49
Quadro 4: contribuições do sistema de esgoto combinado da alternativa 1	53
Quadro 5: contribuições do sistema de esgoto combinado da alternativa 4	54
Quadro 6: investimento por unidades do sistema de esgoto sanitário	56
Quadro 7: investimentos totais por etapas para as alternativas 1 e 4	56
Quadro 8: taxas utilizadas na avaliação econômica	58
Quadro 9: análise econômica da alternativa 1	59
Quadro 10: análise econômica da alternativa 4	60
Quadro 11: indicadores de avaliação econômica das alternativas 1 e 4	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MÉTODO DE PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	13
2.2.1 Objetivo principal	13
2.2.2 Objetivo Secundário	13
2.3 HIPÓTESES	14
2.4 PREMISSAS	14
2.5 DELIMITAÇÕES	14
2.6 LIMITAÇÕES	14
2.7 DELINEAMENTO	14
2.7.1 Pesquisa bibliográfica	15
2.7.2 Análise do caso de Bagé	16
2.7.3 Análise de resultados	16
2.7.4 Conclusões	16
3 O DESAFIO DA INTEGRAÇÃO SANITÁRIA E AMBIENTAL	17
3.1 IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO NOS CORPOS RECEPTORES	17
3.1.1 O escoamento pluvial urbano	19
3.1.2 Saneamento básico no Brasil	21
3.2 SISTEMAS DE ESGOTO SANITÁRIO	23
3.2.1 Sistema de esgoto separador absoluto	25
3.2.2 Sistema de esgoto combinado	27
3.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	32
3.4 A ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTO MISTO COMO ALTERNATIVA SANITÁRIA E AMBIENTAL	34
3.4.1 Praia de Ipanema	36
3.4.2 Esgotamento sanitário de Caxias do Sul	37
4 CONCEPÇÃO DE PROJETOS DE SANEAMENTO	39
4.1 BASES DE PROJETO	40
4.2 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA	43
5 ESTUDO DAS ALTERNATIVAS PROPOSTAS PELO PLANO DIRETOR DE SANEAMENTO DO MUNICÍPIO DE BAGÉ/RS	46
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PROJETO E SISTEMA EXISTENTE	46

5.2 BASES DE PROJETO	47
5.3 ALTERNATIVAS PROPOSTAS	49
5.3.1 Alternativa 1	52
5.3.2 Alternativa 4	53
5.4 ESTIMATIVA DE INVESTIMENTOS	55
5.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS	56
5.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	61
6 CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das cidades originando os grandes centros urbanos, aliado a falta de planejamento principalmente de ordem sanitária, traz consigo preocupações constantes relacionadas ao meio ambiente e ao bem estar da população. A falta de tratamento dos efluentes domésticos repercute na qualidade dos corpos hídricos, gerando severos problemas de poluição difíceis de serem solucionados.

Um dos motivos para a crescente poluição dos corpos hídricos está na incorreta utilização das redes pluviais. A falta de infraestrutura sanitária leva a população a ligar suas saídas de esgoto doméstico à rede pluvial, uma vez que muitos locais contam apenas com redes de drenagem. Esta é uma realidade vivenciada no Brasil, onde o sistema de esgoto prevê a separação de águas pluviais e efluentes domésticos e industriais, mas que na prática não se viabiliza. O controle no lançamento de efluente nas redes não é efetivo, permitindo a existência de ligações clandestinas às mesmas, o que compromete o sistema separador. O tratamento dos esgotos e a incorreta funcionalidade do sistema atual têm sido desprezados pelos órgãos responsáveis, sendo o descaso o principal responsável pela saúde dos nossos corpos receptores.

Diferente do que ocorre no Brasil, os países da Europa e América do Norte são exemplos de boa funcionalidade sanitária e preocupação ambiental. Lá, não apenas as águas residuárias são encaminhadas ao tratamento, mas também as águas pluviais que carregam quantidades significativas de poluentes oriundos do ar, ruas, edificações e superfícies sem limpeza com deposição de lixo, contribuindo para a poluição dos cursos d'água. Em tempo seco os efluentes gerados pela população são direcionados ao tratamento e em períodos de chuva é possível tratar a parcela mais comprometida de águas pluviais através de *by pass*.

Devido a pouca visibilidade política e a falta de verbas para investimentos na área de saneamento, que representam altos valores e por isso deixam de ser implantados, uma alternativa é a adoção de um sistema de esgotamento combinado como etapa de transição a um sistema separador absoluto, com o aproveitamento das redes existentes para a coleta de esgotos. Assim, os esgotos domésticos e águas pluviais são encaminhados através de uma

Sistema de esgotamento combinado: adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais

mesma rede às ETE, possibilitando uma maior cobertura de sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgoto para a população e, ao mesmo tempo, diminuindo a poluição dos cursos d'água.

Frente a esta proposta, o trabalho em questão aborda uma nova concepção na coleta e tratamento de esgotos, através do estudo do Plano Diretor do Município de Bagé/RS, onde foram elaboradas quatro alternativas para sanear a cidade, utilizando o sistema combinado como etapa inicial de implantação de redes de esgoto no Município. Através da análise deste Plano Diretor e levantamento de aspectos importantes para sua utilização, será possível avaliar se este tipo de sistema de esgotamento se torna viável para implantação no Brasil, representando menores custos por utilizar as redes pluviais já existentes e melhorias tanto sanitárias como ambientais.

A necessidade de priorização da questão ambiental faz com que o sistema de esgotamento adotado no País seja repensado tecnicamente, de forma a rever sua atual eficiência. A falta de controle no lançamento de efluentes nos corpos receptores deve ser debatida entre as autoridades pertinentes, propondo métodos que minimizem a poluição presente nos rios e arroios próximos as grandes cidades.

O trabalho divide-se em seis capítulos, iniciando pela introdução, onde é possível interar-se à proposta do trabalho. O segundo capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado, contendo a questão de pesquisa, os objetivos principal e secundário, hipóteses, premissas, delimitações e limitações consideradas para o seu desenvolvimento, bem como o delineamento do projeto. Os capítulos três e quatro dizem respeito à pesquisa bibliográfica referente aos sistemas de esgotamento e a elaboração de projetos de saneamento respectivamente, os quais são objetos de estudo no capítulo seguinte, onde são desenvolvidos a análise documental e seus resultados. O último capítulo é reservado para as conclusões do trabalho, encerrando a discussão acerca do tema proposto.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: o sistema de esgotamento combinado pode ser implantado como primeira fase de um sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é o estudo de viabilidade de implantação de sistemas de esgoto sanitário combinado como primeira fase de um sistema separador absoluto com tratamento.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário deste trabalho é o detalhamento de aspectos técnicos, econômicos e ambientais que devem ser levados em conta para a aceitação do sistema de esgoto combinado.

2.3 HIPÓTESES

A hipótese do trabalho é de que o sistema de esgotamento sanitário combinado pode ser implantado como fase inicial de um sistema de esgotamento sanitário separador absoluto.

2.4 PREMISSAS

Como premissa tem-se a necessidade de abordagem de um novo sistema de esgoto sanitário visto que o ideal torna-se muitas vezes impraticável financeiramente e parte do sistema separador opera de maneira imprópria devido às ligações irregulares.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo das alternativas propostas para o sistema de esgotamento sanitário do município de Bagé/RS.

2.6 LIMITAÇÕES

As limitações referentes ao estudo proposto estão relacionadas às poucas referências bibliográficas e a falta de norma técnica ou regras sobre o sistema de esgotamento combinado para auxiliar a elaboração do trabalho, em virtude da não aceitação do sistema pelos órgãos ambientais no País.

2.7 DELINEAMENTO

O delineamento do trabalho abrange as seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;

- b) definição e análise dos sistemas de esgoto sanitários implantados no Brasil e em outros países e concepção de projetos de saneamento;
- c) estudo das alternativas de projeto para o sistema de esgoto sanitários do município de Bagé/RS;
- d) análise de resultados do caso estudado;
- e) conclusões.

A representação esquemática do delineamento é apresentada na figura 1 e as etapas da pesquisa são detalhadas a seguir.

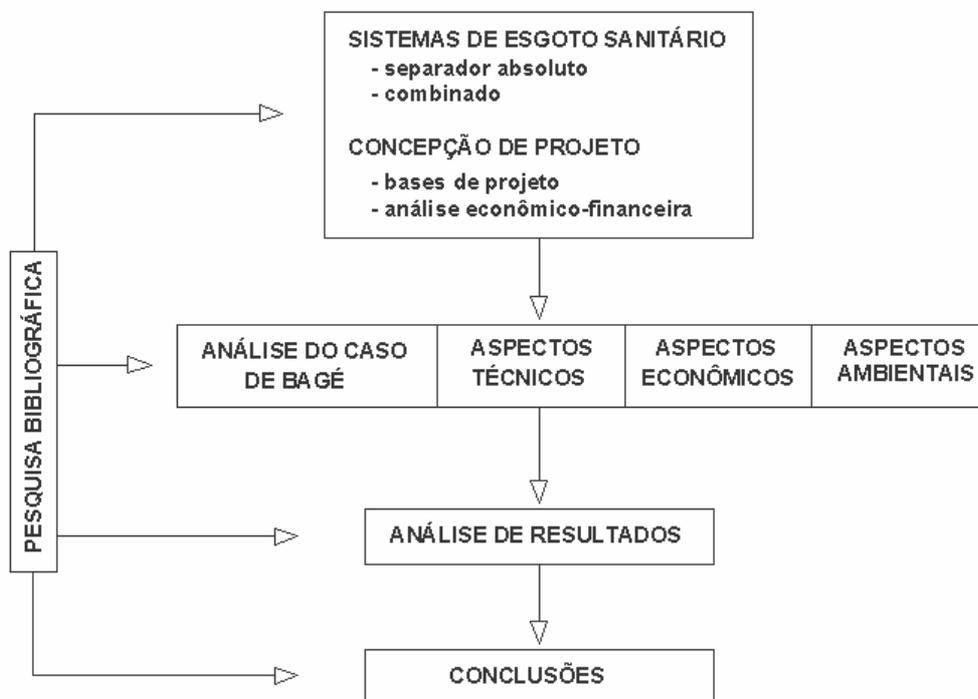


Figura 1: fluxograma do delineamento da pesquisa

2.7.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi efetiva ao longo de todo o trabalho. Inicialmente, foi realizada pesquisa para a definição e características dos sistemas de esgotos adotados no Brasil e em países desenvolvidos, assim como as consequências geradas pela incorreta operação dos

sistemas sanitários e pluviais. A outra etapa da pesquisa focou-se na concepção de projetos de saneamento, determinando os parâmetros chaves de projeto e estudo de viabilidade econômica.

2.7.2 Análise documental

Neste capítulo fez-se uma análise documental do Plano Diretor de Saneamento do Município de Bagé que propõe quatro alternativas para implantação de obras de saneamento na cidade. As alternativas definem a implantação da obra em etapas, iniciando pela adaptação do sistema de drenagem pluvial a um sistema do tipo combinado e finalizando com o sistema separador, sendo previstas estações de tratamento de esgotos. Os esgotos sanitários lançados atualmente no sistema de drenagem pluvial serão conduzidos juntamente com águas pluviais para elevatórias e desta para uma estação de tratamento de esgotos. Através de um levantamento de aspectos técnicos, econômicos e ambientais das alternativas propostas, estudou-se a viabilidade de implantação dessas obras.

2.7.3 Análise de resultados

Após o estudo das alternativas do Plano Diretor de Saneamento de Bagé, foi feita uma análise de resultados, de forma a avaliar se o sistema combinado pode realmente ser uma alternativa eficaz do ponto de vista econômico, ambiental e sanitário para implantação de obras de saneamento nas cidades, acelerando o processo de implantação de redes de coleta, afastamento e tratamento de esgotos.

2.7.4 Conclusões

Através da pesquisa bibliográfica realizada durante o trabalho e dos resultados obtidos no caso de Bagé, foi possível chegar a uma conclusão a respeito da implantação de obras de saneamento por etapas, utilizando o esgoto combinado como sistema parcial de esgotamento.

3 O DESAFIO DA INTEGRAÇÃO SANITÁRIA E AMBIENTAL

Diante da realidade vivenciada hoje no Brasil, na qual a questão sanitária está dissociada da questão ambiental, este trabalho propõe discutir aspectos relacionados a técnica de coleta de esgotos sanitários e sua viabilidade econômica de implantação, com a visão voltada ao meio ambiente, de forma a protegê-lo e recuperá-lo da constante poluição à qual está submetido. A carência de redes de esgotos nas cidades e a incorreta funcionalidade do sistema separador aliado a escassez de recursos financeiros destinados às obras de infraestrutura sanitária, abrem espaço para discussões voltadas a otimização dos recursos e planejamento estratégico.

Este capítulo aborda assuntos referentes às principais causas e conseqüências da poluição que atinge os corpos d'água, como a incorreta disposição de esgotos domésticos, a contribuição de poluentes trazidos através de enxurradas e as vantagens de tratar a parcela inicial de águas pluviais. Além destes itens, são apresentados também os sistemas de esgotamento adotados em diferentes locais, de forma a traçar seus perfis de utilização e peculiaridades, assim como o papel da legislação e dos órgãos ambientais no licenciamento de obras de saneamento.

Frente ao desafio de empreender redes de esgotamento com recursos limitados, o último item deste capítulo destaca questões como a falta de interesse dos órgãos responsáveis e a visão estratégica dos engenheiros sanitaristas. A visão cartesiana não tem mais espaço frente a procura de alternativas que minimizem os problemas gerados pela omissão política, uma vez que a qualidade dos recursos hídricos e o bem estar da população foram mantidos no esquecimento.

3.1 IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO NOS CORPOS RECEPTORES

O desordenado crescimento urbano tem ocorrido de forma insustentável, devido à falta de planejamento, legislação, fiscalização e controle na sua expansão. As redes de esgoto pluvial

Sistema de esgotamento combinado: adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais

têm servido como coletores de esgotos domésticos, devido à ausência de redes de esgotos sanitários nas cidades (trabalho não publicado)¹.

As cidades cresceram com baixa cobertura de redes de coleta de esgotos, além da quase falta de tratamento dos efluentes. Em cidades com pequena densidade populacional utiliza-se, por exemplo, tratamento individualizado por fossa séptica para a disposição de esgotos, que necessita de manutenção periódica para manter sua eficiência no tratamento. Com o crescimento das cidades e a falta de investimento do poder público, as ligações domiciliares acabam sendo conectadas à rede de esgoto pluvial, desaguando nos cursos d'água mais próximos. Essa postura compromete o sistema fluvial e gera impactos na qualidade da água (TUCCI, 2002, p. [3]).

Para Tucci (2005, p. 24), a contaminação dos cursos d'água por efluentes gerados pela população urbana se deve à:

- despejo sem tratamento dos esgotos cloacais nos rios, contaminando os rios que possuem capacidade limitada de diluição. Isso ocorre por conta da falta de investimentos nos sistemas de esgotamento sanitário e de estações de tratamento que, quando existem, apresentam baixa eficiência;
- despejo dos esgotos pluviais, que transportam grande quantidade de poluição orgânica e de metais, que atinge os rios nos períodos chuvosos. Essa é uma das mais importantes poluições difusa;
- contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos, através de fossas sépticas, do vazamento do sistema de esgoto sanitário e pluvial;
- depósitos de resíduos sólidos urbanos que contaminam as águas superficiais e subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação;
- ocupação do solo urbano sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico.

A incorreta disposição dos esgotos gera problemas relacionados a saúde pública, comprometendo a qualidade de vida à população. O esgoto a céu aberto é uma fonte contínua de transmissão de doenças de veiculação hídrica, por meio do contato das pessoas com o esgoto ou através de insetos e animais que se multiplicam nesses locais. Segundo Tucci (2002, p. [3]), as doenças de veiculação hídrica podem ocorrer devido a fatores como falta de água segura de abastecimento, higiene (relacionadas com a educação), inundações e doenças relacionadas ao ambiente e a disposição da água.

¹ Apostila da disciplina Tratamento de Água do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Qualidade da Água para Consumo Humano, de Carmen Maria Barros de Castro, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 34 f., p. 9, agosto 2005.

A contaminação dos mananciais por esgotos sanitários e resíduos sólidos resulta na necessidade de tratamentos mais eficazes e mais caros da água bruta nas estações de tratamento de água. Assim, os próximos itens abordam problemas relacionados a poluição difusa gerada no escoamento pluvial urbano e a situação do saneamento básico no Brasil.

3.1.1 O escoamento pluvial urbano

Além dos despejos de esgotos domésticos e efluentes industriais não tratados, os corpos d'água recebem o volume de águas pluviais através da rede de drenagem. A água proveniente das chuvas que escoam por superfícies impermeáveis, construções, depósitos de lixo e resíduos industriais, carrega consigo parcela significativa de cargas poluidoras, definidas como poluição de origem difusa (PORTO, 1995, p. 387-388).

Esta carga poluente é mais substancial no início do escoamento, uma vez que o primeiro fluxo de água varre as superfícies e carrega grande quantidade de poluentes como metais pesados, nutrientes, óleos e graxas, bactérias, sólidos suspensos e matéria orgânica. Este fenômeno é denominado de carga de lavagem, em inglês *first flush flow*, e interfere substancialmente na qualidade dos cursos d'água (WARTCHOW; DORNELES, 1990).

As condições que caracterizam as fontes difusas de poluição são as seguintes (NOVOTNY, 1991² apud PORTO, 1995, p. 388):

- o lançamento de carga poluidora é intermitente e está relacionado a precipitação;
- os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- as cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque não é possível identificar exatamente sua origem;
- o controle da poluição de origem difusa, obrigatoriamente, deve incluir ações sobre a área geradora da poluição, ao invés de incluir, apenas, o controle do efluente quando do lançamento;
- é difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia de acordo com a intensidade e a duração do evento meteorológico, a extensão da área de produção naquele específico

² NOVOTNY, V. Urban diffuse pollution: sources and abatement. **Water Environment & Technology**, v. 3, n. 12, Dec. 1991.

evento e com outros fatores que tornam a correlação vazão x carga poluidora praticamente impossível de ser estabelecida.

Para Ide (1984, p. 98), a qualidade do corpo receptor pode ser afetada de várias maneiras quando poluentes são arrastados aos cursos d'água pelo escoamento pluvial. Através dos valores médios de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e coliformes presentes no escoamento, é possível prever os efeitos que esta água causa ao corpo receptor, tais como contaminação bacteriana, depleção de oxigênio, enriquecimento de nutrientes e efeitos tóxicos.

Ainda conforme Ide (1984), através da figura 2 pode ser observado o efeito da carga de lavagem para um evento de chuva na Bacia dos Açorianos. Em uma canalização com tempo de percurso pequeno, inferior a 20 minutos, os primeiros 10% da vazão total escoada contém cerca de 90% da carga poluente. Neste caso, a carga de DQO (demanda química de oxigênio) foi mais alta após os primeiros 15 minutos de chuva, apresentando um valor de 429,20 mg/l. Ao final do evento a concentração era de 7,15 mg/l.

Como forma de auxiliar no combate a poluição dos cursos d'água pela drenagem pluvial urbana, Ide (1984, p. 99-100) faz algumas recomendações:

- a) prosseguir com estudos relativos ao grau de severidade da carga poluidora advinda da drenagem pluvial;
- b) desenvolver métodos eficazes para a melhor disposição e tratamento necessário da drenagem pluvial urbana;
- c) criar legislação específica para o desenvolvimento de medidas que minimizem os impactos causados pela mesma aos corpos receptores.

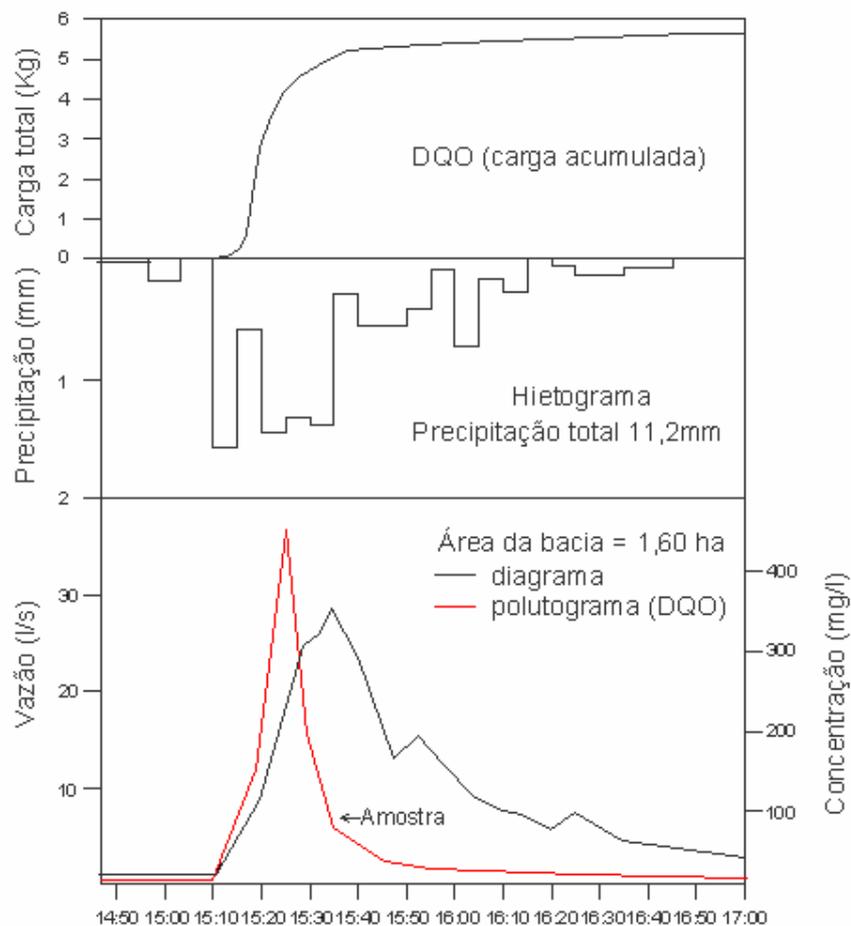


Figura 2: hietograma, hidrograma, polutograma e carga acumulada de DQO no escoamento da Bacia dos Açorianos da chuva do dia 03/07/84 (IDE, 1984)

3.1.2 Saneamento básico no Brasil

Conforme a Lei Federal n. 11.445 (BRASIL, 2007), o saneamento básico trata de um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e águas pluviais urbanas. Estes serviços públicos estão baseados nos seguintes princípios fundamentais:

- a) universalização do acesso;
- b) integralidade dos serviços conforme a necessidade da população e maximização da eficácia das ações;
- c) serviços públicos realizados de forma adequada a saúde pública e a proteção do meio ambiente;

- d) disponibilidade de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais em todas as áreas urbanas, adequados a saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- e) 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;
- f) eficiência e sustentabilidade econômica;
- g) utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
- h) transparência de ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- i) controle social;
- j) segurança, qualidade e regularidade;
- k) integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Observando a atual situação do saneamento básico no Brasil, pode-se dizer que estamos distantes de alcançar o limite de atendimento desejado, seja por falta de recursos ou por omissão das autoridades. Conforme pesquisa realizada pela Fundação Getúlio Vargas (2007, p. 5), a falta de saneamento atinge hoje 53% da população brasileira e vai afetar o País ainda no próximo século. A velocidade de expansão do esgotamento sanitário tem sido inferior à oferta de outros serviços públicos como rede geral de água, coleta de lixo e eletricidade.

Investindo em redes de coleta e tratamento de esgotos os gastos com saúde pública seriam consideravelmente reduzidos, uma vez que saneamento implica em saúde e qualidade de vida. À medida que a população dispõe de cobertura de redes de esgotos e abastecimento de água, a incidência de doenças é reduzida visto que grande parte destas está relacionada com a falta de solução adequada à disposição final dos esgotos (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2007, p. 27).

De acordo Tucci (2002, p. [3]), nos países em desenvolvimento a principal preocupação é a contaminação dos mananciais e o aumento do risco de consumo de águas contaminadas. Esse problema decorre da falta de esgotos tratados e levanta as seguintes questões:

- Quando as redes de esgoto são implementadas ou projetadas não tem sido prevista a ligação da saída das habitações ou condomínios às redes. Desta forma, as redes não coletam o esgoto projetado e as estações não recebem o esgoto para o qual tem a capacidade. Neste caso, ou o projeto foi elaborado de forma inadequada, ou não foi executado como deveria. Como o esgoto continua escoando pelo pluvial para o sistema fluvial, o impacto ambiental continua alto. A conclusão é que os investimentos públicos são realizados de forma inadequada, atendendo apenas as empresas de engenharia (obras) e não a sociedade que aporta os recursos;
- Como uma parte importante das empresas cobra pelo serviço de coleta e tratamento, mesmo sem o tratamento ser realizado, qual será o interesse das mesmas em completar a cobertura de coleta e tratamento do esgoto?
- Quando for implementado o sistema de cobrança pela poluição, quem irá pagar as penas previstas para a poluição gerada?

3.2 SISTEMAS DE ESGOTO SANITÁRIO

Os sistemas de esgoto sanitário consistem em um conjunto de condutos que têm por objetivo coletar, transportar, tratar e dispor o esgoto de forma adequada, respeitando o meio ambiente e zelando pela saúde pública. Para que seja considerado eficiente, o sistema de esgotamento sanitário deve cumprir com a coleta e remoção rápida e segura dos efluentes, prevendo sua disposição final, de forma a diminuir ou eliminar doenças de veiculação hídrica, proporcionando melhoria das condições de conforto e bem estar da população.

Através do fluxograma da figura 3 é possível visualizar as diferentes configurações que o sistema de esgotamento sanitário pode apresentar (BERNARDES; SOARES, 2004). Já o fluxograma da figura 4 apresenta o delineamento de um problema comum no Brasil, a falta de recursos para empreender sistemas de esgoto, e propõe uma alternativa para levar o acesso a coleta, transporte a tratamento de esgotos à população.

Conforme a figura 3, a falta de sistemas de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais caracterizam a total ausência de infraestrutura sanitária e a necessidade de planejamento da questão sanitária local, característica da população mais carente e/ou fixadas em área ribeirinhas. Já a existência de redes de drenagem pluvial e de esgotos sanitários do tipo separador caracteriza o sistema de esgoto utilizado no Brasil, considerado ideal sob o ponto de vista técnico por manter águas pluviais separadas de águas servidas.

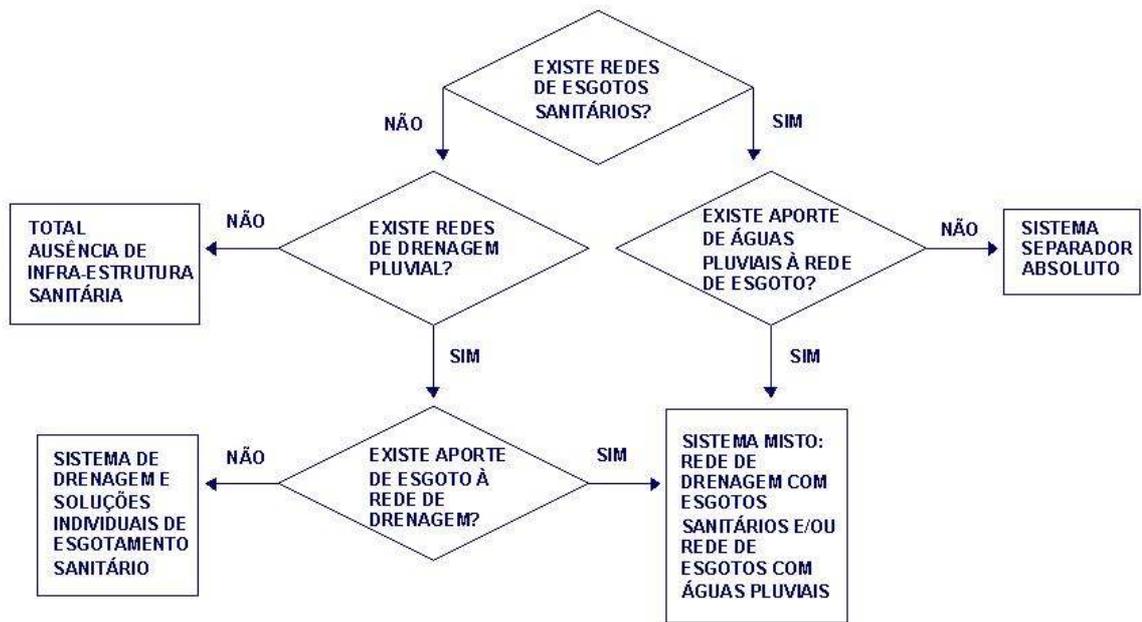


Figura 3: fluxograma de identificação da situação de esgotamento (BERNARDES; SOARES, 2004)



Figura 4: alternativas de gestão para empreender sistemas de esgotamento sanitário (BERNARDES; SOARES, 2004)

Diferentemente do sistema separador, o sistema misto consiste na mistura de esgotos de diferentes origens, resultado da existência de apenas uma rede para veiculação de esgotos doméstico e pluvial. Em locais onde existir apenas redes de drenagem pluvial, o tratamento

dos efluentes domésticos se dá por tratamentos individuais que necessitam de manutenção periódica as quais muitas vezes não são efetivas.

A avaliação da melhor solução para a coleta, transporte e tratamento de esgotos deve ser planejada em função dos recursos financeiros disponíveis, das necessidades da população e da preservação do meio ambiente. A visão holística por parte dos planejadores se torna a principal ferramenta para reverter o quadro de estagnação no setor de saneamento, aliada a otimização dos recursos financeiros.

3.2.1 Sistema de esgoto separador absoluto

O sistema separador absoluto é caracterizado pela separação no transporte de esgotos sanitários e águas pluviais, através de redes independentes de esgotos. Este sistema foi adotado no Brasil por intermédio de um notável sanitarista brasileiro, chamado Francisco Saturnino Rodrigues de Brito. A figura 5 ilustra a operação do sistema separador absoluto (TSUTIYA; BUENO, 2004, p. 22).

Considerado como o sistema ideal do ponto de vista ambiental, o sistema separador prevê o tratamento de águas residuárias nas estações de tratamento de esgotos, enquanto as águas pluviais são direcionadas aos arroios próximos. Porém, frente aos estudos relativos a qualidade da água do escoamento pluvial urbano, sabe-se hoje que estas arrastam quantidades consideráveis de poluentes presentes nas superfícies de ruas e edificações, e necessitam de tratamento igualmente aos esgotos domésticos.

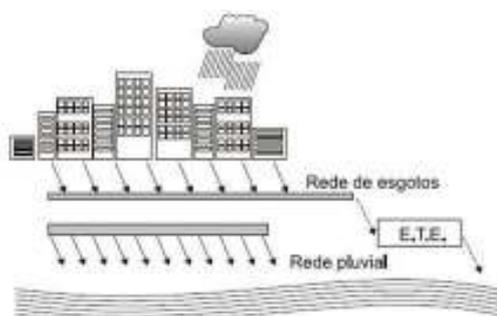


Figura 5: sistema de esgotamento separador absoluto
(TSUTIYA; BUENO, 2004)

Bernardes e Soares (2004, p. 27) alertam que, para o sucesso do sistema separador, é necessária fiscalização efetiva e controle eficiente para que águas pluviais não sejam encaminhadas juntamente com esgotos sanitários para a rede coletora. Porém, em grande parte das cidades brasileiras este controle não existe, fazendo com que o sistema opere como separador parcial, diferentemente do que regem as normas brasileiras de esgotos sanitários.

Os sistemas separadores parciais ou mistos são assim chamados por encaminhar às redes de esgoto, a parcela de água pluvial proveniente de telhados e pátios das edificações. Assim como o separador, o sistema parcial é composto por redes de esgoto e galerias para águas pluviais (TSUTIYA; BUENO, 2004, p. 3).

A existência de ligações clandestinas de esgoto pluvial à rede cloacal gera impactos nas estações de tratamento de esgotos e estações elevatórias de esgotos, ocasionando sobrecarga hidráulica a rede, que por sua vez altera as condicionantes adotadas nos projetos, gerando maiores custos energéticos para o bombeamento destes esgotos (WARTCHOW; DORNELES, 1990, p. 4). Desta forma, pode-se dizer que o sistema torna-se ineficiente no ponto de vista sanitário, por permitir que águas pluviais cheguem aos coletores de esgoto.

Em setembro de 1992, procedeu-se um levantamento de dados locais na ETE existente na cidade de Tatuí/SP, de forma a caracterizar quantitativamente o esgoto sanitário que contribui às redes de esgotamento e foi concluído um aumento de 31% no pico de vazão devido às águas pluviais (TSUTIYA; BUENO, 2004, p. 24). A figura 6 ilustra o aumento de vazão afluyente a rede sanitária em períodos de chuva em Tatuí.

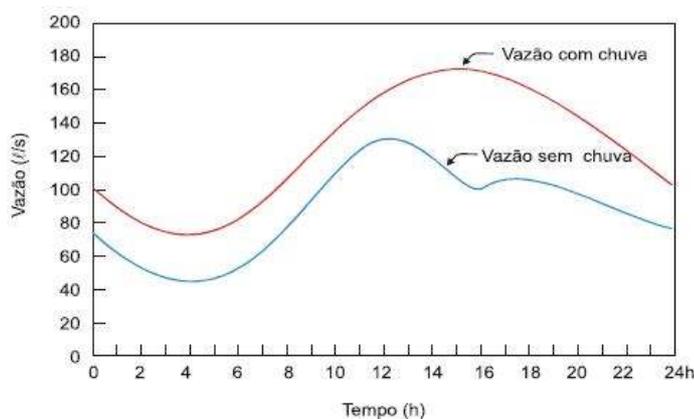


Figura 6: medição realizada no sistema de esgoto sanitário da cidade de Tatuí – SP. (TSUTIYA; BUENO, 2004)

Assim como ligações de esgoto pluvial são feitas ao cloacal, o contrário também ocorre. A incidência de ligações clandestinas ao pluvial é difícil de ser controlada. Para Wartchow e Dorneles (1990, p. 10), quando da existência de ligações de esgoto cloacal ao pluvial, o problema é grave, pois a carga poluidora concentrada dos esgotos domésticos é diretamente lançada aos corpos receptores, sem tratamento algum. Desta forma, resolve-se um problema sanitário e cria-se um problema ambiental, cuja solução envolve técnicas de tratamento muito caras e avançadas. Por isso, para o planejamento de sistemas de esgoto sanitário, deve atentar-se a disposição final dos efluentes e seu tratamento.

A existência de ligações irregulares, principalmente nas redes pluviais, torna-se um desafio para as autoridades, pois necessita de trabalho unificado entre os órgãos públicos e da conscientização da população para que sejam combatidas. As ligações de esgotos residenciais às redes públicas de esgotamento são de responsabilidade dos proprietários. Porém, por conveniência ou falta de fiscalização, as ligações proibidas às redes pluviais são bastante registradas. Cabe ao poder público verificar essas interligações.

3.2.2 Sistema de esgoto combinado

O sistema de esgoto combinado (também chamado de unitário ou misto) difere do separador absoluto por conduzir esgotos através de uma rede de drenagem apenas, por onde veiculam águas servidas, de infiltração e pluviais. Este sistema prevê o tratamento de toda parcela de esgoto coletado em tempo seco e em períodos de baixa intensidade pluviométrica (TSUTIYA; BUENO, 2004, p. 21). Em períodos cuja vazão de projeto é superada devido a chuvas mais intensas, são previstos extravasores a montante da ETE, de forma a extravasar o volume excedente. A figura 7 ilustra a sistemática do esgoto combinado.

Historicamente, o sistema combinado surgiu em Londres quando foi autorizado o lançamento de esgoto cloacal às galerias pluviais, surgindo a prática de um sistema único que foi se aperfeiçoando ao passar dos anos. Este sistema é amplamente utilizado em países da Europa e América do Norte, sendo muito bem aceito (TSUTIYA; BUENO, 2004, p. 20).

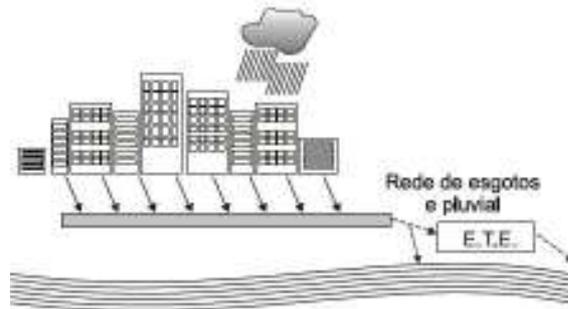


Figura 7: sistema de esgotamento combinado
(TSUTIYA; BUENO, 2004)

De acordo Tucci (2005, p. 100), as vantagens desse tipo de sistema de esgoto são a redução de custos pelo fato de utilizar apenas uma rede para escoamento do esgoto e a eliminação de ligações clandestinas. Muitas cidades que adotam o sistema separador acabam por ter seus sistemas de esgotos operando como sistemas mistos devido às ligações de esgoto cloacal ao pluvial, e o custo para corrigir todas as ligações inadequadas seria muito alto.

A figura 8 apresenta um gráfico com vazões de um sistema combinado. A curva inferior representa as oscilações diárias em uma rede coletora de esgotos durante período seco e a curva superior indica as oscilações na vazão após período de intensa chuva, mantendo-se mais elevada que a curva de tempo seco. A curva de vazão no período chuvoso é aproximadamente paralela a curva de período seco quando a contribuição pluvial é pequena e contínua, variando apenas no tempo (TSUTIYA; BUENO, 2004, p. 21).

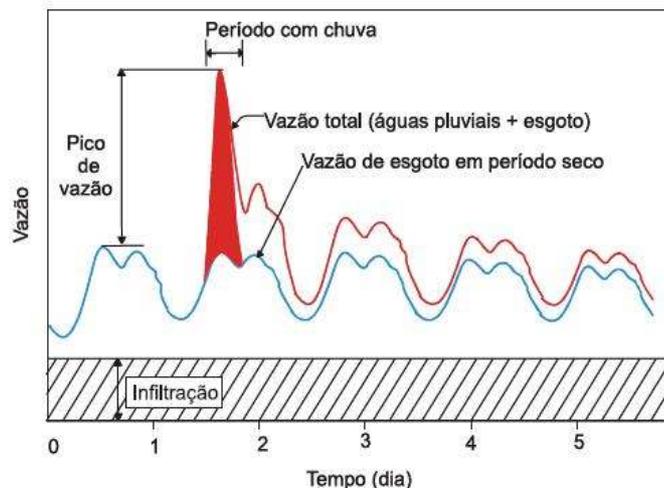


Figura 8: variação da vazão em período seco e úmido em um sistema combinado
(TSUTIYA, BUENO, 2004)

Para a análise quantitativa de contribuição de esgotos sanitários a uma ETE, devem ser levadas em consideração as vazões de esgotos domésticos, as águas de infiltração por quilômetro de rede. Os parâmetros para determinar a vazão de esgoto doméstico são dados pelo consumo *per capita*, a população a ser atendida e o coeficiente de retorno água/esgoto (BERNARDES; SOARES, 2004, p. 37-38).

Para Tucci (2005, p. 100), o dimensionamento do sistema combinado é feito para o escoamento pluvial, pois necessita de elevada vazão para escoar. Desta forma, é realizado o tratamento de esgoto sanitário coletando a seguinte vazão:

$$Q = k Q_s \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

Q = vazão encaminhada a ETE (m³/s);

Q_s = vazão sanitária (m³/s);

k = fator de diluição (adimensional).

O fator k introduz o volume inicial de água pluvial (*first flush*) à vazão encaminhada a ETE. É definido segundo critérios de projeto, de acordo com a qualidade esperada do escoamento superficial e urbanização local (TUCCI, 2005, p. 100). No quadro 1, são apresentados os limites de vazões afluentes as ETE em alguns países europeus que adotam o sistema combinado.

PAÍS	VAZÕES MÁXIMAS
Bélgica	2.5 x QMPS
Dinamarca	8-10 X QMPS
França	4.6 X QMPS
Alemanha	7 X QMPS
Grécia	3.6 X QMPS
Irlanda	6 X QMPS
Itália	3.5 X QMPS
Portugal	6 X QMPS
Espanha	3.5 X QMPS
Inglaterra	6 X QMPS
QMPS = Vazões Máximas de Período Seco	

Quadro 1: vazões máximas afluentes às ETE, durante período de precipitação (TSUTIYA; BUENO, 2004)

De acordo Tsutiya e Bueno (2004, p. 22), o sistema combinado foi desenvolvido para países com baixos índices pluviométricos, como é o caso dos países da Europa e da América do Norte. O Brasil apresenta índices pluviométricos três vezes maiores que estes, característica de países com clima tropical. Assim, a utilização de *by-pass* torna-se necessária neste tipo de sistema, uma vez que o pico de vazão máxima pode alcançar várias vezes a vazão de esgoto durante período seco, limitando a vazão afluente as ETE em torno de 2 a 10 vezes a vazão sanitária. Os dispositivos de desvio de águas pluviais ou extravasores, direcionam a parcela excedente de águas pluviais aos cursos d'água para não sobrecarregar o sistema, enquanto os tanques de armazenamento e bacias de retenção armazenam o volume pluvial para posterior tratamento. Através destas soluções é possível submeter a parcela mais poluente para uma ETE, tratando a parcela mais nociva do escoamento pluvial urbano.

Na figura 9 representa-se um modelo no qual foi previsto uma canalização de armazenamento a montante da ETE, liberando o esgoto com uma vazão constante para ser tratado após um evento de chuva em uma bacia considerada grande. Já a figura 10 apresenta uma bacia menor e uma concepção mais vantajosa, pelo fato de o interceptor ser mais longo e os diâmetros nominais das canalizações menores, reduzindo custos. Para Wartchow e Dorneles (1990, p. 15-16) é importante a elaboração de uma norma técnica referente a utilização e dimensionamento de redes de sistemas de esgoto combinado, visto que a ausência desta dificulta a aprovação de projetos desse porte.

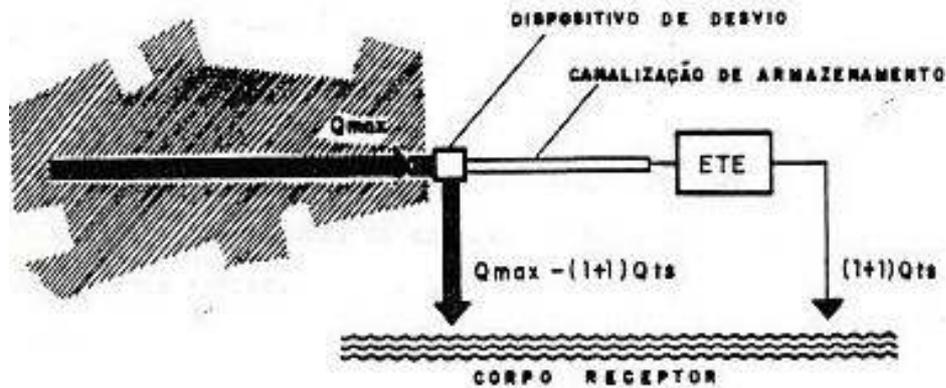


Figura 9: dispositivos de coleta e desvio de água de chuva com tempo de percurso superior a 20 minutos (WARTCHOW; DORNELES, 1990)

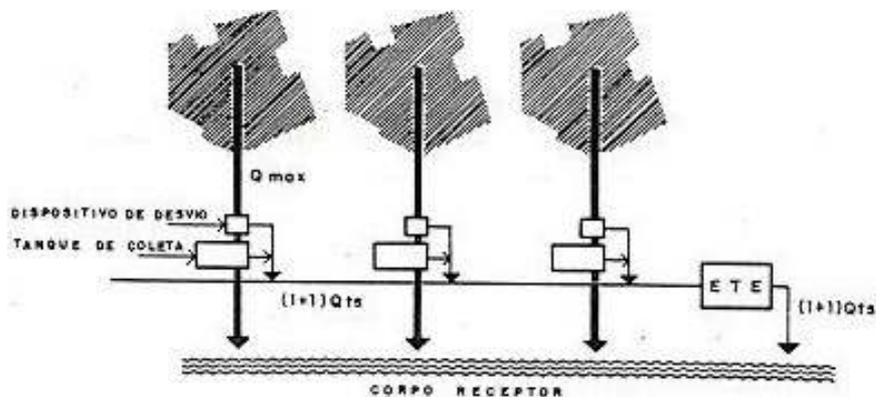


Figura 10: dispositivos de coleta e desvio de água de chuva com tempo de percurso inferior a 20 minutos (WARTCHOW; DORNELES, 1990)

Ide (1984, p. 93-94), considera este sistema como vantajoso do ponto de vista ambiental:

Apesar da utilização de sistema de esgotos combinados serem mais vantajosos em países com menor pluviosidade do que em países de zonas tropicais, este procedimento provavelmente apressaria o controle de poluição dos cursos d'água próximos às cidades que já possuam sistema de esgotos pluviais e ainda não possuam sistema de esgotos cloacais. Além disso, possibilitaria o tratamento da primeira descarga da drenagem pluvial. Tradicionalmente o uso do sistema de esgoto combinado, tem sido aceito como eficaz para obtenção de melhoria da qualidade do corpo receptor.

Um dos inconvenientes que o sistema de esgoto combinado pode apresentar é o odor que brota das bocas de lobo devido ao esgoto sanitário que veicula pela rede, principalmente em tempo seco. Como forma de conter o mau cheiro, uma alternativa é a sifonagem das bocas de

lobo, que exige cuidados relacionados a manutenção e riscos de criação de focos de propagação da dengue (MORETTI; YAZAKI, 2008).

Como forma de solucionar problemas específicos de mau cheiro, a Caixa Ecológica apresenta-se como uma opção. O produto favorece o escoamento dos esgotos, realiza uma captação pluvial rápida, diminuindo os alagamentos e reduzindo a ocorrência de entupimentos, além de impedir a proliferação de insetos e vetores na rede (D'ALASCIO et al., 2009).

3.3 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Segundo a Resolução CONAMA n. 237 (BRASIL, 1997), o licenciamento ambiental é um procedimento administrativo, onde o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades que utilizam recursos ambientais, consideradas poluidoras ou que possam causar degradação ambiental, considerando normas técnicas e disposições legais. Qualquer atividade modificadora do meio ambiente que altere suas propriedades físicas, químicas e biológicas, como obras de porte civil, são atividades passíveis de licenciamento ambiental e dependem de estudos ambientais e relatório de impacto ambiental – EIA/RIMA – submetido a aprovação do órgão estadual competente.

De acordo a Resolução do CONAMA n. 001 (BRASIL, 1986), o estudo de impacto ambiental deve identificar e avaliar sistematicamente os impactos gerados na fase de implantação e operação da atividade, bem como definir o limite da área de influência do projeto, considerando a bacia hidrográfica a qual se localiza. Deve ser realizada por equipe multidisciplinar habilitada. As conclusões desse estudo dão origem ao RIMA, cujo documento deve ser apresentado objetivamente e ser de fácil compreensão, de forma a ilustrar todas as conseqüências ambientais de sua implantação.

Os estudos ambientais são relativos aos aspectos ambientais relacionados à atividade ou empreendimento, apresentados como subsídios para análise da licença requerida. Esta Resolução do CONAMA n. 237 (BRASIL, 1997) estabelece que o Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

- a) licença prévia: concedida na fase preliminar do planejamento da atividade, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo requisitos e condicionantes a serem seguidas nas demais etapas do empreendimento;
- b) licença de instalação: autoriza a instalação do empreendimento incluindo as medidas de controle ambientais e demais condicionantes;
- c) licença de operação: após a verificação de cumprimento das licenças anteriores, autoriza a operação da atividade com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas para a operação.

Considerando os termos do artigo 12 § 1º, da Resolução CONAMA n. 237 (BRASIL, 1997), que prevê a possibilidade de estabelecer procedimentos específicos para o licenciamento ambiental simplificado de atividade de pequeno impacto ambiental e, vislumbrando a atual situação dos recursos hídricos no país, a Resolução CONAMA n. 377 (BRASIL, 2006a) vem dispor sobre o licenciamento ambiental simplificado de sistemas de esgoto sanitário, de forma a integrar os procedimentos dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente à Política Nacional de Recursos Hídricos. No artigo 1º da referida Resolução, as unidades de transporte e tratamento de esgotos sanitários, separadas ou conjuntamente, de pequeno ou médio porte, ficam sujeitas a procedimentos simplificados de licenciamento ambiental. Assim, a implantação de sistemas de esgoto combinado como fase inicial de obras de saneamento, talvez pudesse ser normatizada e aceita pelos órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental.

A Lei do Saneamento n. 11.445 (BRASIL, 2007), conhecida como a Lei do Saneamento Básico, em seu artigo 44 estabelece que o licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgotos sanitários considerará etapas de eficiência, a fim de alcançar progressivamente os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, em função da capacidade de pagamento dos usuários.

§ 1º A autoridade ambiental competente estabelecerá procedimentos simplificados de licenciamento para as atividades a que se refere o caput deste artigo, em função do porte das unidades e dos impactos ambientais esperados.

§ 2º A autoridade ambiental competente estabelecerá metas progressivas para que a qualidade dos efluentes de unidades de tratamento de esgotos sanitários atenda aos padrões das classes dos corpos hídricos em que forem lançados, a partir dos níveis presentes de tratamento e considerando a capacidade de pagamento das populações e usuários envolvidos.

Em relação aos corpos receptores que recebem o aporte de águas pluviais e erroneamente esgotos sanitários sem tratamento, a Resolução do CONAMA n. 357 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece padrões de lançamento de efluentes. Os artigos da Resolução alertam sobre a deposição de efluentes nos corpos hídricos, seguindo determinados padrões, exigências e condições de lançamento, assim como a exigência de tratamento dos efluentes para posterior deságue nos cursos d'água. O controle da qualidade dos esgotos que chegam aos corpos d'água fugiu ao controle dos órgãos competentes devido à comum mistura de águas pluviais e efluentes domésticos, tornando a resolução ineficaz do ponto de vista regulador e provando novamente a ineficiência de grande parte dos sistemas de esgotos sanitários implantados no Brasil.

3.4 A ADEQUAÇÃO DO SISTEMA COMBINADO COMO ALTERNATIVA SANITÁRIA E AMBIENTAL

A discussão sobre técnicas alternativas de saneamento para preservar os corpos d'água, que hoje sofrem com as péssimas condições de poluição, está em pauta. As limitações financeiras para implantar sistemas separadores absolutos e os problemas relacionados à falta de inspeção nas ligações domiciliares de esgotos à rede pública abrem espaço para novas técnicas. Mas afinal, de que maneira é possível planejar sistemas de esgotamento sanitário com tratamento através de ETE, de forma a garantir o acesso à parcela da população que ainda não dispõe desses serviços, respeitando o meio ambiente e acelerando a recuperação dos corpos receptores com os recursos financeiros disponíveis?

Para Tucci (2002, p. [8]), a utilização das redes existentes é o caminho: “A vantagem do sistema combinado é o de aproveitar uma rede já existente para o transporte do esgoto, reduzindo deste lado o custo da rede. Não existem soluções únicas e milagrosas, mas soluções adequadas e racionais para cada realidade.”.

Uma alternativa seria a adequação de um sistema de drenagem para um sistema de esgotamento sanitário combinado, compatibilizando questões sanitárias e ambientais, de forma a recuperar a qualidade dos rios e arroios próximos às cidades, com menores custos de investimento e operação, como sugere Wartchow (1998, p. 47): “A utilização desta alternativa

no Brasil, significaria reduzir a décadas o prazo para melhoria da qualidade hídrica dos nossos mananciais e a economia de milhões de reais, recursos financeiros hoje não disponíveis nos erários públicos.”. Ele salienta que a estagnação em relação a coleta e tratamento de esgoto com a devida proteção do meio ambiente está na desinformação técnica dos planejadores e na falta de ações políticas. A falta de visão estratégica contribui para a não aceitação de uma solução inovadora, que se destaca em termos econômicos e ambientais, podendo solucionar problemas de saúde pública e contaminação dos mananciais.

De acordo Bernardes e Soares (2004, p. 22), apesar de a legislação estabelecer o sistema separador absoluto, algumas prefeituras têm permitido a utilização da rede pluvial para transporte de esgoto sanitário, devido à ausência de redes para o transporte de esgotos que atinge grande parte da população e a falta de recursos financeiros para ampliá-las. A dificuldade em licenciar projetos de sistemas combinados no Brasil está na legislação, que mostra-se bastante restrita. Porém, devido aos problemas ambientais ligados a poluição, a falta de redes de esgoto e tratamento do mesmo, as leis e resoluções ambientais têm se apresentado de formas mais flexíveis, simplificando o licenciamento de obras voltadas a recuperação ambiental.

Outro fator que dificulta uma ação integrada entre a drenagem pluvial e os sistemas de esgoto sanitário é a separação da gestão entre os sistemas. Enquanto as empresas de saneamento geridas pelos governos estaduais e municipais cuidam apenas do saneamento básico, o manejo de águas pluviais fica em outra alçada, a cargo da administração direta na esfera municipal. As companhias de saneamento que cuidam também das redes pluviais são exceções à regra. (MORETTI; YAZAKI, 2008).

Por outro lado, as companhias de saneamento básico têm sua eficácia avaliada por meio de indicadores de percentual de domicílios atendidos pela coleta e tratamento de esgotos. Quando a companhia completa 100% de atendimento nos serviços de coleta e tratamento de efluentes, ela entende que cumpriu seu papel, mesmo que na bacia hidrográfica em que se situa a ETE os cursos d'água estejam ainda poluídos. Para essa realidade, propõe-se incorporar indicadores de qualidade da água, de forma a avaliar a eficiência do sistema. O Ministério das Cidades chegou propôs que fossem cobradas taxas de juros reduzidas para companhias que efetivamente contribuíssem para o objetivo final de melhoras na qualidade

hídrica, porém não foi incorporada no marco regulatório do saneamento (MORETTI; YAZAKI, 2008).

Alguns projetos relativos a esgotamento combinado com tratamento de águas plúvio-cloacais foram licenciados no Rio Grande do Sul, condicionados à implantação futura do sistema separador absoluto como meta e já operam com sucesso. A seguir, serão brevemente descritos, servindo como base para esta pesquisa e futuros projetos de saneamento.

3.4.1 Praia de Ipanema

Ipanema é um balneário às margens do Guaíba, situado na zona sul da cidade de Porto Alegre/RS. Devido ao intenso volume de esgoto despejado na baía e a influência de cargas poluidoras a montante, as águas em Ipanema tornaram-se impróprias para banho.

Como forma de minimizar o problema, o Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) desenvolveu o projeto Sistema Zona Sul, que liga os principais contribuintes ao interceptor, conduzindo o esgoto através de um emissário até uma ETE para tratamento a nível secundário de grandes volumes de esgoto em tempo seco e condições de águas baixas e médias, extravasando o excedente, que só ocorre em época de cheias e chuvas intensas (WARTCHOW et al., 1997, p. 194).

A avaliação do sistema foi possível através de um programa de monitoramento em quatro pontos, junto a locais com grande afluência de banhistas e lançamento dos principais contribuintes. Através de avaliação dos parâmetros pH e coliformes fecais, foi possível estabelecer o nível de recuperação da qualidade das águas da praia de Ipanema (WARTCHOW et al., 1997, p. 196).

Entre 1991 e 1996, segundo dados de monitoramentos anteriores, houve uma elevação nas concentrações de coliformes fecais nas águas em Ipanema. Além do aumento normal da população, houve a implantação de redes de esgoto nessa área, desaguando diretamente no Guaíba sem tratamento. O Sistema Zona Sul, a partir da interceptação dos esgotos lançados através da rede pluvial, proporcionou uma sensível melhora na qualidade das águas das bacias de Ipanema, mostrando a importância de novas técnicas de saneamento para a recuperação dos cursos d'água (WARTCHOW et al., 1997, p. 198).

3.4.2 Esgotamento sanitário de Caxias do Sul

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAMAE) de Caxias do Sul/RS contratou o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS para desenvolver o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da cidade, integrado ao Plano Diretor de Drenagem para que fossem implementados em conjunto. Segundo Frizzo e Ekman (2002, p. [2]), o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário foi elaborado com o intuito de solucionar problemas referentes a coleta, transporte e tratamento de esgotos com o aproveitamento das redes pluviais já existentes. Através da utilização de coletores tronco e interceptores pode-se encaminhar o esgoto cloacal e pluvial para uma ETE, prevendo, posteriormente, uma transição para um sistema separador absoluto, de forma a separar o esgoto pluvial e cloacal. Desta forma, é possível sanear a cidade com mais rapidez, menores custos e ganhos ambientais imediatos.

A falta de redes de drenagem ocasionou colapso em um dos bairros da cidade que contava apenas com redes de esgoto sanitário. No bairro Serrano, em um evento de chuva intenso, os moradores abriram as caixas de calçada da rede sanitária para drenar águas pluviais que causavam alagamentos, lançando as águas pluviais nas redes de esgoto cloacal encaminhando-as a uma ETE. Para evitar novos alagamentos, a Secretaria de Obras responsável pela drenagem, abriu valas de grande profundidade, danificando inúmeras tubulações da rede de esgoto, tornando impossível o tratamento de esgoto da população daquele bairro. A ETE passou a operar novamente somente no ano seguinte. Frente ao fato, Frizzo e Ekman (2002, p. [3]) alertam: “[...] tecnicamente não se recomenda a execução da rede de esgoto sanitário em locais onde não há rede de esgoto pluvial. O esgotamento sanitário e a drenagem urbana, nestes casos, devem andar em paralelo, principalmente no que se refere ao planejamento.”

Frizzo e Ekman (2002, p. [5]) comentam sobre a nova visão técnica de manejo de águas urbanas, que foi aprovado para implantação em Caxias do Sul:

Faz parte do Plano a análise da “alternativa ótima” para Caxias do Sul sob o ponto de vista da integração dos esgotos sanitários e pluviais, objetivando a utilização de soluções comuns de esgotamento sanitário/drenagem pluvial, com aproveitamento de trechos de redes pluviais de pequeno diâmetro existentes e os possíveis efeitos decorrentes da adição de volumes de águas de chuva na(s) estação(ões) de tratamento previstas. Esse plano contempla a nova concepção técnica de drenagem urbana em deter as águas pluviais e não apenas afastá-las.

O Plano Diretor foi elaborado levando em conta os seguintes aspectos (FRIZZO; EKMAN 2002, p. [6]):

- a) estimativa de crescimento da população da cidade de Caxias do Sul;
- b) necessidade de atender prioritariamente locais mais densamente povoados como a região central da cidade;
- c) garantir a melhoria da qualidade da água dos arroios, assim como dos contribuintes ao sistema de captação de água bruta, através do tratamento dos esgotos;
- d) coleta de forma unitária dos esgotos originários;
- e) necessidade de ETE para tratamento dos esgotos;
- f) definição do “quantum” de vazão de água de chuva a ser drenada para as ETE, juntamente com as águas residuárias.

O sistema de esgoto sanitário combinado apresenta algumas limitações como a dificuldade no gerenciamento do controle da drenagem urbana e o mau cheiro ao longo da cidade em período de estiagem, devido a biodegradação de sólidos orgânicos. Em períodos de elevados volumes de chuva, a capacidade de drenagem é superada e as águas residuárias afluem às superfícies, ocasionando problemas de saúde diversos, alertando mais uma vez a importância da utilização de dispositivos que desviem a parcela pluvial excedente (FRIZZO; EKMAN, 2002, p. [8-9]).

O Plano Diretor prevê um sistema com três classificações: inicialmente se trata de um sistema de esgotamento unitário em que as águas residuárias, de infiltração e pluvial veiculam pelo mesmo sistema, caracterizando o sistema existente na cidade. Em seguida, passa-se a ter um sistema parcialmente unitário em que parte do esgoto escoar pela rede unitária e outra parte utiliza redes tronco e interceptores separadores absolutos. A finalização da obra constitui o sistema separador absoluto, com esgoto sanitário veiculando em sistemas independentes das águas pluviais (FRIZZO; EKMAN, 2002, p. [11]).

A implantação do sistema parcialmente unitário será feita em quatro etapas, priorizando as áreas mais densamente povoadas, levando em consideração o menor investimento atendendo o maior número de habitantes. Estão previstas implantações de coletores tronco, com caráter transitório para sistema separador absoluto na etapa final da obra, e bacias de retenção junto às ETE para períodos de grandes volumes de chuva (FRIZZO; EKMAN, 2002, p. [9-11]).

4 CONCEPÇÃO DE PROJETOS DE SANEAMENTO

Este capítulo foi elaborado para melhor entendimento do capítulo seguinte. Para que as alternativas de projeto sejam analisadas do ponto de vista técnico e econômico é necessário conhecer os parâmetros a serem definidos para iniciar um estudo e os métodos que possibilitam sua avaliação econômica. Não se espera abranger a totalidade de conteúdos relacionados a concepção de projetos de sistemas sanitários, mas os critérios chaves utilizados para sua elaboração.

Para dar início ao estudo de um projeto, é necessário fazer um levantamento dos dados locais da comunidade, atentando para questões como geologia e topografia, caracterização da população e tendência de crescimento, localização, limites do município e aspectos econômicos. Procede-se a seguir os estudos ambientais, relacionados à localização, instalação e operação do empreendimento que servirão como subsídio para análise da licença ambiental, necessária para viabilizar o projeto (trabalho não publicado)³.

Posteriormente, é feito um levantamento referente ao sistema de esgotamento sanitário existente, que compreende as redes coletoras, as estações de bombeamento e de tratamento de esgotos. Conhecer o sistema existente é indispensável para a formulação das alternativas que serão propostas para o esgotamento. Ainda dentro deste âmbito, definem-se as bases de projeto que abrangem a projeção da população para o horizonte de projeto, o consumo *per capita*, a vazão requerida pelo sistema e a fixação do nível de atendimento. Com base nessas variáveis e conhecendo o sistema já existente, é possível planejar as alternativas para um novo projeto de esgotamento e seu dimensionamento, de forma a estimar seus custos (BAGÉ, 2008).

O próximo passo é proceder uma análise econômico-financeira das alternativas, com o objetivo de demonstrar a viabilidade do empreendimento. Podem ser atestadas por diversos métodos de cálculo e a alternativa que apresentar melhores resultados dentro dos parâmetros

³ Apostila da disciplina Sistemas de Água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Estudo de Concepção de Projetos, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 40 f., julho 2009

Sistema de esgotamento combinado: adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais

estabelecidos na análise econômico-financeira é escolhida, passando para a próxima fase que contempla o projeto técnico, procedente ao detalhamento da alternativa (BAGÉ, 2008).

4.1 BASES DE PROJETO

Para elaborar um projeto de saneamento é de fundamental importância definir alguns parâmetros necessários para quantificar a vazão a esgotar. Inicialmente, é preciso projetar a população a ser atendida para início e final de plano, visto que as contribuições sanitárias são proporcionais ao número de habitantes. Para isso, existem alguns métodos de fácil aplicação utilizados de acordo o porte dos municípios, entre eles o Crescimento Aritmético, Crescimento Geométrico e Curva Logística.

Para comunidades de pequeno porte, o método do Crescimento Aritmético é o mais adequado para estimar o número de habitantes com menor margem de erro. Para isso é preciso conhecer a população de um ano qualquer e a população e ano de início da projeção. Através da taxa de crescimento populacional percentual anual no período compreendido entre P0 e P1, pode-se definir a população para um ano qualquer a partir de P1. O método de Crescimento Geométrico é o mais adequado para estimar o crescimento de comunidades de médio porte com crescimento mais acentuado, excetuando-se capitais de estados. Já o método da Curva Logística é aplicado para cidades de grande porte e aquelas que estão tendendo a saturação (trabalho não publicado)⁴.

Outro dado importante e extremamente variável é o consumo diário de água por habitante, sendo o principal parâmetro para se estimar a contribuição de esgotos. Os valores variam em torno de 200 l/hab.dia e depende de fatores como a população atendida, características do município, gestão do sistema de abastecimento de água e características climáticas e ambientais. Definido o consumo per capita, o próximo parâmetro é o coeficiente de retorno água/esgoto, ou seja, quantidade de água que retorna ao sistema em forma de esgoto, recomendado por norma técnica como 0,8 (trabalho não publicado)⁵.

^{4, 5, 6} Apostila da disciplina Sistemas de Água e Esgoto do curso de Engenharia Civil da UFRGS, Estudo de Concepção de Projetos, de Dieter Wartchow e Gino Gehling, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 40 f., julho 2009

A demanda por água não é constante ao longo das 24 horas diárias e sofre variações ao longo de determinados períodos do ano, influenciados pelos hábitos da população e as condições climáticas. As normas para projetos adotadas em cada localidade, estado ou região estabelecem valores de coeficientes de dia e hora de maior consumo a serem adotados nos estudos, utilizando-se valores de 1,2 e 1,5, respectivamente (trabalho não publicado)⁶.

Definido estes dados, pode-se proceder o cálculo das vazões inicial e final de projeto, parâmetro chave para dimensionamento de sistemas de esgoto sanitário. As vazões máximas de esgotos sanitários estão ligadas a todas as variáveis citadas neste item, principalmente aos coeficientes de dia e hora de maior consumo e incluindo as taxas de infiltração da rede. As vazões médias por sua vez, não levam em conta os períodos de maior consumo de água, considerando a taxa de infiltração da ETE (BAGÉ, 2008). As vazões médias e máximas são obtidas através das equações 2 e 3.

$$Q_{med} = ((C*q*P) / 86400) + T_e*L \quad (\text{equações 2})$$

$$Q_{max} = ((K_1*K_2*C*q*P) / 86400) + T_i*L \quad (\text{equações 3})$$

Onde:

Q_{med} = vazão média (l/s);

Q_{max} = vazão máxima (l/s);

C = coeficiente de retorno água/esgoto (adimensional);

q = *per capita* de abastecimento (l/hab.dia);

P = população (habitantes);

K_1 = coeficiente de dia de maior consumo (adimensional);

K_2 = coeficiente de hora de maior consumo (adimensional);

L = extensão da rede (km);

T_e = taxa de infiltração da ETE (l/s.km);

T_i = taxa de infiltração da rede (l/s.km).

Sistema de esgotamento combinado: adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais

Como forma de definir a quantidade de água requerida para diluir determinada carga poluente, a vazão de diluição torna-se de extrema importância para manter ou recuperar a qualidade do corpo hídrico, sendo diretamente proporcional a carga poluente. É derivada da equação geral de misturas e transforma qualidade em quantidade, equivalendo-se a vazão de comprometimento qualitativo (SILVA, 2008).

A vazão de diluição somada a vazão do efluente que contém o parâmetro de qualidade a ser analisado, apresenta a vazão permitida, ou seja, vazão que limita a diluição de determinado parâmetro de qualidade, indicando a concentração permitida para o corpo hídrico de acordo os limites fixados na Resolução CONAMA n. 357 (BRASIL, 2005). O processo é identificado na figura 11 e a equação 4 determina numericamente a vazão de diluição (SILVA, 2008).

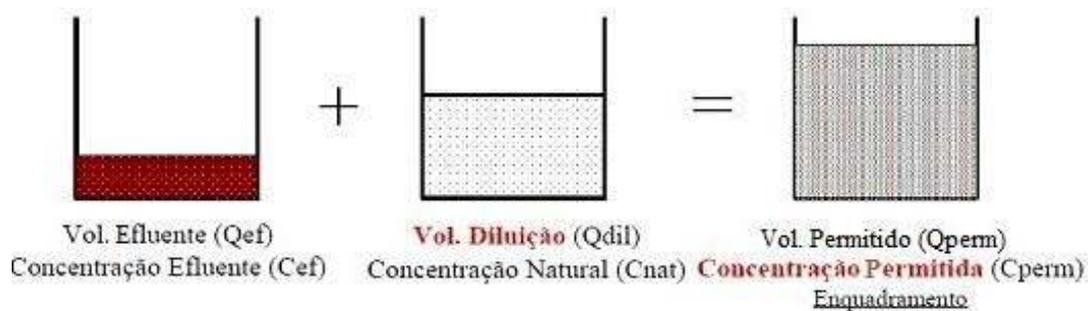


Figura 11: determinação do volume permitido (SILVA, 2008)

$$Q_{dil} = Q_{efl} * (C_{efl} - C_{meta}) / C_{meta} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

Q_{dil} = vazão de diluição (l/s);

Q_{efl} = vazão efluente (l/s);

C_{efl} = concentração do parâmetro de qualidade do efluente (mg/l);

C_{meta} = concentração permitida no enquadramento do corpo receptor (mg/l).

No sistema de esgotamento combinado, a vazão de diluição está associada à determinação do fator de diluição, por ocasião da incorporação de águas pluviais ao esgoto sanitário. Sua utilização está relacionada a vazão do corpo receptor e contribuições dos seus tributários, aos

índices pluviométricos locais e ao enquadramento do corpo receptor na Classe requerida, conforme Resolução CONAMA n. 357 (BRASIL, 2005).

4.2 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Os projetos de sistemas de esgoto estão sujeitos a uma análise financeira, de forma a determinar qual a alternativa mais viável economicamente. As avaliações baseiam-se em dados comerciais do município, dados técnicos e operacionais do sistema de esgotamento, como os custos de investimento e despesas com exploração e faturamento (BAGÉ, 2008).

As taxas utilizadas para avaliação financeira estão baseadas, na maior parte dos projetos, no Programa Saneamento para Todos, do Ministério das Cidades, que fixa taxas de desconto anual, de juros, prazo de amortização máximo, contrapartida mínima da Companhia de Saneamento, enquadramento do nível de perdas máximo, entre outros. Este Programa prevê o financiamento oneroso a estados, concessionárias e municípios para implantação e melhoria de iniciativas na área de saneamento básico (BAGÉ, 2008).

São muitos os métodos aplicáveis às análises econômico-financeiras de projetos de saneamento, sendo os mais utilizados o Valor Presente Líquido, Demonstrativo de Mutações e Demonstrativo de Resultado de Exercício. Outro critério econômico bastante aplicado é a Taxa Interna de Retorno, que depende dos fluxos de caixa esperados para o projeto (BAGÉ, 2008).

O método do Valor Presente Líquido é a diferença entre o valor investido e o valor dos benefícios esperados no futuro, descontados para uma data inicial, usando-se uma taxa de descontos. A taxa de juros é chamada de taxa de desconto porque os valores nominais atuais são trazidos a valor presente como forma de comparação entre indicadores. Conhecer o valor presente dos recursos monetários que serão gerados no futuro é importante porque o valor da moeda modifica-se com o tempo. Considera-se que o projeto é economicamente viável diante de um valor presente positivo (GITMAN, 1997). As duas expressões chaves para o cálculo do valor presente são expressas nas equações 5 e 6:

$$F_{vp} = 1 / (1+i)^n \quad (\text{equação 5})$$

$$P = F_{vp} * S \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

F_{vp} = fator de valor presente (adimensional);

i = taxa de desconto ou custo de oportunidade capital (%);

n = número de anos de alcance do projeto (anos);

P = capital inicial atualizado (R\$);

S = valor que atinge P depois de n anos ao interesse composto i (R\$).

O método Demonstrativo de Mutações é fundamentado na capacidade de pagamento do mutuário frente à projeção de mutações anuais de investimento. Esta metodologia foi proposta pela Caixa Econômica Federal para programas de saneamento que constituíam-se em linhas de financiamento de projetos. A deficiência deste método é o curto prazo de avaliações, não abrangendo todas as etapas do projeto, expressando indicadores muito altos de difícil entendimento (GITMAN, 1997).

Já o método Demonstrativo de Resultados do Exercício é fundamentado na projeção de receitas e despesas com o objetivo de prever o lucro e margens de projeto em um determinado período. Este método pode conduzir o gestor a erros estratégicos ou necessidade de revisões constantes no seu planejamento no caso de horizontes de projeto muito longos devido a diversidade de fatores que podem ocorrer nesse período (GITMAN, 1997).

A Taxa Interna de Retorno é a taxa de juros que um investimento proporciona ao investidor, decorrente de estimativas de custos menores do que a soma das parcelas de benefícios esperados no futuro. Espera-se que o fluxo de caixa de projetos viáveis apresente uma taxa interna de retorno maior que a taxa mínima de atratividade, sendo esta a taxa de juros usada como referência, indicando o custo de oportunidade do investimento, sugerida pela CEF como sendo de 12% (BAGÉ, 2008). A taxa interna de retorno é dada pela equação 7.

$$\text{TIRE} = 100 * ((\text{RM}/\text{CM}) - 1) \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

TIRE = taxa interna de retorno do empreendimento (%);

RM = receita média resultante para as receitas anuais (R\$);

CM = custo marginal (R\$).

Os métodos de análise econômica levam em conta os seguintes parâmetros (BAGÉ, 2008):

- a) horizonte de projeto: período relativo aos investimentos e operação do sistema de esgotamento;
- b) volume tratado: o volume tratado dará origem à receita do sistema de esgotamento sanitário;
- c) receita anual: é o produto entre o número de ligações prediais e faturamento unitário do sistema de esgoto sanitário;
- d) investimentos: valores necessários para implantação do sistema, definindo a contrapartida, prazo de carência e amortização, taxa de juros e taxa de desconto anual;
- e) despesas com operação: valor gasto com despesas de coleta e tratamento de esgotos sanitários, energia elétrica, produtos químicos e pessoal;
- f) custo total: soma de todas as despesas anuais, ou seja, investimentos somado às despesas com operação;
- g) receita média: é a receita resultante dada pela razão entre a receita anual e volume tratado;
- h) custo marginal: é o custo para tratamento de 1m^3 de efluente, ou seja, é a razão entre o custo total e o volume tratado.

5 ESTUDO DAS ALTERNATIVAS PROPOSTAS PELO PLANO DIRETOR DE SANEAMENTO DO MUNICÍPIO DE BAGÉ/RS

Com o objetivo de expandir o sistema de esgotamento no município de Bagé e atender as necessidades da população, o Departamento de Água e Esgoto de Bagé (DAEB) juntamente a Engenharia e Consultoria em Saneamento Ambiental (ECSAM) empreenderam um estudo relativo ao Plano Diretor de Saneamento do município. Foram propostas inicialmente três alternativas, onde uma delas (alternativa 1) foi selecionada através de uma análise econômico financeira. Após uma melhor avaliação da alternativa escolhida, uma restrição da LP N° 544/2008-DL para a implantação de um sistema do tipo separador absoluto, concluiu que esta poderia ser reformulada, de modo a apresentar melhores resultados em termos financeiros através de métodos de avaliação de projetos, dando origem a quarta alternativa e escolhida pelo DAEB e pelos membros avaliadores da Caixa Econômica Federal.

Todas as alternativas propostas prevêem três etapas de implantação e utilizam as redes pluviais existentes para operar, transitoriamente, como redes combinadas. A última etapa do projeto prevê a execução das redes separadoras, iniciando a migração dos sistemas.

Para proceder a análise econômica das alternativas foram utilizados os métodos do Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno, critérios econômicos amplamente empregados em estudos de projetos de saneamento básico. Foram analisadas neste trabalho as duas alternativas que apresentaram melhores resultados financeiros.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PROJETO E SISTEMA EXISTENTE

A implantação de sistemas de esgoto em Bagé teve início em 1918 e sua operação aconteceu a partir de 1922, com a conclusão das obras da rede coletora, com quase 33 mil metros de rede e 656 ligações domiciliares. Hoje, Bagé conta com sistemas independentes de coleta e tratamento, composto por redes separadoras na maior parte dos bairros residenciais, com tratamentos individuais por fossas sépticas e filtros anaeróbios. Já na área central, uma grande

parcela de volume de esgotos veicula através das redes pluviais, devido a inexistência de redes para coleta e transporte de esgotos domésticos. Frente a estas limitações, o plano de ações para consolidar os sistemas de esgoto no município inicia-se na região central da cidade, local densamente povoado onde o sistema misto é predominante.

O principal arroio do município é o arroio Bagé que recebe as contribuições pluviais de outros quatro arroios. Por sua posição, foi identificado como possível corpo receptor para lançamento de esgoto tratado e manancial para abastecimento de água. Porém, através da avaliação das condições de lançamento de esgoto, verificou-se que as vazões mínimas do corpo receptor são muito inferiores às vazões médias de esgoto. Isto resulta na depleção das características ligadas ao lançamento de esgotos no arroio, indicando a necessidade de tratamentos mais eficientes.

Segundo análises laboratoriais feitas por uma empresa contratada pelo DAEB, o arroio principal não apresenta boas condições qualitativas ao longo do perímetro urbano devido às inúmeras descargas de esgoto doméstico que em grande parte são lançados in-natura nos cursos d'água, sendo este o principal contaminante do arroio Bagé e de seus tributários. Os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD) obtidos nas análises das amostras classificam o arroio como sendo Classe 4, segundo a Resolução CONAMA n. 357 (BRASIL, 2005). Pretende-se, após a implantação do sistema e através de alto grau de tratamento de efluentes, classificar o corpo receptor como sendo de Classe 2.

Como forma de organizar o espaço físico para o planejamento do sistema de esgoto sanitário, a área de projeto foi dividida em oito bacias hidrossanitárias, resultando em uma área de projeto de aproximadamente 50 km². O critério utilizado para a divisão das bacias foi a ocupação do solo e a topografia local, relativa ao escoamento do esgoto para um mesmo ponto através da inclinação natural do terreno.

5.2 BASES DE PROJETO

Para a projeção de contribuições do sistema de esgoto sanitário foi necessário estimar o crescimento populacional para o período de projeto, que corresponde a 30 anos. Sendo Bagé uma cidade de médio porte, o crescimento populacional foi estimado através do método do

Sistema de esgotamento combinado: adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais

Crescimento Geométrico, propício para cidades com crescimento acentuado. Com base nos dados do censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e utilizando a população de Bagé referente aos anos de 2000 e 2007, calculou-se a taxa de crescimento populacional e a população a ser atendida para final de plano.

Já para o dimensionamento das vazões médias e máximas de início e final de plano, foram definidos, além da população, o consumo *per capita*, o coeficiente de retorno, coeficientes de dia e hora de maior consumo, taxas de infiltração da ETE e da rede e a extensão das redes para cada bacia hidrossanitária. O quadro 2 especifica os valores dos parâmetros utilizados para o cálculo das vazões sanitárias médias e máximas, enquanto o quadro 3 apresenta a estimativa de crescimento populacional e respectivas vazões.

PARÂMETROS	
População de início de plano (2007)	102.133 hab.
Taxa de crescimento populacional	0,83% aa.
População de final de plano (2037)	130.876 hab.
<i>Per capita</i> de abastecimento	200 l/hab.dia
Índice de perdas	30 a 40%
Coeficiente de dia de maior consumo, K1	1,2
Coeficiente de hora de maior consumo, K2	1,5
Taxa de infiltração da rede	0,5 l/s.Km
Taxa de infiltração da ETE	0,2 l/s.Km
Coeficiente de retorno água/esgoto	0,8

Quadro 2: parâmetros utilizados para cálculo de vazões (BAGÉ, 2008)

PROJEÇÃO DE CONTRIBUIÇÕES				
ANO	POPULAÇÃO	L (Km)	Qs média (L/s)	Qs máxima (L/s)
2008	102981	448,64	277,05	567,59
2009	103835	453,98	283,08	573,11
2010	104697	459,40	285,76	578,69
2011	105566	464,87	288,47	584,32
2012	106442	470,42	291,20	590,02
2013	107326	476,03	293,96	595,77
2014	108217	481,72	296,75	601,58
2015	109115	487,47	299,56	607,45
2016	110021	493,29	302,40	613,38
2017	110934	499,19	305,27	619,37
2018	111855	505,16	308,17	625,43
2019	112783	511,21	311,10	631,55
2020	113719	517,33	314,06	637,73
2021	114663	523,52	317,04	643,97
2022	115615	529,80	320,06	650,28
2023	116574	536,15	323,11	656,66
2024	117542	542,58	326,19	663,10
2025	118517	549,09	329,29	669,60
2026	119501	555,68	332,43	676,18
2027	120493	562,35	335,60	682,82
2028	121493	569,11	338,81	689,53
2029	122501	575,95	342,04	696,31
2030	123518	582,87	345,31	703,16
2031	124543	589,88	348,61	710,08
2032	125577	596,98	351,95	717,08
2033	126619	604,17	355,31	724,15
2034	127670	611,45	358,72	731,29
2035	128730	618,82	362,15	738,51
2036	129798	626,28	365,62	745,80
2037	130876	633,83	368,58	753,17

Quadro 3: projeção de contribuições sanitárias (BAGÉ, 2008)

5.3 ALTERNATIVAS PROPOSTAS

As alternativas propostas foram elaboradas a partir das características do sistema existente de modo a subsidiar ao DAEB alternativas de gestão, administração e operação para efetiva implantação de sistemas de esgotos no município. Como condicionantes que embasaram os estudos para a elaboração das alternativas, destacam-se as características topográficas e de ocupação do solo, assim como pontos potenciais para lançamento de esgotos tratados e área de localização da ETE, de modo a drenar o esgoto de cada bacia para um local com cota de terreno mais baixa, onde se localizará a ETE. Em relação a transição do sistema de esgoto, todas as alternativas prevêm ligações domiciliares independentes de esgoto doméstico e

Sistema de esgotamento combinado: adoção como fase inicial para viabilizar obras de saneamento integrando questões sanitárias e ambientais

águas pluviais para final de plano, assim como a rede coletora que passará a operar como separadora.

Visto que a cidade de Bagé conta com redes separadoras em algumas áreas da cidade e, em sua maior parte, com redes mistas de esgoto sanitário e que os arroios próximos ao perímetro urbano estão comprometidos qualitativamente pelo lançamento de esgotos domésticos, o plano propõe três etapas para implantação dos sistemas de esgotos. As alternativas apresentadas seguem a mesma cronologia, diferenciando-se por aspectos técnicos e de operação. As etapas que abrangem o sistema de esgotamento do município são descritas a seguir.

- a) etapa 1: tem início em 2008 e finaliza-se em 2017 com a implantação de coletores tronco funcionando transitoriamente como sistemas combinados.
- b) etapa 2: tem início em 2018 e finaliza-se em 2027 com o início das ligações prediais e implantação de coletores tronco nas demais bacias, caracterizando o sistema combinado.
- c) etapa 3: tem início em 2028 e finaliza-se em 2037 com o término das ligações prediais e implantação dos sistemas separadores.

Para as etapas que operam o sistema combinado e captam águas pluviais para tratamento, de forma a não gerar sobrecarga hidráulica à ETE e não comprometer a eficiência do tratamento de efluentes, em períodos de chuva onde a vazão pluvial excede a vazão de projeto foi previsto um dispositivo de desvio de águas pluviais, também chamado de caixa de captação. Em tempo seco, este dispositivo encaminha a vazão sanitária à ETE e em períodos de chuva extravasa o volume de esgoto excedente ao volume projetado para tratamento. Localizado próximo a EBE, o dispositivo permite o tratamento da parcela de água pluvial mais comprometida por poluentes e matéria orgânica. Os detalhes da caixa de captação podem ser vistos na figura 12.

O Plano Diretor propôs inicialmente três alternativas de projeto para sanear o município. Após uma análise econômico-financeira, com indicadores financeiros apontando valores negativos e muito próximos, procedeu-se uma análise e reavaliação de alguns parâmetros de projeto da alternativa 1 (até então, melhor indicador financeiro), originando a quarta alternativa que, por sua vez, apresentou resultados mais satisfatórios na avaliação econômico-financeira.

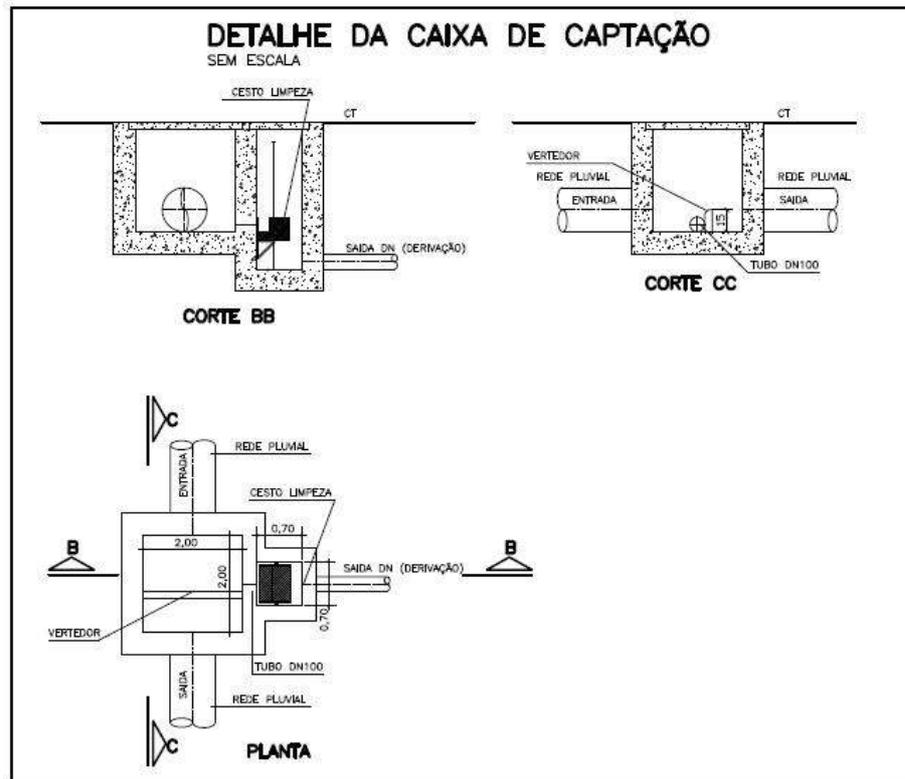


Figura 12: dispositivo de desvio de águas pluviais (BAGÉ, 2008)

Um dos fatores que influenciou nos resultados das análises econômicas foi o tratamento centralizado dos esgotos, previstos para as alternativas 1 e 4. Já as alternativas 2 e 3 mantêm a operação de duas e três ETE respectivamente, o que torna-as mais vulneráveis no ponto de vista econômico-financeiro pelo aumento do custo total do sistema, principalmente relativo à custos operacionais. Assim, serão analisadas neste trabalho a viabilidade técnica e econômica das alternativas 1 e 4, uma vez que as demais não apresentaram bons indicadores econômicos. A descrição das alternativas será apresentada posteriormente.

A centralização do tratamento de todo o efluente gerado pelo município é possível através da transposição de seis das oito bacias hidrossanitárias definidas. Para operar o sistema foram previstas unidades de sistemas coletores como redes coletoras, coletores tronco por gravidade, elevatórias e emissários por recalque. O arranjo de coletores tronco é análogo para ambas, visto que o sistema é definido na direção dos arroios e são previstos nos locais onde ocorrem a interconexão com o sistema existente.

O processo de tratamento na ETE diferencia as duas alternativas em termos financeiros e da tecnologia de tratamento, como descrito nos itens 5.3.1 e 5.3.2. Inicialmente, para o parâmetro

DBO, as duas alternativas requerem uma eficiência de tratamento de no mínimo 83%, definida conforme análises laboratoriais das amostras coletadas no arroio e em função da Classe requerida para o arroio após o tratamento. Em termos de remoção de nitrato, a alternativa 4 apresenta-se mais eficaz, uma vez que adota tratamentos mais avançados.

A definição do fator de diluição utilizado na alternativa 1 está vinculado às concentrações de carga orgânica a serem diluídas no curso d'água e a eficiência de tratamento previsto para os efluentes. Através da Classe requerida para o corpo d'água e seguindo as orientações da Resolução CONAMA n. 357 (BRASIL, 2007) é possível definir as concentrações de DBO e OD que enquadram o arroio em Classe 2.

Já para a alternativa 4, buscou-se valores mais realistas para vazões de fim de plano, quando o sistema separador absoluto passa a operar. Considerando vazões médias com fator de diluição próximo a dois, as vazões máximas do sistema combinado se aproximam às do sistema separador para a última etapa de projeto. Neste caso, o critério para a definição do fator de diluição da alternativa 4 foi diferente do critério adotado para a alternativa 1.

5.3.1 Alternativa 1

Para as vazões médias em tempo seco da alternativa 1, foram utilizados os parâmetros citados no quadro 2. Definido o quantum de vazão sanitária gerada pela população, o próximo passo foi definir quantitativamente o volume pluvial a ser incorporado ao sistema, uma vez que o Plano Diretor prevê um sistema combinado de esgoto para as primeiras etapas de projeto. De forma a coletar e tratar a parcela inicial de águas pluviais, torna-se imprescindível a utilização do fator de diluição para dimensionamento de sistemas combinados. Para o cálculo da vazão máxima combinada, definiu-se um fator de diluição próximo a 5,8 multiplicado à vazão máxima sanitária. Desta forma, as vazões efluentes a ETE de início e fim de plano estão apresentadas no quadro 4.

ETAPA	VAZÃO (L/s)	
	MÉDIA	MÁXIMA
INICIAL	277,05	3.296,52
FINAL	368,58	4.178,75

Quadro 4: contribuição do sistema de esgoto combinado da alternativa 1 (BAGÉ, 2008)

A ETE é dimensionada para a vazão média de início e final de plano, composta por cinco módulos de 80 l/s, sendo três módulos na primeira etapa e dois módulos na segunda etapa, finalizando com 34.560 m³/dia de esgoto tratado para final de plano. A estação elevatória final deverá ter capacidade máxima de 4.178,75 L/s, totalizando seis conjuntos motor-bomba, sendo cinco operativos e um reserva.

Em relação às unidades de tratamento previstas para a ETE, estas incluem caixa de areia com partidor hidráulico, módulo de tratamento com lagoas aeradas e reatores de nitrificação e desnitrificação, emissário final e sala de operadores. Este nível de tratamento apresenta boa eficiência na remoção de DBO e a produção de lodo final é mínima. Destaca-se que o tratamento obedece às diretrizes da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) e a Resolução CONSEMA n. 128 (BRASIL, 2006b), de modo a manter as concentrações do efluente tratado dentro dos limites especificados.

Para o dimensionamento dos coletores tronco e emissários são utilizadas as vazões máximas de projeto. Isto significa que neste caso, onde a água pluvial é incorporada ao sistema, os diâmetros nominais das unidades coletoras tendem a serem maiores que no sistema separador, mantendo uma relação direta com o fator de diluição. Os coletores tronco das bacias onde ocorrem as transposições são os que possuem maior diâmetro devido ao maior volume esgotado.

5.3.2 Alternativa 4

A alternativa 4 mantém grande parte dos critérios adotados na alternativa 1, visto que esta nasceu de uma reformulação da alternativa mais viável dentre as três anteriormente propostas.

As mudanças retificadas nesta alternativa refletem alterações substanciais nas avaliações econômicas apresentadas do item 5.5.

Uma das alterações que repercute no resultado da avaliação econômica é a diminuição do fator de diluição. Diminuir o volume de água pluvial no sistema significa reduzir a vazão máxima de projeto e conseqüentemente, diâmetros nominais menores para as unidades coletoras, assim como a potência adotada para determinadas elevatórias. As vazões calculadas para início e final de projeto, a partir de um fator de diluição igual a 2,0 é dada no quadro 5.

ETAPA	VAZÃO (L/s)	
	MÉDIA	MÁXIMA
INICIAL	277,05	567,59
FINAL	368,58	753,17

Quadro 5: contribuição do sistema de esgoto combinado da alternativa 4 (BAGÉ, 2008)

Nesta alternativa, buscou-se refletir nas vazões máximas do sistema combinado, valores mais reais e próximos ao sistema separador, de modo a prever o tratamento do volume sanitário característico para fim de plano. Para tanto, foram adotadas no seu cálculo as vazões médias de esgotos sanitários juntamente ao fator de diluição. Esta diferença no cálculo de uma alternativa para outra se deve a falta de regramento no País, obrigando os gestores a basearem-se em normas estrangeiras.

Em relação ao tratamento de efluentes, a alternativa 4 prevê etapas de maior eficiência nos processos de nitrificação e desnitrificação. Além das unidades previstas para a alternativa 1, a alternativa 4 utiliza um processo de tratamento do tipo lodos ativados com aeração prolongada e prevê unidades de precipitação química simultânea para remoção de fósforo e leitos de secagem de lodo. O efluente final tratado será lançado por gravidade para uma caixa de inspeção e em seguida através de um canal aberto para o corpo receptor.

Considerando a vazão média de projeto para início e fim de plano, esta alternativa sugere a adoção de quatro módulos de tratamento de 100 L/s, sendo um módulo na primeira e terceira etapa e dois módulos na segunda etapa, chegando ao mesmo volume tratado para fim de plano constatado na alternativa 1. A estação elevatória final deverá ter capacidade para a vazão

máxima de final de plano, com quatro grupos motor bomba, sendo três operativos e um reserva com rendimento superior a 70%.

5.4 ESTIMATIVA DE INVESTIMENTOS

As estimativas de investimentos para as unidades do sistema de esgotamento foram estabelecidas pelos custos unitários de obras implantadas pela CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), definidos através da média de outros projetos. Os custos de implantação são função do porte dos coletores, coletores tronco, emissários por recalque, elevatórias, estação de tratamento e ligações prediais.

Os investimentos necessários para cada unidade do sistema de esgoto sanitário e seus percentuais sobre o valor total de investimento são apresentados no quadro 6. Já os investimentos relativos as três etapas do sistema de esgoto e valores totais de investimento são mostrados no quadro 7. Os investimentos correspondem aos valores referenciais utilizados nas projeções financeiras e econômicas adotadas quando da elaboração do Plano Diretor e por ocasião da elaboração dos projetos executivos deverão ser reavaliados. A realidade dos custos é melhor refletida pelo projeto executivo, por isso da necessidade de revisão periódica do estudo econômico como instrumento de gestão.

A variação dos custos estimados para cada unidade das alternativas 1 e 4 se deve às mudanças na concepção das mesmas, tendo em vista a diferente operação das ETE para as duas alternativas, o fator de diluição que repercute na vazão final e por consequência nos diâmetros nominais dos coletores e o volume de esgoto a ser bombeado e tratado.

	Unidades	Investimento (R\$)	%
Alternativa 1	Coletores	33.081.948,46	32,92
	Elevatórias	7.794.953,00	7,76
	Emissários	10.221.254,66	10,17
	Tratamento ETE	7.287.959,76	7,26
	Rede separadora	31.750.097,40	31,6
	Ligações prediais	10.349.640,00	10,29
Alternativa 4	Coletores	15.584.697,00	18,82
	Elevatórias	3.848.000,00	4,64
	Emissários	4.288.617,50	5,18
	Tratamento ETE	19.000.000,00	20,52
	Rede separadora	31.750.097,40	38,34
	Ligações prediais	10.349.640,00	12,5

Quadro 6: investimentos por unidades do sistema de esgoto (BAGÉ, 2008)

ALTERNATIVA 1		
Ano	Etapa	Investimento (R\$)
2008	1	23.582.341,70
2018	2	30.822.724,68
2028	3	46.080.786,90
Total		100.485.853,28
ALTERNATIVA 4		
Ano	Etapa	Investimento (R\$)
2008	1	15.445.500,00
2018	2	19.294.765,00
2028	3	50.080.786,90
Total		84.821.051,90

Quadro 7: investimentos totais por etapas para as alternativas 1 e 4 (BAGÉ, 2008)

5.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS 1 E 4

As bases para avaliação econômica das alternativas incluem os custos com investimentos e os custos de operação e manutenção do sistema. Estes custos estão vinculados a um determinado período de tempo que, neste caso, equivale a 30 anos.

As despesas relativas à operação compreendem gastos com energia elétrica, produtos químicos e pessoal. Os gastos com operação na alternativa 4 representam 66% do valor gasto

na Alternativa 1, visto que a perspectiva de gastos com energia elétrica diminui proporcionalmente com a vazão.

Já o faturamento está relacionado à evolução das ligações prediais, ao volume de esgoto coletado e tratado e a arrecadação dos dados comerciais do DAEB. A arrecadação unitária, ou seja, o valor arrecadado por economia está abaixo do valor usual, uma vez que a cobrança está vinculada apenas à coleta de esgoto, não incluindo taxas de tratamento dos efluentes. Neste caso, utilizou-se o valor de 80% da arrecadação com abastecimento de água, como valor recomendado.

Para a projeção das receitas, os dados de entrada compreendem o volume de esgoto sanitário coletado e tratado, o número de ligações prediais e a arrecadação unitária. Visto que a projeção de volume de esgoto sanitário coletado e tratado está dimensionada para vazões médias, e que as duas alternativas referidas mantêm a mesma vazão, e ainda, que o número de ligações prediais e arrecadação unitária não varia em função do projeto pois a população atendida se mantém, a projeção das receitas para final de plano é a mesma para ambas as alternativas, representando uma receita anual para 2037 cujo valor presente é de R\$ 23.899,31.

Através de identificação dos custos e benefícios do projeto é possível estruturar um fluxo de caixa, apresentando as receitas e despesas relacionadas ao investimento. A partir daí, torna-se mais simples a utilização do método do valor presente líquido e da taxa interna de retorno, uma vez que estes indicadores apresentam uma previsão de futuro retorno do projeto.

As taxas utilizadas para cálculo da análise estão baseadas no Programa Saneamento para Todos, sucessor do programa Pró-Sanear. Este Programa consiste no financiamento de operações de crédito para implantação e melhorias na área de saneamento básico, com recursos oriundos do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) e da contrapartida do solicitante. As taxas do Programa utilizadas nesta avaliação constam no quadro 8.

TAXAS DO PROGRAMA SANEAMENTO PARA TODOS	
Taxa de desconto anual	12% aa.
Taxa de juros	6% aa.
Prazo de amortização máximo	20 anos
Período de carência máximo	48 meses
Contrapartida mínima da Companhia de Saneamento	10%
Enquadramento nível de perdas de água máximo	30%

Quadro 8: taxas utilizadas na avaliação econômica
(BAGÉ,2008)

Os resultados da avaliação seguem nos quadros 9 e 10 subsequentes, onde é possível verificar os resultados dos indicadores financeiros apresentados no trabalho. A análise dos resultados será apresentada no item 5.6.

Ano	VOLUME TRATADO (m ³)			RECEITA ANUAL (R\$)			INVESTIMENTO (R\$)			DESPESAS OPERAÇÃO (R\$)			CUSTO TOTAL (R\$)		
	Annual	Fvp	Valor Presente	Annual	Fvp	Valor Presente	Próprios	Financiado	Produção	Pessoal	Annual	Fvp	Valor Presente		
2008	8737,05	1,0000	8737,05	1847,55	1,0000	1847,55	2358,234		572,84	376,53	3307,41	1,0000	3307,41		
2009	8913,65	0,8929	7958,62	1853,14	0,8929	1654,58			574,14	376,53	950,67	0,8929	848,82		
2010	8997,85	0,7972	7173,03	1858,79	0,7972	1481,82			574,86	376,53	951,39	0,7972	758,44		
2011	9083,00	0,7118	6465,10	1864,61	0,7118	1327,19			575,58	376,53	952,11	0,7118	677,69		
2012	9169,09	0,6355	5827,12	1870,34	0,6355	1188,64		2336,11	576,31	376,53	3288,95	0,6355	2090,19		
2013	9255,82	0,5674	5252,00	1876,16	0,5674	1064,58		2336,11	577,05	376,53	3289,69	0,5674	1866,66		
2014	9343,80	0,5066	4733,86	1882,04	0,5066	953,50		2336,11	577,80	376,53	3290,43	0,5066	1667,04		
2015	9432,42	0,4523	4266,75	1888,01	0,4523	854,04		2336,11	578,55	376,53	3291,19	0,4523	1488,77		
2016	9521,98	0,4039	3845,77	1893,98	0,4039	764,94		2336,11	579,31	376,53	3291,96	0,4039	1329,56		
2017	9612,17	0,3606	3466,25	1899,94	0,3606	685,14		2336,11	580,08	376,53	3292,72	0,3606	1187,39		
2018	9703,63	0,3220	3124,31	3876,77	0,3220	1248,22	3082,272	2336,11	1632,36	547,68	7598,41	0,3220	2446,49		
2019	9795,71	0,2875	2816,03	3908,79	0,2875	1123,68		2336,11	1633,14	547,68	4516,92	0,2875	1298,51		
2020	9889,06	0,2567	2538,28	3941,12	0,2567	1011,59		2336,11	1633,93	547,68	4517,72	0,2567	1159,59		
2021	9983,04	0,2292	2287,85	3974,07	0,2292	910,75		2336,11	1634,73	547,68	4518,52	0,2292	1035,53		
2022	10077,96	0,2046	2062,15	4007,01	0,2046	819,91		5389,45	1635,54	547,68	7572,67	0,2046	1549,52		
2023	10173,83	0,1827	1858,72	4040,26	0,1827	738,14		5389,45	1636,35	547,68	7573,49	0,1827	1383,65		
2024	10270,96	0,1631	1675,42	4073,83	0,1631	664,53		5389,45	1637,18	547,68	7574,31	0,1631	1235,53		
2025	10369,04	0,1456	1510,19	4107,69	0,1456	598,26		5389,45	1638,01	547,68	7575,15	0,1456	1103,28		
2026	10467,74	0,1300	1361,22	4141,56	0,1300	538,57		5389,45	1638,85	547,68	7575,99	0,1300	985,18		
2027	10567,71	0,1161	1226,98	4176,05	0,1161	484,87		5389,45	1639,70	547,68	7576,84	0,1161	879,72		
2028	10668,31	0,1037	1105,95	5827,32	0,1037	604,10	4608,079	5389,45	1781,51	684,60	12463,64	0,1037	1292,07		
2029	10770,49	0,0926	996,91	5875,35	0,0926	543,82		5389,45	1782,38	684,60	7856,43	0,0926	727,19		
2030	10873,30	0,0826	898,60	5924,46	0,0826	489,61		5389,45	1783,25	684,60	7857,30	0,0826	649,35		
2031	10977,37	0,0738	810,00	5973,41	0,0738	440,77		5389,45	1784,14	684,60	7858,19	0,0738	579,84		
2032	11082,38	0,0659	730,13	6022,83	0,0659	396,80		7619,19	1785,03	684,60	10088,82	0,0659	664,67		
2033	11188,34	0,0588	658,14	6072,87	0,0588	357,23		7619,19	1785,93	684,60	10089,72	0,0588	593,51		
2034	11295,56	0,0525	593,25	6123,36	0,0525	321,60		7619,19	1786,84	684,60	10090,63	0,0525	529,97		
2035	11403,73	0,0469	534,76	6174,32	0,0469	289,54		7619,19	1787,76	684,60	10091,55	0,0469	473,23		
2036	11512,85	0,0419	482,03	6225,58	0,0419	260,66		7619,19	1788,69	684,60	10092,47	0,0419	422,56		
2037	11623,54	0,0374	434,53	6277,77	0,0374	234,68		7619,19	1789,63	684,60	10093,41	0,0374	377,32		
TOTAL	85430,99		85430,99	TOTAL	0,4052	23899,31		TOTAL	0,2798	RECEITA MÉDIA = 0,2798	TAXA INTERNA DE RETORNO = -30,9441%	34608,64			

Quadro 9: análise econômica da Alternativa 1 (BAGÉ, 2008)

Ano	VOLUME TRATADO (m ³)			RECEITA ANUAL (R\$)			INVESTIMENTO (R\$)			CUSTO TOTAL (R\$)			
	Anual	Fvp	Valor Presente	Anual	Fvp	Valor Presente	Próprios	Financiado	Produção	Pessoal	Anual	Fvp	Valor Presente
2008	8737,05	1,0000	8737,05	1847,55	1,0000	1847,55	1544,55		323,45	376,53	2244,53	1,0000	2244,53
2009	8913,65	0,8929	7958,62	1853,14	0,8929	1654,58			324,96	376,53	701,49	0,8929	626,33
2010	8997,85	0,7972	7173,03	1858,79	0,7972	1481,82			325,67	376,53	702,20	0,7972	559,79
2011	9083,00	0,7118	6465,10	1864,61	0,7118	1327,19			326,40	376,53	702,93	0,7118	500,33
2012	9169,09	0,6355	5827,12	1870,34	0,6355	1188,64		1530,01	327,13	376,53	2233,67	0,6355	1419,54
2013	9255,82	0,5674	5252,00	1876,16	0,5674	1064,58		1530,01	327,86	376,53	2234,40	0,5674	1267,86
2014	9343,80	0,5066	4733,86	1882,04	0,5066	953,50		1530,01	328,61	376,53	2235,15	0,5066	1132,39
2015	9432,42	0,4523	4266,75	1888,01	0,4523	854,04		1530,01	329,37	376,53	2235,91	0,4523	1011,41
2016	9521,98	0,4039	3845,77	1893,98	0,4039	764,94		1530,01	330,13	376,53	2236,67	0,4039	903,35
2017	9612,17	0,3606	3466,25	1899,94	0,3606	685,14		1530,01	330,89	376,53	2237,43	0,3606	806,84
2018	9703,63	0,3220	3124,31	3876,77	0,3220	1248,22	1929,476		857,42	547,68	4864,58	0,3220	1566,27
2019	9795,71	0,2875	2816,03	3908,79	0,2875	1123,68		1530,01	858,20	547,68	2935,89	0,2875	844,00
2020	9889,06	0,2567	2538,28	3941,12	0,2567	1011,59		1530,01	859,00	547,68	2936,69	0,2567	753,77
2021	9983,04	0,2292	2287,85	3974,07	0,2292	910,75		1530,01	859,80	547,68	2937,49	0,2292	673,20
2022	10077,96	0,2046	2062,15	4007,01	0,2046	819,91		3441,43	860,60	547,68	4849,71	0,2046	992,35
2023	10173,83	0,1827	1858,72	4040,26	0,1827	738,14		3441,43	861,42	547,68	4850,53	0,1827	886,17
2024	10270,96	0,1631	1675,42	4073,83	0,1631	664,53		3441,43	862,24	547,68	4851,35	0,1631	791,36
2025	10369,04	0,1456	1510,19	4107,69	0,1456	598,26		3441,43	863,08	547,68	4852,19	0,1456	706,69
2026	10467,74	0,1300	1361,22	4141,56	0,1300	538,57		3441,43	863,92	547,68	4853,03	0,1300	631,09
2027	10567,71	0,1161	1226,98	4176,05	0,1161	484,87		3441,43	864,77	547,68	4853,88	0,1161	563,57
2028	10668,31	0,1037	1105,95	5827,32	0,1037	604,10	5080,786		936,09	684,60	10142,90	0,1037	1051,48
2029	10770,49	0,0926	996,91	5875,35	0,0926	543,82		3441,43	936,96	684,60	5062,99	0,0926	468,63
2030	10873,30	0,0826	898,60	5924,46	0,0826	489,61		3441,43	937,83	684,60	5063,86	0,0826	418,49
2031	10977,37	0,0738	810,00	5973,41	0,0738	440,77		3441,43	938,72	684,60	5064,75	0,0738	373,72
2032	11082,38	0,0659	730,13	6022,83	0,0659	396,80		6872,45	939,61	684,60	8496,66	0,0659	559,78
2033	11188,34	0,0588	658,14	6072,87	0,0588	357,23		6872,45	940,51	684,60	8497,56	0,0588	499,85
2034	11295,56	0,0525	593,25	6123,36	0,0525	321,60		6872,45	941,42	684,60	8498,47	0,0525	446,35
2035	11403,73	0,0469	534,76	6174,32	0,0469	289,54		6872,45	942,34	684,60	8499,39	0,0469	398,57
2036	11512,85	0,0419	482,03	6225,58	0,0419	260,66		6872,45	943,27	684,60	8500,32	0,0419	355,90
2037	11623,54	0,0374	434,53	6277,77	0,0374	234,68		6872,45	944,21	684,60	8501,26	0,0374	317,81
TOTAL	85430,99		85430,99	TOTAL	0,0374	23899,31		TOTAL	944,21	684,60	8501,26	0,0374	23771,40
CUSTO MARGINAL = 0,2782				RECEITA MÉDIA = 0,2798				TAXA INTERNA DE RETORNO = 0,5381%					

Quadro 10: análise econômica da Alternativa 4 (BAGÉ, 2008)

5.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos através das avaliações econômicas para as duas alternativas potenciais, verifica-se na alternativa 4 um indicador financeiro mais vantajoso se comparado a alternativa 1, como segue no quadro 11.

ALTERNATIVA 1	
RECEITA ANUAL MÉDIA (RM)	0,27975
CUSTO MARGINAL (CM)	0,405
TAXA INTERNA DE RETORNO (TIRE)	-0,3094
ALTERNATIVA 4	
RECEITA ANUAL MÉDIA (RM)	0,27975
CUSTO MARGINAL (CM)	0,27825
TAXA INTERNA DE RETORNO (TIRE)	0,0054

Quadro 11: indicadores de avaliação econômica das alternativas 1 e 4
(BAGÉ,2008)

De acordo com o quadro 9, o valor presente dos custos totais do investimento para o período de projeto é bastante expressivo frente o valor presente da receita anual, indicando a necessidade de recursos para investimento que não o da própria receita para a alternativa 1. Já no quadro 10, o valor presente calculado para o custo total do investimento mantém-se inferior ao valor presente das receitas, representando, financeiramente, a melhor alternativa econômica de projeto, uma vez que a receita cobre as despesas previstas para esta alternativa.

A CEF recomenda para análises de viabilidade de projetos uma taxa mínima de atratividade igual a 12%. Para que um projeto seja potencialmente rentável, deve manter a TIRE superior a taxa de atratividade. Neste caso, a taxa interna de retorno calculada para a alternativa 4 não representa lucro financeiro ao investimento, ou seja, a companhia de saneamento não contará com ganhos econômicos advindos do empreendimento. O que ocorre é que a própria população, através do pagamento das taxas referentes à esgoto e água tratada, mantém os custos do empreendimento sem a necessidade de recorrer a recursos onerosos.

Tratando-se de uma obra pública que vai beneficiar mais de 130 mil habitantes, o retorno deste investimento é identificado no aumento da qualidade de vida da população, na progressiva despoluição do arroio Bagé, que servirá como manancial de abastecimento de água do município, na diminuição de doenças relacionadas à veiculação hídrica e conseqüente

queda nos gastos com saúde pública. Os investimentos em obras de infraestrutura sanitária onde o principal intuito é atender às necessidades da população, implica em benefícios sociais voltados à comunidade e aos gestores, quando da elaboração de projetos viáveis com recursos corretamente empregados e fiscalizados.

Uma vez que as receitas anuais e custos de operação com pessoal são iguais para ambas, o que influencia o valor presente dos investimentos para uma mesma taxa de desconto anual são os valores de despesas com a operação e investimentos anuais. Como a Alternativa 1 é dimensionada para vazões máximas muito superiores as da alternativa 4, as despesas com operação são maiores, visto que para bombear maiores vazões gasta-se mais energia elétrica e produtos químicos.

Analisando o quadro 6 é possível verificar um declínio nos custos com a rede coletora para a alternativa 4. A justificativa para a diminuição dos gastos se deve a vazão para a qual a rede coletora foi dimensionada, uma vez que o fator de diluição utilizado na alternativa 4 diminui a vazão máxima de projeto consideravelmente. Como apresentado no capítulo 3 deste trabalho, estima-se que os primeiros 10% do volume total de um evento de chuva contenha 90% da carga poluente que pode ser arrastada através do evento. Sendo assim, para sistemas combinados, pode se tornar muito caro o tratamento de grandes volumes pluviais, podendo não apresentar o retorno esperado. Não se justificam investimentos em redes de grande diâmetro a partir de 2028, quando o planejamento prevê que o sistema de esgoto sanitário opere como sistema de esgoto do tipo separador absoluto para o qual se necessitariam diâmetros menores.

O tratamento dos efluentes na ETE para a alternativa 4 apresenta-se mais realista frente a proposição da alternativa 1, de modo que a ETE é dimensionada para vazões médias e verificada para vazões máximas, a alternativa 1 apresenta uma discrepância relacionada à sua modulação, se comparada a vazão máxima. Em períodos em que o sistema operar com contribuições pluviais próximas a vazão máxima de projeto, a eficácia do tratamento estará comprometida, uma vez que a vazão de modulação não alcança a demanda de tratamento.

O processo de tratamento da alternativa 4 requer investimentos bastante superiores comparados a alternativa 1. Porém, as unidades de tratamento previstas para a alternativa escolhida são mais eficientes para remoção de nutrientes, principalmente de fósforo que contribui para a eutrofização das águas. Considerando a modulação adotada na alternativa 4 e

a vazão máxima de projeto, pode-se concluir que apesar de mais cara, trará resultados mais seguros e consistentes frente a recuperação da qualidade do arroio Bagé.

O tratamento de esgoto através da implantação de módulos de tratamento conforme a demanda, implica na otimização dos recursos. Visto que o projeto se dará em três etapas, cada uma num período de dez anos, não há a necessidade de implantar inicialmente a vazão de tratamento necessária para fim de projeto onde parte desta capacidade não será aproveitada. Para obras a longo prazo, trabalhar com implantação por etapas torna-se muito mais vantajoso do que investir todos os recursos num primeiro momento, arcando com despesas muitas vezes desnecessárias para o período.

6 CONCLUSÕES FINAIS

Visto que os investimentos previstos na área de saneamento implicam em melhorias sociais, a adoção de políticas públicas voltadas ao bem estar da população e a preocupação com a qualidade de vida se faz necessária quando da gestão administrativa, de forma a prever a correta alocação dos recursos públicos. Investimentos em redes de esgotos e tratamento de efluentes geram considerável aumento da perspectiva e qualidade de vida da população, assim como o declínio da incidência de doenças de veiculação hídrica. Desta forma, investe-se mais em melhorias públicas e gasta-se menos em problemas gerados pela falta de infraestrutura em saneamento.

Conforme apresentado nas alternativas propostas pelo Plano Diretor de Saneamento de Bagé/RS, a gestão integrada entre a drenagem pluvial e o sistema de esgotamento sanitário representa uma solução para comunidades que apresentam carência de recursos financeiros e necessitam ampliar as extensões de redes sanitárias. A partir das receitas geradas através do pagamento de tarifas de água e esgoto pela população e conforme a nova lei do saneamento, que propõe etapas de eficiência e alcance progressivo de padrões ambientais, torna-se factível empreender obras de saneamento visando seu tratamento final, garantindo viabilidade na execução dos projetos.

Ambientalmente, o sistema de esgoto combinado como etapa transitória favorece a aceleração da recuperação da qualidade dos cursos d'água através do tratamento da parcela nociva do primeiro fluxo de água após períodos de precipitação e pela inexistência de ligações irregulares, uma vez que todo o esgoto é destinado ao tratamento. Esta sistemática representa um avanço para os corpos hídricos em termos qualitativos, pois em tempo seco, a parcela de esgoto doméstico não pode chegar sem tratamento ao corpo receptor.

As pesquisas bibliográficas realizadas ao longo do trabalho exploraram as condições as quais o sistema de esgoto combinado está inserido. Visto que se trata de um sistema que opera com sucesso em países desenvolvidos com baixos índices pluviométricos, sua utilização em países tropicais como o Brasil deve ser prevista com cautela, necessitando alguns cuidados. O extravasamento de águas pluviais em grandes quantidades juntamente aos esgotos domésticos

pode comprometer a finalidade ambiental desse sistema e a construção de tanques de sedimentação para armazenamento de águas pluviais pode tornar-se uma solução dispendiosa.

Há falta de normas técnicas e regulamentação para que o sistema de esgoto combinado se transforme numa etapa de transição para viabilizar sistemas separadores no futuro. Esta alternativa pode levar a coleta, transporte e tratamento de esgotos principalmente à população menos favorecida. Algumas resoluções e leis já têm simplificado o licenciamento para técnicas não convencionais, justificadas pelas limitações de recursos financeiros disponíveis, o que dificulta a implantação de sistemas separadores absolutos em determinados locais que cresceram rapidamente.

Visando a elaboração de norma técnica, importante para a sistemática de projeto e aprovação de sistemas de esgotamento combinado, recomenda-se o aprofundamento dos estudos para a incorporação de águas pluviais aos sistemas sanitários como etapa inicial de projeto. A formação de novos profissionais e o aperfeiçoamento dos gestores também são de grande importância frente a necessidade da busca por novas concepções e capacidade de prover soluções mais adequadas dentro do âmbito técnico, econômico e ambiental.

REFERÊNCIAS

BAGÉ. Departamento de Água e Esgoto de Bagé. **Plano Diretor de Saneamento do Município de Bagé**. Bagé, set. 2008.

BERNARDES, R. S.; SOARES, S. R. A. **Esgotamento combinado e controle da poluição: estratégia para planejamento do tratamento da mistura de esgotos sanitários e águas pluviais**. Brasília: CAIXA, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 001, de 23 de janeiro de 1986. Estabelece as definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 24 ago. 2009.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 237, de 19 de dezembro de 1997. Estabelece as atividades passíveis de Licenciamento Ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 24 ago. 2009.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõem sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2009

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 377, de 09 de outubro de 2006a. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgoto Sanitário. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/resolucoes/2006_Res_CONAMA_377.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2009.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria do Meio Ambiente. Resolução n. 128, de 24 de novembro de 2006b. 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. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/pdf/Resolucao128Efluentes.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2009.

_____. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979; 8.036, de 11 de maio de 1990; 8.666, de 21 de junho de 1993; 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá outras providências. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm >. Acesso em: 20 set. 2009.

D'ALASCIO S. Z.; EMMENDOERFER M. L.; SOLERA M. C. C. Caixa ecológica. Florianópolis, 2009. Disponível em <<http://www.caixaecologica.com.br/>>. Acesso em: 17 dez. 2009.

FRIZZO, E. E.; EKMAN, M. C. S. **Plano Diretor de Esgotamento do Município de Caxias do Sul**. Caxias do Sul: Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul, mar. 2000, Caxias do Sul.

<http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab_101.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2009.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Instituto Brasileiro de Economia. Centro de Políticas Sociais. **Trata Brasil**: saneamento e saúde. Rio de Janeiro, 2007.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 7. ed. São Paulo: Harbra, 1997.

IDE, C. N. **Qualidade da drenagem pluvial urbana da Bacia dos Açorianos**. 1984. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MORETTI, R. S.; YAZAKA, L. F. O. Gestão integrada das redes pluviais e de esgotos. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo, v. 18, n. 133, p. 31-35, mar./abr. 2008.

PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da ABRH, 1995. p. 387-428. v. 5.

SILVA, L. M. C. Vazão ambiental no Brasil. Oficina de vazão ambiental. 2008. Disponível em: <http://pnrh.cnrh-srh.gov.br/oficina_vazão/docs/vazão_ambiental_no_brasil.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2009.

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.latinoamerica.com/docs/pdf/070804%20sanitario%20Brasil_port.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2009.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, jan.-mar. 2002.

_____. **Gestão de águas pluviais**. Brasília: Ministério das Cidades, out. 2005. Saneamento para Todos, Programa de Modernização do Setor de Saneamento, v. 4.

WARTCHOW, D. A transformação de um sistema de drenagem pluvial. In: ENCONTRO NACIONAL DE DRENAGEM URBANA, 1998, Porto Alegre, **Anais...**, Porto Alegre: Departamento de Esgotos Pluviais, p. 46-52.

WARTCHOW, D.; DORNELES, I. A adoção do sistema de esgotamento do tipo unitário ou misto, como alternativa sanitária e ambiental. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE SANEAMENTO, 4., 1990, Belo Horizonte, **Anais...**, [S.L.: s.n.], p. 1-17.

WARTCHOW, D.; FARIA, C. M.; LERSCH, E. C.; SCHWARZBACH, M. S. R. Avaliação da recuperação da qualidade da água do balneário de Ipanema em Porto Alegre, RS. In:

ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 24., 1997, Brasília/DF. **Anais...**, [S.L.: s.n.], p. 193-203.

**ANEXO A – Planta Arranjo do Sistema de Esgotamento Sanitário e
Estação de Tratamento de Esgotos da Alternativa 4**



1º ETAPA - SISTEMA COLETORES TRONCO DO TIPO SEPARADOR ABSOLUTO ETAPA FINAL COM INTERCEPTAÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO

 COLETORES TRONCOS : CT6, CT(5+6), CT7, CT8 e CT(8+10+11)



ESTAÇÃO ELEVATÓRIA E1 : INSTALAR 02 BOMBAS
01 BOMBA OPERANDO + 01 DE RESERVA

 EMISSÁRIO POR RECALQUE: EM1 ATÉ A ETE

 DESÁGUE 1 DA ETE - BAGÊ: DS1 POR GRAVIDADE



ESTAÇÃO DE TRATAMENTO: INSTALAR 01 MÓDULO
TOTALIZANDO 01 X 100 = 100 L/s + DESÁGUE DS1 NO ARROIO
GONTAN

2º ETAPA - AMPLIAÇÃO DO SISTEMA COM INTERCEPTAÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

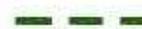
 COLETORES TRONCOS : CT1, CT2 , CT(1+2), CT3, CT4, CT(3+4),
CT5, CT9, CT10 E CT11 e CT(10+11)



ESTAÇÃO ELEVATÓRIA E1: INSTALAR + 01 BOMBA
02 BOMBAS OPERANDO + 01 DE RESERVA



ESTAÇÃO DE TRATAMENTO: INSTALAR + 02 MÓDULOS
TOTALIZANDO 03 X 100 = 300 L/s

 DESÁGUE 2 DA ETE - BAGÊ: DS2 POR GRAVIDADE

3º ETAPA - SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO

 COLETORES TRONCO : DO COLETOR TRONCO CT12
AO COLETOR TRONCO CT26



ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS : DA E2 ATÉ A E12 INSTALAÇÃO
DE 02 BOMBAS = 01 OPERANDO + 01 DE RESERVA
INSTALAR + 01 BOMBA
03 BOMBAS OPERANDO + 01 DE RESERVA

 EMISSÁRIOS: DO EM2 AO EM12



ESTAÇÃO DE TRATAMENTO: INSTALAR + 01 MÓDULO
TOTALIZANDO 04 X 100 = 400 L/s

