COPPE/UFRJ

OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA DO USO DO ESGOTO TRATADO
UMA ANÁLISE DO TRANSPORTE DA ÁGUA DE REÚSO EM BUSCA DA SUSTENTABILIDADE

Mônica Romano de Sá Nogueira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadores: Francisco Antonio de Moraes Accioli Doria

Isaac Volschan Junior

Rio de Janeiro
Setembro de 2010

OTIMIZAÇÃO ECONOMICA DO USO DO ESGOTO TRATADO
UMA ANÁLISE DO TRANSPORTE DA ÁGUA DE REÚSO EM BUSCA DA SUSTENTABILIDADE

Mônica Romano de Sá Nogueira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Examinada por:

_____
Prof. Francisco Antonio de Moraes Accioli Doria, D.Sc.

_____
Prof. Isaac Volschan Junior, D.Sc.

_____
Prof. Eduardo Pacheco Jordão, D.Sc.

_____
Prof. Elton Fernandes, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2010

Nogueira, Mônica Romano de Sá

Otimização Econômica do Uso do Esgoto Tratado. Uma Análise do Transporte da Água de Reúso em Busca da Sustentabilidade/ Mônica Romano de Sá Nogueira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XIV, 185 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Francisco Antonio de Moraes Accioli. Doria, Isaac Volschan Junior

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 179-185.

1. Reúso da Água. 2. Análise econômica. I. Doria, Francisco Antonio de Moraes Accioli, *et al.*. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Otimização Econômica do Uso do Esgoto Tratado. Uma Análise do Transporte da Água de Reúso em Busca da Sustentabilidade.

Aos meus amados pais Paulo César e Fátima que estão sempre ao meu lado, me apoiando e me incentivando em todas as horas, me ensinando sobre a vida, me dando amor, carinho, amizade, dedicação, compreensão e sem os quais nada seria possível. Ao meu querido Professor Isaac de quem tenho muito orgulho de ser discípula, que me ensinou a desvendar e a amar o saneamento e que sempre acreditou no meu potencial.

Agradeço primeiramente à Deus, por ter me dado todas as ferramentas que preciso para batalhar todos os dias pelos meu objetivos, pela saúde, pela família, pelos professores, pelos amigos e por ter o privilégio de trabalhar com amor.

Aos meus professores do Departamento de recursos Hídricos e Meio Ambiente da UFRJ, em especial aos professores Jordão e Paulo Renato pelos ensinamentos, apoio e carinho recebidos ao longo desses anos.

Aos Professores Cosenza e Dória por terem me acolhido na engenharia de produção e me dado a oportunidade de realizar com sucesso o meu mestrado.

Aos funcionários da UFRJ pela ajuda de todas as horas.

À minha irmã Patrícia por se preocupar e cuidar de mim.

À minha avó Generosa e tia Neide por sempre estar em suas orações.

Ao meu amigo Daniel, exemplo de vitória e superação, por estar sempre me incentivando, dividindo as angústias, compartilhando o conhecimento e me mostrando que nós podemos tudo o que queremos, basta dar tudo de si.

Às minhas amigas, em especial a minha melhor amiga Carol, pela amizade verdadeira, pelo carinho de todas as horas, sempre disposta a ouvir mais do que falar, por compreender as ausências e dar força nas minhas escolhas profissionais.

Aos colegas com os quais convivo na minha vida profissional por acreditarem no meu trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

OTIMIZAÇÃO ECONOMICA DO USO DO ESGOTO TRATADO
UMA ANÁLISE DO TRANSPORTE DA ÁGUA DE REÚSO EM BUSCA DA SUSTENTABILIDADE

Mônica Romano de Sá Nogueira

Setembro/2010

Orientadores: Francisco Antonio de Moraes Accioli Doria
Isaac Volschan Junior

Programa: Engenharia de Produção

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um modelo de análise econômica para sistemas de uso do esgoto tratado, com foco principal nos custos relativos ao seu transporte. A flexibilidade e operacionalidade desse instrumento facilitarão a efetiva abordagem dos custos envolvidos na prática do reúso da água, ainda na fase de elaboração dos projetos de engenharia de sistemas complementares para as estações de tratamento de esgotos na procura do atendimento aos padrões de reúso, passando pelos custos de transporte e reservação, até os custos de operação e manutenção de um sistema de reúso da água implantado. A seqüência de cálculo do modelo, além de dar base à avaliação de viabilidade econômica para auxílio à decisão quanto ao reúso da água, também visa demonstrar que tal viabilidade é real. Sua concepção encontra-se baseada no conceito de viabilização econômica de soluções que visem uma maior sustentabilidade e o emprego de práticas ambientalmente corretas, uma vez que com o reúso pode-se, por exemplo, aumentar a disponibilidade de recursos para agricultura, ao mesmo tempo em que se liberam as águas de melhor qualidade para os usos mais nobres. O modelo desenvolvido objetiva demonstrar até que distância é economicamente viável transportar a água de reúso de modo a disponibilizá-la à custos inferiores ao da água potável, sendo desta forma mais vantajosa para o consumidor e auxiliando assim na difusão da prática de reúso da água.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ECONOMIC OPTIMIZATION OF THE USE OF SEWAGE TREATY.
AN ANALYSIS OF TRANSPORT OF WATER REUSE IN SEARCH OF SUSTAINABILITY

Mônica Romano de Sá Nogueira

September/2010

Advisors: Francisco Antonio de Moraes Accioli Doria
Isaac Volschan Junior

Department: Production Engineering

This work has as its aim the presentation of an economic analysis model for treated sewage systems; primarily focused on transport related costs. The flexibility and operability of this tool will help the cost estimation process involved in the evaluation of water reuse opportunities. The tool contemplates the whole of the water reuse system, from transport and storage to operation and maintenance, and enhances the preparation of preliminary engineering designs for complementary sewage treatment systems aimed at achieving water reuse quality requirements. The sequence of model calculations provides the basis for evaluating economic viability and enhances decision making regarding the reuse of water, whilst demonstrating the reality of such viability. The design is based on the concept of the economic feasibility of the solutions and it is aimed at sustainable and environmentally sound practices, since reuse can, for example, increase the availability of resources for agriculture, whilst allowing water of a better quality to be directed to nobler uses. The model aims at identifying the maximum distance to which it is still economically feasible to transport water for reuse, whilst still making it available at a lower cost then drinking water and, therefore, more advantageous to the consumer and helping to spread the practice of wastewater reuse.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO……..2
1.1. O Problema.....2
1.2. Justificativa.....9
1.3. Objetivo.....13
1.3.1 Objetivos específicos.....15
2. OS ESGOTOS.....17
2.1. Tratamento dos esgotos para fins de lançamento em corpos d'água.....18
2.2. Tratamento dos esgotos para fins de reúso.....23
2.2.1 Filtração.....28
2.2.2 Desinfecção / Cloração.....31
3. REÚSO DA ÁGUA.....40
3.1. Tipos de Reúso.....43
3.1.1. O Reúso Agrícola.....46
3.1.2. O Reúso Urbano.....49
3.1.3. O Reúso Industrial.....50
3.2. Diretrizes e Critérios de Qualidade para Água de Reúso.....53
3.2.1. Considerações Iniciais.....53
3.2.2. Critérios de Adequação ao Uso.....57
3.3. Padrões e Orientações de Qualidade para a Água de Reúso.....59
3.3.1. Padrões para o Reúso Agrícola.....61
3.3.2. Padrões para o Reúso Urbano.....67
3.3.3. Padrões para o Reúso Industrial.....69
4. O MODELO DE OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA DO REÚSO – OETAR.....72
4.1. Etapa de Tratamento – Sistema de Filtração Rápida & Desinfecção.....79
4.2. Etapa de Transporte – Sistema de Adução.....99
4.3. Etapa de Reservação….....109
4.4. Custo Total do Sistema de Reúso da Água.....116
5. APLICAÇÃO DO MODELO OETAR.....118
5.1. Cenário 1.....120
5.2. Cenário 2.....125
5.3. Cenário 3.....130
5.4. Cenário 4.....135

5.5. Cenário 5.....140
5.6. Cenário 6.....145
5.7. Cenário 7.....150
5.8. Cenário 8.....155
5.9. Cenário 9.....160
5.10. Cenário 10.....165
5.11. Considerações sobre os Cenários.....170
6. CONCLUSÕES.....177
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....179

LISTA DE FIGURAS

2.1. Processos de Desinfecção de Esgotos Sanitários.....33
4.1. Estrutura esquemática do Modelo OETAR.....72
4.2. Esquemático da área da câmara de lavagem (m²).....81
4.3. Corte esquemático de um filtro de água rápido descendente.....83
4.4. Esquemático da disposição das câmaras de um filtro.....87
4.5. Esquemático das dimensões do reservatório de água de reúso.....110

LISTA DE TABELAS

2.1. Níveis do tratamento dos esgotos.....22
2.2. Características dos principais níveis de tratamento dos esgotos.....23
2.3. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente os níveis indicados de qualidade do efluente em termos de Coliformes termotolerantes e Ovos de helmintos.....27
2.4. Características do meio filtrante e taxas de filtração.....30
2.5. Vantagens e desvantagens da desinfecção por cloração de esgotos.....35
2.6. Nível de desenvolvimento, aspectos de operação e manutenção da desinfecção por cloração de esgotos 35
2.7. Dosagem de cloro para diferentes tipos de efluentes.....37
3.1. Diretrizes da USEPA para o uso agrícola de esgotos sanitários.....62
3.2. Diretrizes da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários.....63
3.3. Diretrizes segundo interpretação da Resolução CONAMA 357, 2005 para o uso agrícola de esgotos sanitários.....65
3.4. Diretrizes do PROSAB para o uso agrícola de esgotos sanitários.....66
3.5. Diretrizes da USEPA para usos urbanos de esgotos sanitários.....67
3.6. Diretrizes do PROSAB para usos urbanos de esgotos sanitários.....69
3.7 Diretrizes da USEPA para usos industriais de esgotos sanitários.....70
4.1. Siglas utilizadas nos algoritmos do Modelo OETAR.....78
4.2. Especificações dos filtros.....80
4.3. Dimensões Verticais da Caixa de Filtro.....82
4.4. Especificação da Camada Suporte de Pedregulho.....82
4.5. Preços unitários de materiais para a construção de filtro rápido descendente.....87
4.6. Percentual de acréscimo para potência calculada.....93
4.7. Valores aproximados de K (perdas localizadas).....102
4.8. Valor do coeficiente *C* sugerido para a fórmula de Hazen-Williams.....103
5.1. Tarifas praticadas pela Concessionária Águas de Niterói.....118
5.2. Custos específicos de transporte de água.....119
5.3. Custos de capital, anual e total obtidos em cada um dos cenários e respectivos custos do metro cúbico da água de reúso para um tempo de retorno do investimento de um ano.....170

LISTA DE GRÁFICOS

4.1. Curva de Custo de investimento para filtro rápido descendente com reservatório para água de lavagem.....89

4.2. Curva de custos de anuais do processo de filtração com reservatório para água de lavagem.....95

4.3. Curva de Custo de investimento para o reservatório de água de Reúso.....113

4.4. Curva de Custos anuais da etapa de reservação de água de reúso.....115

5.1. Custo da Água de Reúso em Função da Distância de Recalque.....171

5.2. .Custo da Água de Reúso em Função da Distância de Transporte por Caminhão Pipa.....172

LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AWWA – American Water Works Association.

BDI – Benefício e Despesas Indiretas.

CF – Coliformes Fecais.

Cl- – Íon Cloreto.

Cl2 – Cloro na forma gasosa.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CRT – Cloro Residual Total.

CT – Coliformes Totais.

CTer – Coliformes Termotolerantes.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DBO5 – Demanda Bioquímica de Oxigênio média a 5 dias, 20ºC.

DQO – Demanda Química de Oxigênio.

E.Coli – Escherichia coli.

EMOP – Empresas de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro.

ETA – Estação de Tratamento de Água.

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FRC – Fator de recuperação de capital da etapa de tratamento.

H+ – Íon Hidrogênio.

HOCl – Ácido Hipocloroso.

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

MO – Mão de Obra.

NaOCl – Hipoclorito de Sódio.

NTU – Nephelometric Turbity Unit.

OCl– – Íon Hipoclorito.

ODM – Objetivos de Desenvolvimento do Milênio.

OMS – Organização Mundial de Saúde.

ONU – Organização das Nações Unidas.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento,

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais.

SNGRH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

SNIS – Sistema nacional de Informações sobre Saneamento,

SS – Sólidos em Suspensão.

SST – Sólidos em Suspensão Totais.

UASB – Upflow Anaerbic Sludge Blanket ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente.

UNEP – Programa Ambiental das Nações Unidas.

USEPA – United States Environmental Protection Agency,

UV – Ultra Violeta.

WEF – Water Environment Federation.

WHO – World Health Organization.

WPCF – Water Pollution Control Federation.

Capítulo 1

Introdução

1. Introdução

1.1 O Problema

A água, devido a sua essencialidade para a vida, é o bem mais precioso do planeta. As pessoas se referem à água de modo singular, denominando-a de "precioso líquido". A água doce sempre foi e continuará sendo vital para o consumo doméstico humano, público, comercial, na agricultura, pecuária, indústria e para o lazer. A incontestável importância da água tem levado as autoridades e entidades não governamentais a proporem ações visando despertar na sociedade globalizada a necessidade de seu gerenciamento para garantir à atual e futuras gerações água com qualidade. Através de ações educativas e de gestão ambiental, deve-se enfatizar que a água não é simplesmente um líquido que mata a sede. Na verdade, é isso e mais, sem ela sequer existiria vida neste planeta.

A água encontra-se disponível sob várias formas e é uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, cobrindo cerca de 70% da superfície do planeta. É encontrada principalmente no estado líquido, constituindo um recurso natural renovável por meio do ciclo hidrológico. Todos os organismos necessitam de água para sobreviver, sendo a sua disponibilidade um dos fatores mais importantes a moldar os ecossistemas. É fundamental que os recursos hídricos apresentem condições físicas e químicas adequadas para sua utilização pelos organismos. Eles devem conter substâncias essenciais à vida e estar isentos de outras substâncias que possam produzir efeitos deletérios aos organismos que compõem as cadeias alimentares. Assim, disponibilidade de água significa que ela está presente não somente em quantidades adequadas em uma dada região, mas também que sua qualidade deve ser satisfatória para suprir as necessidades de um determinado conjunto de seres vivos (biota) (BRAGA *et al.*, 2005).

Segundo BRAGA *et al.* (2005), estima-se que a massa de água total existente no planeta seja aproximadamente igual a 265.400 trilhões de toneladas; entretanto, apesar de existir em abundância, nem toda água é diretamente aproveitada pelo homem. Do total apresentado, somente 0,55% representa água doce explorável sob o ponto de vista

tecnológico e econômico. É necessário ainda subtrair aquela já muito poluída, restando, assim, para utilização direta, apenas 0,003% do volume total de água do planeta. Além disso, a água doce é distribuída de maneira bastante heterogênea no espaço e no tempo.

De toda água existente no mundo, 97,5% é salgada e encontra-se nos oceanos e mares. Os restantes 2,5% correspondem às águas doces, distribuídas entre calotas polares, cursos d'água, lagos, nuvens e aquíferos. O Brasil possui grandes reservas hidrológicas, com cerca de 14% da água doce do planeta, mas apenas 0,5% encontra-se disponível para o consumo humano. Seus grandes centros urbanos já apresentam déficit de abastecimento, captando água em áreas cada vez mais distantes, com reflexos diretos no aumento de custos e na complexidade do tratamento químico (VAITSMAN *et al.*, 2005).

Mas a dificuldade de abastecimento de água não é uma exclusividade brasileira. Tal fato é decorrente de um desenvolvimento da sociedade urbana e industrial de maneira irracional, sem planejamento e à custa de altos índices de degradação ambiental e social. Esta degradação provocou impactos negativos que comprometem a qualidade de vida e a convivência equilibrada entre progresso e meio ambiente.

Ao longo da história o homem tem usado a água não só para suprir suas necessidades metabólicas, mas também para outros inúmeros fins. Além de dar suporte à vida, a água pode ser utilizada para o transporte de pessoas e mercadorias, geração de energia, produção e processamento de alimentos, processos industriais diversos, recreação e paisagismo, além da assimilação de poluentes (MIERZWA *et al.*, 2005). Porém, é a água para o consumo humano que deve ser priorizada. O problema é que em sua utilização a água sempre foi tratada como um produto inesgotável, entretanto, a capacidade de renovação dos corpos d'água é finita.

Nas regiões áridas e semi-áridas, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos procuram, continuamente, novas fontes de recursos para contemplar a pequena disponibilidade hídrica ainda disponível (REBOUÇAS *et al.*, 2006).

Fora as variações naturais características das fases do ciclo hidrológico, importantes alterações têm ocorrido nas fases desse ciclo por causa de interações humanas, intencionais ou não. O uso do solo é fator de importância fundamental na ocorrência natural de água. O desmatamento e a urbanização podem modificar o ciclo hidrológico ao diminuírem, por exemplo, a evapotranspiração.

Entretanto, o fenômeno da escassez não é atributo exclusivo das regiões áridas e semi-áridas. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender a demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida (REBOUÇAS *et al.*, 2006).

Juntamente com os problemas relacionados à quantidade de água – tais como: escassez, estiagem e cheias -, há também aqueles relacionados à qualidade da água; muitos assumem que a natureza possa assimilar, em forma ilimitada, todo tipo de elemento contaminante e por conta dessa visão equivocada, além de desperdiçá-la, contaminam-na de forma criminosa descarregando toneladas de esgotos sem o devido tratamento em rios e lagos, indiferente às conseqüências destes atos.

Com a urbanização descontrolada, o aumento da população, e, conseqüentemente o aumento do volume da carga orgânica lançada nos corpos de água, estes vêem diminuindo consideravelmente sua capacidade de se autodepurarem. A contaminação das águas pelos resíduos humanos vem tornando a água dos nossos rios cada vez mais impura e inadequada ao consumo, agravando o problema da escassez desse recurso.

Antes tida como um bem abundante e inesgotável, a água tornou-se um bem cada vez mais valioso. Vários trabalhos apontam que a próxima crise da humanidade estará intimamente relacionada com a disponibilidade, conservação e disputa dos recursos hídricos. Apesar de catastrófica, tudo indica que realmente pode ocorrer, caso não mudemos nossa relação com este importante recurso.

Uma das conseqüências mais perversas desse mau uso é a exclusão hídrica. O acesso à água já é um dos mais limitantes fatores para o desenvolvimento socioeconômico de muitas regiões. De acordo com DOWBOR (2003), sua ausência, ou contaminação, leva à redução dos espaços de vida, além de ocasiona imensos custos humanos e uma perda global de produtividade social.

Doenças e mortes relacionadas com a água lideram as causas de mortalidade infantil para a maior parte da população mundial. O descaso com este recurso natural vem se tornando, rapidamente, um problema de dimensões preocupantes. A luta social em torno da água resulta de processos políticos, econômicos e ecológicos profundamente excludentes e marginalizastes que governam a expansão das cidades. Hoje, segundo DOWBOR *et al.* (2005), apenas metade da população das nações em desenvolvimento tem acesso seguro à água potável.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que 25 milhões de pessoas no mundo morrem por ano em virtude de doenças transmitidas pela água, como cólera e diarréias. A OMS indica que nos países em desenvolvimento 70% da população rural e 25% da população urbana não dispõem de abastecimento adequado de água potável.

De acordo com o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), cerca de 460 milhões de pessoas (mais de 8% da população mundial) vivem em países em condição de estresse hídrico. Cerca de 25% da população mundial vive em países que se aproximam da condição de estresse hídrico. Mais de 2,8 bilhões de pessoas vivendo em 48 países sofrerão com estresse hídrico ou com escassez de água em 2025. Destes países, 40 situam-se no Oriente Médio, no norte da África e na África subsaariana. Em 2050, o número de países passando por estresse ou escassez de água poderia aumentar para 54, afetando 4 bilhões de pessoas, cerca de 40% da população mundial estimada.

Segundo dados da FAO (2003), o Brasil destaca-se por apresentar a maior disponibilidade hídrica renovável no planeta, porém aparece em vigésimo sexto lugar com relação à disponibilidade hídrica social (em m^3/hab.ano), decorrente da grande desigualdade na

distribuição destes recursos no país, com 57% concentrados na região norte e parte do nordeste e centro-oeste onde a densidade populacional é muito baixa.

Esta disponibilidade tende a diminuir cada vez mais, demonstrando assim a necessidade de se rever o sistema de consumo e a solução do problema de disponibilidade em curto prazo. Serão necessárias a conscientização e a participação da sociedade na preservação dos recursos hídricos, associada ao controle do crescimento populacional, adotando assim medidas prioritárias para evitar a escassez de água nos próximos anos.

A maneira como o homem utiliza a água varia consideravelmente de país para país. Segundo a FAO (2003), no que diz respeito ao consumo mundial de água 70 % destina-se ao setor agrícola, 20% é utilizado no setor industrial e apenas 10% no consumo doméstico (humano, uso sanitário e serviços urbanos municipais). Enquanto que a necessidade diária de água para o consumo humano é de apenas quatro litros, a água necessária à produção de alimento para esta mesma pessoa diariamente é muito maior, variando entre 2000 e 5000 litros.

Quanto maior o nível de desenvolvimento de um país, maior é o consumo de água no setor doméstico. Este fato deve-se ao alto nível de urbanização, o que implica em maiores gastos de água na municipalidade, como por exemplo, em hospitais, creches, parques, centros esportivos; e em residências que possuem piscinas, grandes jardins, calçadas e banheiras. O consumo de água nos Estados Unidos, é de 350 L/hab/dia, sendo que Nova York pode chegar a 2.000 L/hab.dia e nos países da África, a população consome apenas 15 L/ hab.dia. Na Europa, calcula-se que o consumo médio seja de 200 L diários (REVISTA NACIONAL GEOGRAPHIC, 2010) e na Índia, apenas 25 L (MACÊDO, 2001).

O Brasil segue a tendência mundial de gastar o maior percentual de água na agricultura, correspondendo a quase metade das demandas, consumindo, porém, mais no abastecimento doméstico do que no setor industrial (BOSCARDIN BORGHETTI, 2004). Este fator é preocupante, porque o atendimento do principal objetivo do ODM (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio) da ONU, que consiste em reduzir pela metade o número de

pessoas desnutridas no mundo antes de 2015, implicará num aumento de 50% de água tratada para a agricultura. Este aumento terá conseqüências ambientais caso não sejam empregadas técnicas de desenvolvimento sustentável (GAZETA MERCANTIL 2005).

Todos estes fatores, com risco eminente de esgotamento dos recursos hídricos, como a desigual distribuição dos recursos hídricos, seus diferentes usos, o crescimento contínuo da população, a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, períodos de seca seguidos de grandes enchentes, levaram-nos a procurar novos meios de obtenção de suprimentos adicionais de água. Neste sentido, intensas pesquisas vêm sendo feitas para desenvolver sistemas de tratamento eficientes e tecnologias de recuperação de efluentes que atendam a esta crescente demanda.

TUNDISI (2003) ressalta que não existe fórmula global e definitiva, como uma receita única para resolver o problema da escassez da água, seja ela em razão de desequilíbrios em seu ciclo ou como conseqüência de poluição excessiva. A solução estaria sim relacionada a ações locais e regionais diversificadas, que utilizam a cultura local sobre a água e o ciclo hidrosocial, devendo-se fundamentar nos avanços tecnológicos necessários e nas ações políticas, gerenciais e de organização das instituições em nível de bacias hidrográficas, consórcios de municípios, bacias interestaduais e internacionais.

Nesse sentido, a reutilização e reciclagem da água despontaram como uma opção viável para aumentar o seu tradicional suprimento. Soluções para fechar o ciclo entre a disponibilidade de água e a disposição dos efluentes. A utilização de efluentes de Estações Municipais de Tratamento de Esgotos, principalmente para uso não potável urbano e industrial trouxeram para os planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos um importante instrumento, uma nova fonte de recurso ou substituição de fonte, para complementar a disponibilidade hídrica existente.

MANCUSO *et al.* (2003) comenta que especialistas em planejamento ambiental apontam o aproveitamento de subprodutos da atividade humana como uma das melhores alternativas

ao controle da poluição devido ao fato de que ao reusar estes subprodutos diminui-se a pressão sobre o meio ambiente no sentido da captação e disposição final destes.

O reúso da água visa, sempre que possível, com o uso de tecnologias apropriadas, a recuperação e o reaproveitamento das águas, evitando, assim, a utilização de água potável para usos que tolerem águas de qualidade inferior, permitindo uma maior otimização dos recursos hídricos disponíveis.

Desta maneira, o reúso da água contribui para o ideal de desenvolvimento sustentável, garantindo assim, o atendimento "às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades" (CHISTOFOLETTI, 2002).

A utilização planejada do reúso da água tem aumentado nas últimas décadas, principalmente nos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, como resposta à crescente escassez da água. O uso de esgotos tratados e não tratados, em conservação paisagística e na agricultura, é comum nos Emirados Árabes Unidos, no Omã, em Baharein, no Egito, no Iêmen, na Jordânia, na Síria e na Tunísia (MANCUSO *et al.*, 2003).

No Brasil, muitas Estações de Tratamento de Esgotos possuem efluentes de boa qualidade, inclusive com remoção de fósforo e desinfecção. Portanto, faz-se necessário que os órgãos, governamentais ou não, adotem medidas rígidas com respeito ao consumo de água e o incentivo ao reúso.

O reúso ou a reutilização das águas residuais, como queiram chamar, seja ela tratada ou não, tem despontado como uma alternativa para a minimização desse grave, atual e/ou futuro problema. Com o reúso pode-se, por exemplo, aumentar a disponibilidade de recursos para agricultura, ao mesmo tempo em que se liberam as águas de melhor qualidade para os usos mais nobres. Segundo MANCUSO *et al.* (2003), no contexto global, uma redução de 10% na fração destinada à irrigação, liberaria água suficiente para, grosseiramente, duplicar o consumo doméstico em âmbito mundial.

Pelos desafios que apresenta, a questão da água pode se tornar um exemplo das formas mais modernas de gestão sistêmica para se conseguir um desenvolvimento sustentável, onde, principalmente, uma mudança do comportamento dos diversos atores sociais e da população em geral seria necessária. Esta mudança não se consegue somente com regulamentos e leis, mas sim com uma melhor compreensão da sociedade e de seus problemas estruturais, orientando os valores para a redução do desperdício, para a preservação ambiental e outras atitudes essenciais para a nossa sobrevivência.

1.2 Justificativa

Neste ponto, vale destacar a diferença entre as expressões "*uso dos esgotos*" e "*reúso da água*". Embora, na visão deste adutor, essencialmente sejam equivalentes, diz-se "*uso dos esgotos*", pois o esgoto em si é um subproduto de atividades humanas, ou seja, é uma matéria que ainda não foi utilizada, por isso devemos empregar o termo "*uso*", e no caso do presente trabalho, "*uso dos esgotos tratados*". Por outro lado, se considerarmos que o esgoto é uma água transformada, sendo uma matéria já utilizada anteriormente, teremos o termo "*reúso da água*". Segundo LAVRADOR FILHO (1987), *reúso da água* é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original.

Embora a implantação de sistemas para suprir demandas específicas relacionadas ao reúso seja incipiente no Brasil, o reúso de água residuária não é tema novo na literatura técnica nacional e internacional. Pode-se mesmo citar muitos exemplos de ações coordenadas com sucesso real em diversos países como Japão, EUA, Israel, países do oriente médio e outros, que devido às suas necessidades e características de disponibilidade e utilização, foram obrigados a desenvolver tecnologias de reúso de efluentes para suplementar a oferta de água e suprir suas demandas (FLORÊNCIO *et al.* 2006).

De maneira geral, como destacado pelo PROSAB (FLORÊNCIO *et al.* 2006), os sistemas clássicos de tratamento de esgotos são concebidos visando ao lançamento do efluente final em corpos d'água naturais, devendo, portanto, segundo a Resolução CONAMA 357/2005,

alterada pela Resolução 397/2008, atender "*às condições e padrões de lançamento...*". Sendo assim, a escolha dos processos e parâmetros para dimensionamento dessas estações é condicionada à capacidade de diluição e assimilação do corpo receptor diante das características do efluente, tomando-se por referencia a vazão media do esgoto tratado e a vazão mínima do corpo receptor.

Por outro lado, VON SPERLING *apud.* MOTA *et al.* (2009) reconhece a dificuldade dos processos usuais de tratamento de esgoto, projetados visando apenas à remoção de matéria orgânica, em atender plenamente a legislação federal, o que só é possível quando se pode contar com graus elevados de diluição ou, do contrário, com arranjos mais sofisticados que possibilitem reações complexas, o que, contudo, além de demandar significativos esforços e custos operacionais, segundo o mesmo autor, nem sempre é suficiente para atender as exigências do corpo receptor.

Desta forma, o uso de esgoto tratado vem se destacando como alternativa passível de associar-se aos processos de tratamento de esgoto substancialmente mais simples do que aqueles a serem propostos para o atendimento ao padrão de lançamento em corpo d'água, principalmente no caso do reúso agrícola, no qual se elimina a necessidade de remoção de nitrogênio e fósforo (VON SPERLING *apud.* MOTA *et al.,* 2009).

Embora a decisão entre lançar os esgotos tratados no corpo receptor ou reutilizá-lo possa parecer simples, ainda segundo VON SPERLING *apud.* MOTA *et al.* (2009), a escolha da melhor rota de disposição do efluente tratado passa por uma analise que deve considerar: a legislação atual; a confiabilidade operacional do sistema que esta sendo projetado; o conhecimento do potencial de reúso em relação à água e nutrientes; as técnicas de reúso; as exigências ambientais e de saúde publica; os aspectos sociais envolvidos referentes à aceitação desta pratica; as relações entre a empresa de saneamento e os usuários; os fatores econômicos e os fatores situacionais. Portanto, não e uma decisão fácil, por envolver não só exigências legais ou conhecimento técnico, mas também questões sociais e organizacionais das operadoras.

No sentido de buscar um embasamento teórico que respondesse os diversos questionamentos existentes em diferentes temáticas no âmbito do saneamento, foi criado o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB, que tem por objetivo apoiar o desenvolvimento de pesquisas e aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias (esgoto), resíduos sólidos (lixo e biossólidos), manejo de águas pluviais urbanas, uso racional de água e energia, que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção, bem como visem a recuperação ambiental dos corpos d'água e a melhoria das condições de vida da população, especialmente as menos favorecidas e que mais necessitem de ações nessas áreas.

Ate o final de 2008 foram lançados cinco editais do PROSAB, que funciona no formato de redes cooperativas de pesquisas formadas a partir de temas prioritários lançados a cada Chamada Publica. No âmbito de cada rede, os projetos das diversas instituições têm interfaces e enquadram-se em uma proposta global de estudos, garantindo a geração de resultados de pesquisa efetivos e prontamente aplicáveis no cenário nacional.

Com relação ao tema Esgotos Sanitários (tema 2), o referido programa teve como alvo, no âmbito dos Editais 4 e 5, o desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologia de tratamento, condicionamento e de reúso de águas residuárias. Abordou o reúso de efluentes sanitários tratados em diferentes experimentos na agricultura, em hidropônia, na piscicultura e na produção de água para fins urbanos e industriais não potáveis, incluindo o desenvolvimento e a melhoria de técnicas de tratamento, a utilização controlada desse efluente e sua desinfecção para fins produtivos.

Segundo o PROSAB (MOTA *et al.*, 2009) é fato que devido aos grandes volumes envolvidos e vantagens econômicas o setor agrícola se destaca como principal usuário da água de reúso. No entanto, lembra que não existe irrigação com esgoto tratado na época das chuvas e que existem regiões onde a atividade agrícola não é expressiva para o reúso, e outras onde se poderão empregar diversos tipos de reúso simultaneamente. Portanto, ao se pensar num sistema de reúso de água deve-se ter em mente que a introdução de uma prática de reúso não inibe a necessidade de que, caso haja efluentes excedentes das estações de

tratamento ou das atividades de reúso, estes estejam próprios para o lançamento enquadrados na Resolução CONAMA 357/2005; e que por isso, o sistema de tratamento de esgotos deverá ser projetado de modo a produzir efluentes para o reúso que possam, quando necessário, ser lançados em corpos receptores, atendendo à referida resolução.

Este é o grande dilema relacionado à tecnologia de tratamento de esgotos no âmbito de soluções que visem uma maior sustentabilidade e o emprego de práticas ambientalmente corretas: uma ETE para subsidiar os padrões mais restritivos de lançamento e que ao mesmo tempo atenda as características necessárias ao reúso da água.

O PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006) ratifica que a justificativa econômica para se fazer um projeto de reúso de águas servidas, que pode ser dita como o ponto principal para a maioria das empresas de saneamento, está na comparação entre o preço da água oriunda do sistema de abastecimento público, o qual é geralmente subsidiado, e os custos que serão adicionados ao tratamento dos esgotos com a produção de água para outros fins diferentes da disposição no curso d'água.

Em países com pouca disponibilidade de hídrica, a utilização da água de reúso pode significar redução nas demandas no serviço de abastecimento público e possibilitar o aumento da cobertura do atendimento. Nestes casos, a discussão a cerca do reúso não é centrada no preço da água, mas sim na oferta. Entretanto, em locais com razoável disponibilidade de água e altos índices de cobertura, onde o problema com a água pareça algo distante, os custos de um sistema de reúso serão um dos fatores mais importantes na decisão (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

No que se refere á investimentos, o PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006) destaca que os custos de uma ETE padrão estão relacionados não só às características dos esgotos afluentes, mas também à capacidade de diluição e de depuração do corpo d'água receptor, bem como aos usos desta água à jusante. Do mesmo modo, os custos de um sistema de reúso estão diretamente relacionados aos fins a que ele se destina, uma vez que o fator mais

importante para se propor um sistema de reutilização de águas residuárias é que sua qualidade seja adequada aos usos pretendidos.

De maneira geral, quanto maior for a possibilidade de manejo e manuseio das pessoas com a água de reúso, melhor deve ser a sua qualidade e, portanto, maiores serão os custos para sua produção. Entretanto, como dito anteriormente, é indispensável que os sistemas que produzem água para o reúso sejam concebidos levando-se em consideração as situações nas quais o reúso da água não é total, havendo assim a necessidade de lançamento do efluente da estação de tratamento de esgotos da no corpo receptor. De acordo com as publicações do PROSAB, PROSAB 4 (2006) E PROSAB 5 (2009), a questão está em projetar um sistema que contemple essas duas alternativas sem comprometer a qualidade da água produzida em relação à requerida para ambas alternativas e, principalmente, sem que isso signifique em aumentos expressivos de custos que possam inviabilizar o reúso.

Além dos custos relacionados à produção de água (tratamento, energia, etc) existem também os custos referentes ao transporte desta água para a área de demanda. Bombear o esgoto tratado para outra região acarreta custos operacionais e de implantação que em muitos casos, devido a barreiras geográficas (grandes distâncias, características do solo, etc) ou ocupação urbana, podem chegar a inviabilizar o projeto. Portanto, o PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006) relembra que, salvo nos casos de carência de oferta de água, um programa de uso de efluentes de ETE's passa, obrigatoriamente, por uma análise econômica para avaliar sua viabilidade. Ninguém vai querer pagar mais por uma água de qualidade inferior, tendo alternativas para suprir suas necessidades, como poços ou mesmo o sistema público de abastecimento.

1.3 Objetivo

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo principal demonstrar a viabilidade econômica da prática de reúso da água para cidades providas de sistema de esgotamento sanitário com estação de tratamento de esgotos, tendo como principal referência para tanto os custos de tratamento complementar devido ao reúso da água e de

transporte da água de reúso. Com isso, pretende-se responder até que distância é economicamente viável transportar a água de reúso de modo a disponibilizá-la à custos inferiores ao da água potável, sendo assim mais vantajosa para o consumidor. Ou seja, indicar o quão longe se pode levar a água de reúso de modo a facilitar e potencializar o seu uso ao transportá-la da ETE até os centros consumidores mais próximos, descentralizando assim o seu fornecimento, tornando o reúso mais atrativo.

No que diz respeito à Etapa de Tratamento, procurando manter o atendimento ao padrão de lançamento, sem que isso signifique grandes elevações nos custos, o presente trabalho sugere a manutenção das instalações das estações de tratamento de esgotos já existentes, com o acréscimo de sistema de tratamento complementar para água de reúso, composto por filtração e cloração; assumindo-se, mediante pesquisas nas publicações do PROSAB, que a adição de tais tratamentos é suficiente para atender a todos os tipos de reúso (agrícola, urbano e industrial) simultaneamente. Sendo assim, o Modelo OETAR desenvolvido não contabilizará os custos já existentes referentes ao tratamento dos esgotos para lançamento, mas apenas os custos adicionais relativos ao tratamento complementar acrescido no sistema para fins de reúso.

O Prosab corrobora com o objetivo exposto ao questionar a viabilidade econômica dos programas de reúso centralizados, originados a partir de adaptações em estações municipais de tratamento de esgotos, com a instalação de tratamento complementar e a construção de um sistema paralelo de reserva e distribuição. O Prosab indica a análise individual de cada caso, afirmando sempre que para o arranjo de reúso ser considerado positivo o custo da água de reúso deve ser de tal forma a cobrir os custos das empresas de saneamento e, ao mesmo tempo, atender aos anseios das prefeituras e indústrias, colaborando assim para o incentivo a sua prática (FLORÊNCIO *et al.*, 2006; MOTA *et al.*, 2009).

1.3.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

i. Desenvolver um modelo de análise econômica, Modelo OETAR, em Planilha Excel, aplicado à prática do uso de esgotos tratados para diversos fins;
ii. Desenvolver indicadores de custo que facilitem a aplicação futura do Modelo OETAR de análise econômica;
iii. Aplicar o Modelo OETAR desenvolvido para diferentes cenários hipotéticos de acordo com a variação dos seus respectivos dados de entrada;
iv. Cotejar economicamente os resultados da aplicação do Modelo OETAR para diferentes cenários hipotéticos à realidade do abastecimento de água por um sistema público convencional.

Capítulo 2

Os Esgotos

2. Os Esgotos

A palavra esgoto é um termo usado para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidade públicas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais, e outros efluentes sanitários (JORDÃO *et al.*, 2005). Segundo o mesmo autor, a aversão injustificada pelo termo "esgoto" tem levado alguns autores ao emprego do termo "águas residuárias", que expressa a tradução literal da palavra "wastewater". Já o presente estudo, por muitas vezes, fará uso do termo "águas de reúso" para fazer referência ao efluente do tratamento dos esgotos.

Os esgotos costumam ser classificados em dois grupos principais: os esgotos industriais, extremamente diversos, provêm de qualquer utilização da água para fins industriais, possuindo características próprias que variam quantitativa e qualitativamente em função do processo industrial empregado; e os esgotos sanitários, constituídos essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração e eventualmente uma parcela não significativa de despejos industriais, sendo mais facilmente caracterizados (JORDÃO *et al.*, 2005).

Os esgotos domésticos - a parcela mais significativa dos esgotos sanitários e cuja utilização do efluente de seu tratamento será alvo do presente estudo - provêm principalmente de residências, edifícios públicos e comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização de água para fins domésticos. Resultantes do uso da águas pelo homem em função dos seus hábitos higiênicos e de suas necessidades fisiológicas, os esgotos domésticos compõem-se essencialmente de água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e água de lavagem (BRAGA *et al.*, 2005).

Apesar de variarem em função dos costumes e condições socioeconômicas das populações, os esgotos domésticos têm características bem definidas, constituindo-se, aproximadamente, de 99,9% de líquido e 0,1% de sólidos, em peso . O líquido em si nada

mais é do que um meio de transporte de inúmeras substâncias orgânicas, inorgânicas e microorganismos eliminados pelo homem diariamente, já os sólidos são os responsáveis pela efetiva deterioração da qualidade do meio (BRAGA *et al.*, 2005). Os principais agentes poluidores das águas presentes nos esgotos domésticos são: os sólidos em suspensão, a matéria orgânica biodegradável e não biodegradável, os nutrientes, os organismos patogênicos, os metais e os sólidos inorgânicos dissolvidos (VON SPERLING, 2005).

Se não for tratado e disposto adequadamente, o esgoto pode causar enormes prejuízos à saúde pública por meio de transmissão de doenças. Os esgotos podem contaminar a água, os alimentos, os utensílios domésticos, as mãos, o solo ou serem transportados por vetores, como moscas, ratos e baratas, provocando infecções. Epidemias de febre tifóide, cólera, disenterias, hepatite infecciosa e inúmeros caos de verminoses, algumas das doenças que podem ser transmitidas pela disposição inadequada dos esgotos, são responsáveis por elevados incides de mortalidade em países desenvolvidos, sendo as crianças suas vítimas mais freqüentes (BRAGA *et al.*, 2005).

Os esgotos podem ainda poluir rios e fontes, afetando os recursos hídricos e a vida vegetal e animal, prejudicando a preservação da qualidade ambiental, uma vez que a presença da matéria orgânica dos esgotos acarreta uma depleção do oxigênio dissolvido na massa de água e reduz a vida aquática. Sendo assim, o planejamento de um sistema de esgoto tem dois objetivos fundamentais: a saúde pública e a preservação ambiental.

2.1 Tratamento dos esgotos para fins de lançamento em corpos d'água

De maneira simples, um sistema de tratamento de esgotos se resume na busca eficiente da remoção dos poluentes nele contidos. Segundo VON SPERLING (2005) em estudos de concepção de uma estação de tratamento de esgotos deve-se definir com clareza os seguintes aspectos:

- Impacto ambiental do lançamento no corpo receptor;

- Objetivos do tratamento (principais constituintes a serem removidos);
- Nível de tratamento; e
- Eficiência de remoção desejada.

Os requisitos a serem atingidos para o efluente são função de legislação específica. No Brasil, como será apresentado no Capítulo 3, a legislação que se aplica ao lançamento de esgoto e a proteção dos corpos d'água superficiais é a Resolução Conama 357, de 17 de marco de 2005. Esta resolução "*dispõe 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 da outras providencias*". A Resolução Conama 357/05 dividiu as águas do território nacional em águas doces (salinidade ≤ 0,05%), salobras (0.05% < salinidade <3,0%) e salinas (salinidade ≥ 3,0%). Em função dos usos previstos foram determinadas 13 Classes, a cada uma correspondendo uma determinada qualidade a ser mantida no corpo d'água, sendo esta qualidade expressa na forma de padrões através da referida Resolução Conama.

Juntamente com os padrões de qualidade dos corpos receptores, a Resolução Conama 357/05 prevê os padrões para o lançamento de efluentes nos corpos d'água (padrões de descarga ou de emissão). Ambos os padrões estão de certa forma inter-relacionados, possuindo objetivos comuns o atendimento aos padrões de lançamento deve garantir, simultaneamente. O atendimento aos padrões do corpo receptor, como pode ser demonstrado nos trechos transcritos a seguir da referida Resolução:

> Art. 24. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam as condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.
> Art. 28. Os efluentes não poderão conferir ao corpo de água características em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediarias e final, do seu enquadramento.

> Art. 32. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aqüicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.
> § 1º Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes devera, simultaneamente:
> I - atender as condições e padrões de lançamento de efluentes;
> II - não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referencia; e
> III - atender a outras exigências aplicáveis.

A remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente, está associada aos conceitos de nível do tratamento e eficiência do tratamento (VON SPERLING, 1996)..

O sistema de tratamento dos esgotos pode compreender quatro níveis, através dos quais pode ser classificado. A definição do nível do tratamento de esgotos de uma determinada ETE está associada ao maior nível existente na mesma. Segundo VON SPERLING (2005), são eles (ver **Tabelas 2.1** e **2.2**):

i. Tratamento preliminar (ou mecânico) - remoção de grandes sólidos e areia para proteger as demais unidades de tratamento, os dispositivos de transporte (bombas e tubulações) e os corpos receptores. A remoção da areia previne, ainda, a ocorrência de abrasão nos equipamentos e tubulações e facilita o transporte dos líquidos. É feita com o uso de grades que impedem a passagem de trapos, papéis, pedaços de madeira, etc.; caixas de areia, para retenção deste material; e tanques de flutuação para retirada de óleos e graxas.

ii. Tratamento Primário (ou físico-químico) – o efluente ainda contém sólidos em suspensão não grosseiros cuja remoção pode ser feita em unidades de sedimentação,

reduzindo, em decorrência, a matéria orgânica contida no efluente. Os sólidos sedimentáveis e flutuantes são retirados por meio de mecanismos físicos, via decantadores. O efluente flui vagarosamente pelos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto. Os materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade, são removidos na superfície. O tratamento primário também pode ser constituído por sistemas anaeróbios (lagoa anaeróbia, tanque séptico, tanque Imhoff, reator anaeróbio de fluxo ascendente).

iii. Tratamento Secundário (ou biológico) - processa, principalmente, a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, eventualmente, de nutrientes como nitrogênio e fósforo. É a etapa de remoção biológica dos poluentes, sendo sua eficiência a responsável por permitir a produção de um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental. Basicamente, são reproduzidos os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorrem no corpo receptor, sendo que a diferença está na maior velocidade do processo, na necessidade de utilização de uma área menor e na evolução do tratamento em condições controladas. São exemplos de tratamento secundário a filtração biológica, o processo de lodos ativados e as lagoas de estabilização aeróbias, facultativa e aerada.

iv. Tratamento Terciário (ou de polimento) - remoção de poluentes específicos, (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis, micronutrientes e patogênicos), ou remoção complementar de poluentes não degradados suficientemente nos tratamentos primário e secundário. Este tratamento é utilizado quando se deseja obter um tratamento de qualidade superior para os esgotos. São exemplos de tratamento terciário os processos de remoção de organismos patogênicos, os processos de remoção de nutrientes e os processos de tratamento avançado (filtração final, absorção por carvão, membranas).

VON SPERLING (2005) define ainda que o tratamento preliminar deve existir em todas as estações de tratamento de esgotos sanitários em nível primário, secundário ou terciário; o tratamento secundário (biológico) pode ou não vir imediatamente após o tratamento preliminar; o tratamento terciário é raro em países em desenvolvimento; e a remoção de

nutrientes e de patogênicos pode ser considerada como integrante do tratamento secundário ou do terciário, dependendo do processo adotado.

Tabela 2.1. Níveis do tratamento dos esgotos

Nível	Remoção
Preliminar	• Sólido em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)
Primário	• Sólidos em suspensão sedimentáveis • DBO em suspensão (associada à matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	• DBO em suspensão (caso não haja tratamento primário: DBO associada à matéria orgânica em suspensão, presente no esgoto bruto) • DBO em suspensão finamente particulada (caso haja tratamento primário: DBO associada à matéria orgânica em suspensão não sedimentável, não removida no tratamento primário) • DBO solúvel (associada à matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos, presentes, tanto nos esgotos brutos, quanto no efluente do eventual tratamento primário, uma vez que sólidos dissolvidos não são removidos por sedimentação)
Terciário	• Nutrientes • Organismos patogênicos • Compostos não biodegradáveis • Metais pesados • Sólidos inorgânicos dissolvidos • Sólidos em suspensão remanescentes
Notas : • DBO em suspensão é também denominada DBO particulada; DBO solúvel pode ser considerada como equivalente à DBO filtrada • A remoção de nutrientes (por processos biológicos) e de organismos patogênicos pode ser considerada como integrande do tratamento secundário, dependendo do processo de tratamento adotado.	

Fonte: VON SPERLING, 2005.

Tabela 2.2. Características dos principais níveis de tratamento dos esgotos

Item	Névle de tratamento[1]		
	Preliminar	**Primário**	**Secundário**
Poluentes removidos	• Sólidos grosseiros	• Sólidos sedimentáveis • DBO em suspensão	• Sólidos não sedimentáveis • DBO em suspensão fina • DBO solúvel • Eventualmente nutrientes • Eventualmente patóginos
Eficiência de remoção	-	• SS: 60 a 70% • DBO: 25 a 35% • Coliformes: 30 a 40%	• DBO: 60 a 98%[3] • Coliformes: 60 a 99%[3] [4]
Mecanismo de tratamento predominante	• Físico	• Físico	• Biológico
Cumpre padrões de lançamento?[2]	• Não	• Não	• Usualmente sim
Aplicação	• Montante de elevatória • Etapa inicial de todos os processos de tratamento	• Tratamento parcial • Etapa intermediária de tratamento mais completo	• Tratamento mais completo (para remoção de matéria orgânica)

Notas:

(1) Uma ETE em nível secundário usualmente tem tratamento preliminar, mas pode ou não ter tratamento primário (depende do processo).

(2) Padrão de lançamento, tal como expresso nas legislações ambientais estaduais mais usuais. O órgão ambiental poderá autorizar outros valores para o lançamento, caso estudos ambientais demonstrem que o corpo receptor continuará enquadrado dentro de sua classe.

(3) As faixas de eficiência de remoção no tratamento secundário são as mesmas, independente se há ou não tratamento primário no fluxograma do processo (as eficiências de remoção do tratamento primário não são somadas às do tratamento secundário).

(4) A eficiência de remoção de coliformes poderá ser superior, caso haja alguma etapa de remoção específica.

Fonte: VON SPERLING, 2005.

2.2 Tratamento dos esgotos para fins de reúso

De acordo com MOTA *et al.* (PROSAB 5, 2009), a dificuldade em se atender os padrões do corpo receptor aponta para uma gestão integrada, em que o reuso seja uma alternativa concreta, utilizada não apenas para se ter um uso produtivo do efluente tratado, mas também para amenizar as dificuldades em relação ao atendimento à legislação ambiental.

Para o aproveitamento dos esgotos nos diversos segmentos de reúso, estes devem passar por processos de adequação de suas características qualitativas (tornando-se águas residuárias recuperadas), para que esse uso não resulte fundamentalmente em riscos à saúde pública (MANCUSO *et al.*, 2003).

METCALF & EDDY (1991) comenta que as tecnologias de recuperação de águas de reúso comumente são as mesmas usadas nos tratamentos convencionais de água de abastecimento e esgotos. Em certos casos, contudo, processos adicionais de tratamento podem ser requeridos para a remoção de determinados poluentes físicos e químicos e para a inativação e remoção de microorganismos patogênicos. Na avaliação das tecnologias para recuperação de águas de reúso, os principais aspectos são a confiabilidade de cada processo unitário e especialmente a eficiência do sistema de tratamento como um todo em produzir águas de reúso que atinjam aos critérios estabelecidos para tal.

Para BASTOS (2003), na seleção da(s) alternativa(s) de tratamento com fins de reúso da água devem ser analisados os seguintes aspectos:

- Eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos;
- Demanda de área;
- Facilidades de operação e manutenção, e
- Custos de implantação, operação e manutenção.

Os processos de tratamento avançado para fins de reúso são aqueles que removem ou ajudam a reduzir constituintes do efluente de ETE's que não foram suficientemente tratados no tratamento secundário convencional (WEF & AWWA, 1998). Uma vez determinados os dados de qualidade do efluente secundário, identificados os usos da água residuária tratada e os critérios de qualidade aplicados a cada tipo de reúso, têm-se condições de delinear as tecnologias de tratamento a se empregar.

No presente trabalho, considera-se apenas o tratamento avançado, uma vez que, como dito anteriormente, o Modelo OETAR desenvolvido tem como alvo principal as cidades

providas de sistema de esgotamento sanitário seguidos por estação de tratamento de esgotos. Sendo assim, os sistemas de tratamento já se encontram concebidos e operando, necessitando apenas de um sistema de tratamento avançado para adequar seus efluentes à finalidade de reúso.

De acordo com a qualidade requerida para a água de reúso, os diversos tipos de tratamento podem ser agrupados em (USEPA, 1992):

- *Processos de eliminação de sólidos em suspensão, redução da carga bacteriana, eliminação de cistos de protozoários, ovos de helmintos parasitas e vírus:* conta com diferentes processos de filtração, microfiltração, ultrafiltração e sedimentação, que podem ser acompanhados de clarificação com coagulantes e floculantes;

- *Processos de desinfecção por agentes físicos e/ou químicos:* A redução significativa das concentrações de organismos patogênicos (coliformes totais, E. Coli) se realiza com a aplicação de agentes desinfetantes químicos como cloro, hipoclorito, dióxido de cloro, ozônio, ácido peracético; e físicos como a radiação ultravioleta;

- *Processos de dessalinização:* que reduzem o conteúdo de sais dissolvidos, microcontaminantes inorgânicos e orgânicos. Aplicam-se os processos de separação por membrana: osmose reversa, nanofiltração e eletrodiálise reversível;

- *Processos de adsorção:* que reduzem o conteúdo de compostos orgânicos em geral e de microcontaminantes orgânicos específicos.

Pode-se dizer então que as plantas de tratamento para alcançar os diferentes critérios de qualidade compreendem diferentes combinações dos processos mencionados, e que em geral, podem ser delineados mediante a necessidade ou não da redução de salinidade, microcontaminantes orgânicos e patógenos.

Segundo FLORÊNCIO *et al.* (PROSA 4, 2006), em geral, uma elevada remoção de patógenos é necessária para qualquer modalidade de reúso; e nesse sentido, a apreciação da capacidade de remoção de cada processo de tratamento avaliado para a implantação do reúso deve ser realizada a partir do seguinte entendimento: bactérias e vírus são, preponderantemente, removidos por inativação, pela ação de agentes desinfetantes físicos, como por exemplo, a radiação ultravioleta (UV) artificial ou natural, ou agentes desinfetantes químicos, como a cloração; já os protozoários e helmintos são removidos, preponderantemente, por processos físicos de separação, por exemplo, decantação e filtração.

No Edital 4 do PROSAB, tema 2, que se refere ao tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados à modalidade de reúso, pesquisas foram realizadas buscando analisar o potencial de utilização de efluentes para fins urbanos e agropecuários com base nas características de qualidade esperadas para os efluentes das tecnologias de tratamento de esgotos mais utilizadas no Brasil. As informações veiculadas de forma genérica na **Tabela 2.3** refletem os resultados encontrados no referido Edital do PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

Segundo o PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006), Apenas as tecnologias de tratamento que incorporam lagoas possibilitam a obtenção de efluentes com qualidade para o reúso agrícola e urbano, nos quais é necessário o padrão de ovos de helmintos < 1 ovo/L [1]. Para as demais tecnologias, que não incorporam lagoas, a obtenção desse padrão de qualidade só se viabiliza com a utilização de sistemas mais complexos, que incorporem complementarmente alguma barreira física, a exemplo de membranas, filtração terciária, etc.

[1] A qualidade requerida para o reúso será discutida no Capítulo 3.

Tabela 2.3. Capacidade de diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias em atingir consistentemente os níveis indicados de qualidade do efluente em termos de Coliformes termotolerantes e Ovos de helmintos

Sistema	Coliformes termotolerantes (Cter/100ml)				Ovos de helmintos
	1×10^6	1×10^5	1×10^4	1×10^3	≤ 1 ovo/L
Lagoa facultativa					
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa					
Lagoa aerada facultativa					
Lagoa aerada mista completa + lagoa de sedimentação					
Lagoa + lagoa de maturação					
Escoamento superficial					
Terras úmidas construídas (*wetlands*)					
Tanque séptico + filtro anaeróbio					
UASB					
UASB + lodos ativadas					
UASB + biofiltro aerado submerso					
UASB + filtro anaeróbio					
UASB + filtro biológico de alta carga					
UASB + lagoas de maturação					
UASB + escoamento superficial					
Qualquer das tecnologias acima + deisnfecção/ barreira física (por exemplo filtração terciária)*					Variável
(*) Desinfecção: ex. cloração, ozonização, radiação UV; Barreira física: ex. filtração terciária (desde que o processo de desinfecção/ barreira seja compatível com a qualidade do efluenet do tratamento precedente).					

Fonte: adaptado de VON SPERLING, *apud* FLORÊNCIO *et al.*, 2006.

Sendo assim, considerando a análise recomendada por BASTOS (2003), referenciada anteriormente, para a seleção da alternativa de tratamento para água de reúso, e seguindo as conclusões e orientações do Edital 4 do PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006), o presente estudo assumiu, para fins de determinação dos indicadores de custo de uma planta de reúso da água, um sistema de filtro rápido descendente acrescido de desinfecção por hipoclorito de sódio como o sistema de tratamento complementar do efluente de ETE's necessário para a produção de água de reúso.

2.2.1 Filtração

Apesar da operação de filtração compor convencionalmente a etapa de clarificação das estações de tratamento de águas de abastecimento, seu emprego para o tratamento de esgoto não é usual, sendo utilizada somente nos casos em que se requeira o polimento do efluente final e a remoção de fósforo. Neste cenário, a filtração aplicada ao tratamento do esgoto sanitário se caracteriza como uma tecnologia de tratamento terciário, que pode, ou não, fazer uso de coagulantes e floculantes para a remoção dos sólidos em suspensão efluentes do tratamento secundário, sendo usual denominá-la filtração terciaria (MOTA *et al.*, 2009).

Como mencionado anteriormente, a utilização da filtração após o tratamento secundário consiste em alternativa recomenda pelo PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006) para o uso dos esgotos sanitários tratados, oferecendo garantia sanitária tanto quanto a limitação de 1 ovo de helminto/L presente no efluente, como quanto a ausência de (oo)cistos de protozoários, baseando-se na obtenção de valores efluentes de turbidez inferiores a 5 NTU.

Os mecanismos de aderência e de transporte envolvidos no processo de filtração são: a retenção mecânica, sedimentação, impacto inercial, interceptação, adesão, e floculação. Embora estes mecanismos ocorram concomitantemente, a retenção mecânica se caracteriza como o principal deles, sendo responsável pela efetiva retenção de material particulado e coloidal cujas dimensões sejam maiores do que os espaços vazios do meio filtrante (MOTA *et al.*, 2009).

No filtro ocorrem as etapas de filtração, propriamente ditas, e de limpeza (muitas vezes denominada etapa de retrolavagem). Durante a etapa de filtração, o material particulado é continuamente removido em função da percolação e passagem do esgoto através do meio filtrante de material granular e por meio dos mecanismos de transporte e aderência anteriormente descritos.

Segundo MOTA *et al.* (2009) a operação e a manutenção de um filtro de areia são muito fáceis de serem realizadas, devendo-se ter atenção aos períodos de aplicação de esgoto e

descanso. O controle da etapa de filtração se dá em função da deterioração da qualidade do efluente filtrado e/ou do incremento da perda de carga da unidade. Quando um ou ambos os estados operacionais são alcançados, a unidade é submetida à etapa de limpeza para a remoção do material particulado retido e acumulado no meio filtrante. A turbidez é o parâmetro usual de monitoramento da unidade de filtração e, para o caso de efluente de filtros terciários, é também valida a típica correlação entre esta turbidez e a concentração de sólidos em suspensão: SST (mg/l) = 2,3 a 2,4 x Turbidez (NTU).

METCALF & EDDY (1991) recomenda que, independentemente da qualidade do efluente filtrado e da forma de evolução da perda de carga, a unidade de filtração terciaria seja submetida a retro lavagem pelo menos uma vez a cada 24 horas. Além disso, adota que a quantidade de água utilizada na etapa de retro lavagem geralmente corresponde a 5% do volume de esgoto sanitário tratado na unidade.

A filtração terciaria está sujeita a muitas tipologias em função de variações das características físicas e operacionais da unidade, sendo os filtros convencionais e intermitentes, com escoamento de sentido descendente e operação semi-continua os mais largamente utilizados. Nestes, durante a etapa de filtração, o esgoto mantém trajetória descendente de escoamento em função da carga hidráulica aplicada sobre a superfície do meio filtrante. Já na etapa de retrolavagem, o fluxo de escoamento é invertido, a água limpa é injetada pelo fundo da unidade, descrevendo trajetória ascendente, proporcionando a fluidização e conseqüente limpeza do meio filtrante (MOTA *et al.*, 2009).

As características físicas e operacionais dos filtros terciários de fluxo descendente podem ser diferenciadas em função dos tipos e da quantidade de meio filtrante utilizado. O modelo mais empregado é aquele que utiliza uma única camada de areia ou de antracito, entretanto, no presente trabalho optou-se pelo modelo que combina o uso de camada dupla de antracito sobre a areia, uma vez que a camada dupla requer o emprego de taxas menores de retrolavagem, compreendidas entre 1.200 e 1.800 m3/m2.d, contra os valores entre 2.300 e 2.600 m3/m2.d da camada única, permite a maior percolação e penetração dos sólidos e o maior aproveitamento da capacidade de armazenamento disponível na unidade, reduzindo a

freqüência de retrolavagem e conseqüentemente os custos operacionais (MOTA *et al.*, 2009).

Segundo MOTA *et al.*, (2009) o projeto, dimensionamento e condições operacionais da filtração terciaria apresentam especificidades próprias quando comparados a unidade de filtração de estações de tratamento de águas de abastecimento, em função da diferença entre a composição do esgoto sanitário e das águas de mananciais superficiais. A concentração de sólidos suspensos bem como a estrutura, o tamanho e a distribuição das partículas são as características do afluente que, intervêm principalmente no processo de filtração.

A taxa de filtração ou taxa de aplicação superficial constitui parâmetro diretamente relacionado ao tamanho das unidades de filtração e é função da estrutura do floco e do diâmetro efetivo do meio filtrante. Tipicamente, a seção superficial dos filtros obedece a relação compreendida entre 1:1 e 1:4. Com base nas características do afluente, o projeto hidráulico contempla a definição do tipo e altura do meio filtrante, a taxa de filtração a ser empreendida, e a perda de carga admissível na unidade (MOTA *et al.*, 2009).

A **Tabela 2.4** resume as características do meio filtrante e as taxas de filtração recomendadas pelo PROSAB (MOTA *et al.*, 2009) para unidades do tipo convencional, de fluxo descendente e de operação semi-continua.

Tabela 2.4. Características do meio filtrante e taxas de filtração

Camada		Diâmetro Efetivo (d_{10},mm)	Coeficiente de Uniformidade	Altura (cm)	Taxa de Filtração ($m^3/m^2.d$)
Única: areia		0,4 - 0,8	1,3 - 1,6	50 - 75	120 - 350
Única: areia		0,8 - 2,0	1,3 - 1,8	60 - 90	120 - 450
Dupla	areia	0,4 - 0,8	1,2 - 1,6	15 - 30	120 - 600
	antracito	0,8 - 2,0	1,3 - 1,8	30 - 60	

Fonte: adaptado de MOTA *et al.*, 2009.

MOTA *et al.* (2009) ainda destacar que no desenvolvimento do projeto hidráulico de uma ETE, a definição do número de unidades de filtração a ser empregada depende dos possíveis arranjos para implantação na área disponível, assim como dos custos relativos às obras civis e instalações hidráulicas, devendo ser também avaliados os volumes de água limpa a serem utilizados nas operações de retrolavagem, a fim de evitar a sobrecarga hidráulica das unidades quando em operação.

2.2.2 – Desinfecção/ Cloração

Os processos de desinfecção de esgotos são, em geral, a prática mais segura e de menor custo para implantação de uma efetiva barreira de controle de agentes transmissores de doenças infecciosas (GONÇALVES, 2003).

Segundo VON SPERLING (2005), a desinfecção de esgotos sanitários não visa à eliminação total de microrganismo, como se pratica na esterilização na medicina e na indústria de alimentos. Desinfetar esgotos é uma prática que busca inativar seletivamente espécies de organismos patogênicos (bactérias, vírus entéricos ou parasitas intestinais - protozoários e helmintos) presentes no esgoto sanitário, reduzindo o teor desses microorganismos até os limites estabelecidos em consonância com os padrões de qualidade para cada diferente situação.

No Brasil, quase todos os processos de tratamento de esgotos sanitários existentes foram inicialmente concebidos para realizar a remoção de matéria orgânica, com possibilidade de adaptação para remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo. No que diz respeito à microorganismos, a preocupação esteve, a maioria das vezes, voltada para o grupo de Coliformes Totais (CT) e Coliformes Fecais (CF, também conhecidos como Termotolerantes). No entanto, quando se passa a considerar o reúso de efluentes, a presença de organismos patogênicos ganha mais destaque em função dos riscos à saúde, e maior atenção é dada também a Helmintos e Protozoários (GONÇALVES, 2003; JORDÃO *et al.*, 2005).

Segundo JORDÃO *et al.* (2005), em que pesem os aperfeiçoamentos atingidos, os processos de tratamento apresentam, via de regra, eficiências elevadas, porém insuficientes na inativação de organismos patogênicos e seus indicadores, uma vez que os processos secundários de tratamento, como os lodos ativados, por exemplo, mesmo reduzindo 90 a 99% os Coliformes, ainda mantêm um efluente com altíssima densidade de organismos, (a redução é de apenas 1 ou 2 ordens logarítmicas), como DETALHADO A SEGUIR:

- Densidade de CF típica do esgoto bruto: 10^8 NMP/100 ml
- Densidade de CF com 90% de redução: 10^7 NMP/100 ml
- Densidade de CF com 99% de redução: 10^6 NMP/100 ml
- Redução necessária para atingir um padrão de reúso agrícola ou de balneabilidade (efluente com 10^3 NMP/100 ml): 99,99%

Desta forma, relembrando o exposto na Tabela 2.3, a obtenção de um efluente tratado com concentração de CF < 10^3 NMP/100 ml – como recomendado para o reúso em irrigação, ou como indicado para corpos d'água classe 2 – só é possível por lagoas de maturação em seqüência a uma ou mais lagoas anteriores, Ppor reator UASB seguido de aplicação de escoamento superficial ou com a prática de um processo complementar de tratamento por desinfecção.

Dada sua importância, a desinfecção, configurou-se como um dos objetivos do 3º Edital PROSAB, de tema central a "Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de patógenos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos, como agricultura, aquicultura e hidroponia", que é considerada a principal referência brasileira sobre a desinfecção dos esgotos (GONÇALVES, 2003).

Segundo Gonçalves et al. (2003), a desinfecção pode ser realizada por meio de processos artificiais ou naturais (**Figura 2.1**), que utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os organismos-alvo; sendo que, nos naturais, além desses agentes, a ação de predação ou competição de outros organismos resulta na inativação de patógenos.

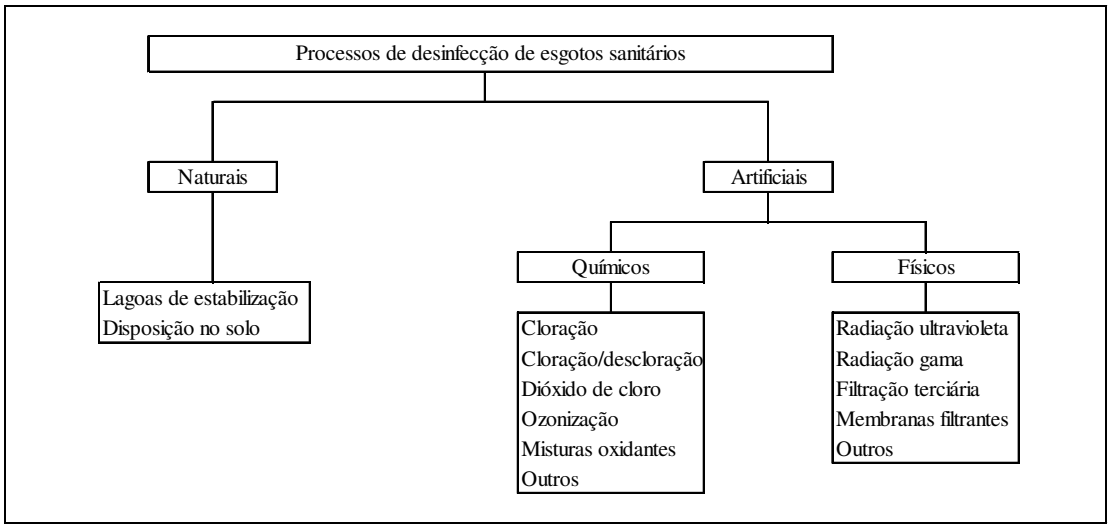


Figura 2.1. Processos de Desinfecção de Esgotos Sanitários

Fonte: Gonçalves, 2003

Como ilustrado na **Figura 2.1**, entre os agentes físicos pode-se citar a transferência de calor (aquecimento ou incineração), as radiações ionizantes, a radiação UV e a filtração em membranas. Os dois primeiros, em função dos elevados custos envolvidos, restringem-se a aplicações de pequena escala. Já a radiação ultravioleta, tanto pela técnica de solarização, que utiliza a luz solar para a potabilização de águas em pequena escala, quanto por reatores que geram artificialmente a radiação ultravioleta, e a filtração em membranas experimentam crescente aceitação (GONÇALVES, 2003).

A desinfecção química é realizada pela aplicação de compostos do grupo fenólico, álcoois, halogênios e metais pesados. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção de esgotos são o cloro, o dióxido de cloro e o ozônio.

Segundo VON SPERLING (2005), são muitas as opções técnicas para desinfecção de esgotos sanitários, o que faz com que a decisão sobre a implantação de uma unidade de desinfecção não seja algo simples, devendo-se considerar diversas variáveis na escolha do processo, como os custos envolvidos, a eficácia com relação à efetiva remoção dos principais organismos patogênicos em termos de saúde pública, a possível geração de compostos tóxicos e seus potenciais efeitos adversos, o estudo piloto para determinação da

dosagem e os usos propostos para o efluente. Deve-se, então, buscar o ponto ótimo entre as curvas de custo (considerados o risco associado aos subprodutos e os custos de aplicação) e o benefício, gerados nos vários processos e níveis de desinfecção, a fim de obter a melhor solução para garantia da segurança sanitária (GONÇALVES, 2003).

Segundo o PROSAB (GONÇALVES, 2003), o cloro (líquido ou gasoso) é o produto mais utilizado em todo o mundo para desinfecção de águas e esgotos. Já no caso específico do Brasil, a cloração aparece como o método de maior domínio tecnológico e viabilidade econômica atualmente, sendo muito eficiente na inativação de bactérias e vírus.

A ação desinfetante do cloro deve-se principalmente ao mecanismo de oxidação do material celular. Entretanto, trabalhos científicos relatam inibição enzimática e danificação do material genético como outros mecanismos da desinfecção com cloro. Os compostos de cloro, ao serem adicionados à água, reagem formando ácido hipocloroso (HOCl) que se dissocia em OCl^- e H^+. A quantidade de HOCl e OCl^- em solução depende do pH e é chamado de cloro residual livre disponível. O cloro também reage com a matéria orgânica presente no esgoto, formando compostos organoclorados e cloraminas, conhecidos como cloro residual combinado. O ácido hipocloroso tem o maior poder desinfetante, seguido do íon hipoclorito (OCl^-), e a monocloramina, a menor capacidade desinfetante. O cloro livre reage com substâncias diluídas ou suspensas na água por três processos: oxidação, adição e substituição. Nas reações em que ocorre oxidação, o cloro livre é sempre reduzido a cloreto (Cl^-). (VON SPERLING, 2005)

Em que pesem os benefícios da cloração de esgotos sanitários tratados, é necessário considerar que todos os desinfetantes químicos produzem subprodutos, direta ou indiretamente, e alguns destes podem gerar riscos à saúde pública. Contudo, os riscos associados dependem das concentrações e do período de ingestão, podendo não afetar indivíduos submetidos à longa exposição, desde que em concentrações dentro das faixas permissíveis. Além disso, a superior qualidade dos efluentes de ETE's obtidos modernamente possibilita demandas menores de cloro e, por conseguinte, menores riscos ambientais conseqüentes de seus subprodutos. (GONÇALVES, 2003)

Os principais aspectos relativos à utilização do processo de cloração para desinfecção de esgotos sanitários encontram-se sob a forma resumida nas **Tabelas 2.5** e **2.6** a seguir.

Tabela 2.5. Vantagens e desvantagens da desinfecção por cloração de esgotos

Processo	Vantagens	Desvantagens
Cloração	· Tecnologia amplamente conhecida · Menos custo · Cloro residual prolonga a desinfecção e indica e eficiência do produto · Efetiva e confiável para uma grande variedade de patógenos · Oxida certos compostos orgânicos e inorgânicos · Flexibilidade de dosagem	· Cloro residual é toxico; requer descloração · Todas as formas de cloro são altamente corrosivas e tóxicas · As reações com cloro geram compostos potencialmente perigosos · Aumenta os sólidos totais dissolvidos · Cloro residual é instável na presença de materiais que demandam cloro · Alguns patógenos são resistentes

Fonte: Adaptado de GONÇALVES, 2003 *apud.* VON SPERLING, 2005.

Tabela 2.6. Nível de desenvolvimento, aspectos de operação e manutenção da desinfecção por cloração de esgotos

Consideração	Cloração
Tamanho da ETE	Todos os tamanhos
Nível de Tratamento antes da desinfecção	Todos os níveis
Complexidade relativa da tecnologia	Simples a moderada
Confiabilidade	Muito boa
Controle do processo	Bem desenvolvido
Sensibilidade à operação e manutenção	Mínima

Fonte: adaptado de GONÇALVES, 2003 *apud.* VON SPERLING, 2005.

Para desinfecção de águas residuárias, o cloro pode ser encontrado comercialmente nas formas gasosa (Cl_2), líquida (hipoclorito de sódio) e sólida (hipoclorito de cálcio), ou pode ser produzido no local a partir de salmoura ou reação controlada de produtos químicos.

O presente trabalho sugere a aplicação do hipoclorito de sódio (NaOCl), uma vez que as pesquisas do PROSAB (GONÇALVES, 2003). demonstram ser este o produto mais

adequado para cloração em sistemas simples e de pequeno porte, em virtude da facilidade de aplicação em pequenas vazões operacionais, do baixo risco de manuseio e armazenamento e do baixo custo.

Segundo GONÇALVES (2003), com relação ao projeto de sistemas de cloração, muitas são as variáveis físicas, químicas e biológicas envolvidas no processo de desinfecção que determinam a existência de um conjunto de valores de tempo de contato e concentração do desinfetante que garantem a desinfecção nos limites da segurança sanitária requerida. O referido autor destaca ainda que, para otimizar o processo deve-se, então, procurar os pares desses parâmetros, os quais funcionarão como referência. Em sua publicação, o PROSAB apresenta os principais modelos de calculo utilizados para a cloração.

A determinação da dosagem de cloro e o projeto das instalações de desinfecção dependem principalmente das características dos esgotos e das metas a serem atingidas, em função das diretrizes estabelecidas para o reúso. O sistema de desinfecção pode ser projetado em função do residual de cloro livre a ser mantido no efluente final ou em função do número máximo de organismos indicadores (usualmente coliformes fecais) admitido para o efluente final. Qualquer que seja o caso, usualmente são desenvolvidos estudos de laboratório (projetos piloto) para determinar as concentrações ótimas de cloro, a fim de garantir a determinada eficiência de desinfecção específica de cada caso (GONÇALVES, 2003; JORDÃO *et al.*, 2005).

Na **Tabela 2.7** são apresentadas as dosagens típicas de cloro necessárias para desinfecção de esgotos brutos e tratados em diferentes eficiências, cuja utilização é indicada na ausência de dados mais específicos para dimensionar os equipamentos de desinfecção. Devido ao seu caráter genérico e foco econômico, o presente estudo fez uso dos valores apresentados na referida tabela para determinação da dosagem de cloro adotada no Modelo OETAR proposto que será detalhado mais adiante.

Tabela 2.7. Dosagem de cloro para diferentes tipos de efluentes

Tipo de esgoto (doméstico)	Dosagem (mg/L)
Efluente bruto	6 a 12
Efluente bruto séptico	12 a 25
Efluente decantado	5 a 10
Efluente de precipitação química	3 a 10
Efluente de filtração biológica	3 a 10
Efluente do processo de lodos ativados	2 a 8
Efluente de filtros após tratamento secundário	1 a 5

Fonte: JORDÃO, 2005

GONÇALVES (2003) destaca aind que o grau de mistura no ponto de aplicação do desinfetante tem efeito significativo sobre a taxa inicial de inativação de diversos microrganismos, recomendado, portanto, elevados gradientes de mistura (acima de 500 s^{-1}) e suficientes tempos de contato (usualmente da ordem de 1 a 15 segundos). Neste sentido a solução de cloro deve ser injetada por meio de um difusor, de modo a garantir distribuição uniforme junto ao fluxo de esgotos. Em sua forma mais simples, o difusor pode ser constituído de um tubo plástico perfurado (JORDÃO *et al.*, 2005).

A desinfecção por cloração está, usualmente, situada no final do tratamento secundário. Sua inserção no fluxograma de uma estação de tratamento pode se dar de forma específica, pela construção de uma etapa exclusiva para a desinfecção, ou por intermédio da adaptação de processos existentes para realizar, dentre outras tarefas, também a cloração. O controle da dosagem da solução de hipoclorito pode se efetuar através da regulagem manual de bombas dosadoras, com a intervenção do operador.

Na etapa de cloração, tanques de contato são estruturas necessárias para garantir um tempo suficiente de permanência do esgoto em contato com o cloro, a fim de possibilitar a adequada desinfecção. No entanto, segundo o PROSAB (GONÇALVES, 2003), nos casos em que o lançamento final do efluente da estação é feito por meio de longos emissários, nos quais o esgoto apresenta tempos de percurso superiores aos tempos de contato requeridos

para desinfecção, pode ser possível eliminar a construção do tanque de contato. Valendo-se deste fato, o presente estudo considera a aplicação do cloro na saída da etapa de filtração terciária, sem a implantação de um tanque de contato, uma vez que no Modelo apresentado o efluente será recalcado até um reservatório, garantindo assim o tempo de contado durante o percurso.

Capítulo 3

Reúso da Água

3. Reúso Da Água

Segundo SANTOS (2003), a escassez de água apresenta-se sob duplo aspecto: disponibilidade e uso pretendido. Essa distinção é bem aparente comparando-se o consumo rural, no qual se perde água pela evaporação e poluição, com o consumo urbano, no qual a água não é perdida, mas termina fortemente poluída.

Independentemente do motivo, deve-se sempre projetar um uso sustentável dos recursos hídricos. Nesse contexto, o conceito de 'substituição de fontes' apresenta-se como a alternativa mais plausível para satisfazer demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico (HESPANHOL, 2003). Em 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos que adota o seguinte conceito: "*a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior*".

O reúso, até a alguns anos tido como uma opção exótica, é hoje uma alternativa que não pode ser ignorada, notando-se distinção cada vez menor entre técnicas de tratamento de água *versus* técnicas de tratamento de esgotos. Realmente, o tratamento de água deve ser visto como um meio de purificar a água de qualquer grau de impureza para um grau de pureza que seja adequado ao uso pretendido, predominando, portanto a importância de selecionar e combinar, competentemente, os diversos processos unitários que sejam adequados. (HARREMOES, 2000).

Uma definição bastante aceita para o termo de reúso da água é de MIERZWA (2005): "*Uso de efluentes tratados para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis*".

As águas residuárias, quando bem tratadas e recicladas, são uma valiosa alternativa de uma nova fonte hídrica, possibilitando a redução da procura por novas retiradas dos corpos d'água. Além de preservar a água potável para atendimento das necessidades da população

urbana e usos industriais mais nobres, o reúso permite uma maior otimização dos recursos hídricos disponíveis, ampliando a oferta de um produto cada vez mais escasso, notadamente em áreas com limitações de oferta de água. Neste sentido, os projetos de reúso da água residual podem também minimizar o estresse ambiental (WPCF, 1989).

Alguns cientistas (WPCF, 1989), consideram que o reúso de águas residuárias está inserido num assunto mais amplo e genérico de estudos, o da "minimização do uso de recursos naturais". Há ainda pesquisadores que incluem o reúso de água como parte de uma filosofia maior e ecologicamente correta, que é a do desenvolvimento sustentável.

Sobre a óptica do impacto ambiental, o reúso de águas residuárias atua de forma a mitigar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, ao reduzir a demanda por água dos mananciais.

Sendo assim, segundo SOUZA (1997) o reúso da água não considera somente a sua reutilização para o abastecimento doméstico, industrial e agrícola, mas também pondera a diluição dos despejos nos corpos d'água receptadores, o uso de cursos de água receptores para abastecimento (reúso indireto), a navegação desportiva e comercial, as atividades de recreação e desportos, a pesca recreativa, esportiva e comercial, e a geração de energia hidrelétrica. Nesse aspecto, o reúso de água deve sempre estar na pauta das atividades de gestão dos recursos hídricos, cumprindo seu papel importante na fase do planejamento da bacia hidrográfica.

A utilização planejada de reúso em todo o mundo tem sido bastante incrementada nas últimas décadas, principalmente nos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, como resposta à crescente escassez dos recursos hídricos disponíveis. Inúmeras cidades e regiões metropolitanas têm recorrido ao aproveitamento da água de reúso, obtida a partir da utilização dos efluentes das estações de tratamento de esgoto, para a complementação de suas demandas (BASTOS, 2003).

Destaca-se o exemplo de Israel, onde estima-se os esgotos sanitários tratados respondem por quase 30% de toda a água disponibilizada para a agricultura. Alguns projetos são altamente tecnificados, apoiando-se em modernos métodos de irrigação, como a aspersão e o gotejamento, principalmente para o cultivo de algodão (SHELEF, *apud* BASTOS 2003). Na Califórnia, EUA, com grande tradição no reúso de águas, já em 1987, as porcentagens de utilização de águas residuárias eram: 63% para irrigação agrícola; 14% para recarga de aqüíferos; 13% para a irrigação de áreas verdes urbanas; e 10% para aplicações industriais, recreativas e para a vida silvestre (LEÓN & MOSCOSO, *apud.* BASTOS 2003).

Trata-se de algo muito maior, o reúso planejado da água faz parte de um programa global, encabeçado pela Organização Mundial da Saúde, que pretende, com sua implementação, alcançar simultaneamente três importantes objetivos: a manutenção da integridade dos ecossistemas, o uso sustentável da água e a universalização dos serviços de saneamento e como resultado final, a promoção da melhoria da qualidade de vida e da saúde da população.

Entretanto, MANCUSO *et al.* (2003) destaca que a prática do reúso é um dos componentes do gerenciamento de águas e efluentes e não a principal meta a ser atingida. É uma ferramenta para a preservação dos recursos naturais e controle da poluição ambiental, sendo atualmente considerada prática obrigatória da gestão competente dos recursos hídricos e acima de tudo, imprescindível para a preservação da sua qualidade e quantidade, necessárias à sobrevivência das futuras gerações, mas que deve sempre estar vinculada a outras medidas que busquem a prevenção da poluição e a racionalização do uso da água.

Segundo ASANO (2002), as vantagens e fatores que motivam o reúso da água podem ser identificados como:

- A redução da poluição com a minimização da descarga em corpos de água.
- A disponibilidade de efluentes tratados com elevado grau de qualidade.
- A promoção, em longo prazo, de uma fonte confiável de abastecimento de água dentro de uma comunidade.

- O gerenciamento da demanda de água em períodos de seca, no planejamento global dos recursos hídricos.
- O encorajamento da população para conservar a água e adoção de práticas de reúso.

O alvo do presente estudo encontra-se nas Empresas de Saneamento. Hoje, já são inúmeras as Companhias de Saneamento Básico Estaduais que, desenvolvem estratégias que priorizam a conservação e o uso eficiente dos recursos hídricos em sua área de concessão, como alternativa à importação de água de outras áreas distantes, como é o exemplo da Sabesp, que em 2006 possuía os seguintes volumes empregados em suas práticas de reúso: 60 milhões L/ mês para uso industrial, distribuídos entre treze indústrias; 20 milhões L/ mês para uso urbano, comercializado para seis prefeituras; e 260 milhões L/ mês para utilização nas próprias estações da Sabesp.

A água de reúso das Empresas de Saneamento tem sua origem nos efluentes produzidos em suas estações de tratamento de esgotos sendo utilizada para inúmeros fins urbanos, agrícolas e industriais, como geração de energia, refrigeração de equipamentos, lavagem de carros e ruas, e em diversos processos industriais.

Neste processo, todos são beneficiados. As prefeituras e indústrias reduzem seus custos com água, as Companhias de Saneamento comercializa um produto anteriormente desprezado, gerando receita e a população e o meio ambiente ganham com o fato de que cada litro de água de reúso utilizada significa um litro a mais de água potável.

3.1 Tipos de Reúso

De maneira geral, o reúso consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana. O reúso da água pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas (MANCUSO *et al.*, 2003).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, OMS, (1973), pode-se classificar, de acordo com o tipo de utilização, as seguintes formas de reúso:

- *Reúso Indireto*: Ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída;
- *Reúso Direto*: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aqüífero e água potável;
- *Reciclagem Interna*: é o reúso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle de poluição.

Essa mesma referência diferencia o reuso indireto intencional do não intencional, estabelecendo que quando o reuso indireto decorre de descargas planejadas a montante, ou a recargas planejadas no aqüífero subterrâneo, ele é designado reuso indireto intencional.

Segundo LAVRADOR FILHO (1987), os termos "*planejado*" e "*não planejado*" referem-se ao fato do reúso ser resultante de uma ação consciente, subseqüente à descarga do efluente, ou do reúso ser apenas um subproduto não intencional dessa descarga.

Dessa forma, o *reúso planejado de água* ocorre quando o reuso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta. O reuso planejado das águas pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água. O reuso planejado pode ser denominado reuso intencional da água.

Segundo WESTERHOFF (1984), *apud* MANCUSO *et al.* (2003), o reúso da água classifica-se em duas grandes categorias, o *potável* e o *não potável*, o qual pode ser aplicado para fins industriais, na agricultura, para a recreação, para uso doméstico, na manutenção de vazões, aqüicultura e recarga de aqüíferos subterrâneos. Estes três últimos possíveis usos foram incorporados à classificação de Westerhoff por Mancuso, sendo esta

classificação a utilizada pela ABES, Seção São Paulo, desde 1992, pela sua praticidade e facilidade.

A recente Resolução N° 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), define o reúso de água como sendo apenas a utilização de água residuária, que é definida como sendo esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústria, agropecuária, tratados ou não (BRASIL, 2006a). Tal Resolução estabelece modalidades de reúso, determinando em seu artigo 3º:

> Art. 3º O reúso direto não potável de água, para efeito desta Resolução, abrange as seguintes modalidades:
>
> I - Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
> II - Reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
> III - Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
> IV - Reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;
> V - Reúso na aqüicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos." (BRASIL, 2006a).

Para reúso não potável da água, a referida Resolução define ainda:

- *Irrigação irrestrita*: irrigação de qualquer cultivo, inclusive hidroponia e cultivos alimentícios consumidos crus.

- *Irrigação restrita*: irrigação, inclusive hidroponia, de qualquer cultivo não ingerido cru, inclui cultivos alimentícios e não alimentícios, forrageiras, pastagens, árvores, cultivos usados em revegetação e recuperação de áreas degradadas.

Com relação ao o reúso potável da água, dada a existência de uma grande quantidade de patógenos nos esgotos e a possibilidade da ocorrência de elementos tóxicos e/ou cancerígenos nestes, classifica-se esta modalidade de reúso, principalmente o direto, como uma alternativa que está associada a riscos muito elevados. Mesmo em países desenvolvidos, tal prática não é de uso corrente, sendo sua implantação limitada a situações extremas. A OMS, levando em consideração aspectos de saúde pública, não recomenda este tipo de reúso, considerando de alto risco.

O presente trabalho levará em consideração somente o reúso planejado, direto, não potável. Entre as várias aplicações do reúso para fins não potáveis serão consideradas para análise: a agrícola, a urbana e a industrial.

3.1.1 O Reúso Agrícola

Embora existam referências quanto à disposição de esgotos no solo desde épocas muito remotas, como por exemplo, o da irrigação com esgotos executada em Atenas antes da Era Cristã, historicamente, sabe-se que, o que influenciou de forma tecnicamente correta a utilização controlada de esgotos foram as iniciativas inglesas levadas a efeito por volta de 1850, quando na busca da despoluição do rio Tâmisa, implantou-se o sistema separador absoluto, direcionando as águas de chuva para os cursos de água e os esgotos para os *land farms*, áreas destinadas ao tratamento de efluentes, normalmente realizado por irrigação, escoamento ou infiltração-percolação. A importância dessa iniciativa é materializada na frase enunciada por um dos grandes nomes da história do saneamento, Sir Edwin Chadwick: "*as chuvas para o rio e os esgotos para o solo*". Em razão da complexidade dos grandes centros urbanos, para os dias atuais isso não pode ser tomado como uma regra. Contudo, na época, a técnica foi disseminada rapidamente na Europa e Estados Unidos (MANCUSO *et al.*, 2003).

Até fins do século XIX e início do XX, essa foi a forma mais praticada e bem sucedida de tratamento e disposição de esgotos resultantes da atividade urbana. Atualmente, a aplicação de esgotos e efluentes no solo é vista como uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica, em regiões áridas e semi-áridas, sendo os maiores benefícios dessa tecnologia os aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública (MANCUSO *et al.*, 2003).

Durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente, em razão dos seguintes fatores (REBOUÇAS *et al.*, 2006).:

- Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- Custo elevado de fertilizantes;
- A segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas forem efetivamente tomadas;
- Os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores;
- A aceitação sociocultural da prática do reúso agrícola;
- Reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

Segundo HESPANHOL (2001), diante das grandes vazões envolvidas (chegando a até 80% do uso consultivo em alguns países), especial atenção deve ser atribuída ao reúso para fins agrícolas. A agricultura depende, atualmente, de suprimento de água de tal nível que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Essa condição crítica é fundamentada no fato de que o aumento da produção não pode mais ser efetuado por mera expansão de terra cultivada. Sendo assim, sua demanda significativa, associada à escassez de recursos hídricos leva a ponderar que as atividades agrícolas devem ser consideradas como prioritária em termos de reuso de efluentes tratados.

Efluentes adequadamente tratados podem ser utilizados para aplicação em (USEPA, 1992):

- Culturas de alimentos não processados comercialmente;
- Culturas de alimentos processados comercialmente;
- Culturas não alimentícias; e
- Dessedentação de animais.

Em suma, o reúso agrícola pode ser caracterizado pela utilização de efluentes domésticos na irrigação de culturas comestíveis ou não, salientando-se que, no grupo de plantas comestíveis, faz-se uma subdivisão entre as consumidas cruas e cozidas, visto que em cada grupo são definidos os parâmetros de qualidade associados ao risco inerente a cada uso (WHO, 2006a).

De acordo com o PROSAB (MOTA *et al.*, 2009).Os maiores benefícios dessa forma de reúso são os associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública. Estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados. Um exemplo de recuperação econômica, associada à disponibilidade de esgotos para irrigação, é o caso do Vale do Mesquital, no México, onde a renda agrícola aumentou de quase zero no início do século passado, quando os esgotos da Cidade do México foram postos à disposição da região, até aproximadamente 4 milhões de dólares por hectare, em 1990 (MANCUSO *et al.*, 2003).

Sistemas de reúso de água para fins agrícolas adequadamente planejados e administrados proporcionam melhorias ambientais e melhorias de condições de saúde, entre as quais (HESPANHOL, 2001):

- Minimização das descargas de esgotos em corpos de água;
- Preservação dos recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aqüíferos provoca intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos;
- Conservação do solo, pela acumulação de húmus, e aumento da resistência à erosão;

- Aumento da concentração de matéria orgânica do solo, possibilitando maior retenção de água;
- Aumento da produção de alimentos, principalmente em áreas carentes, elevando, desta forma, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reúso.

3.1.2 O Reúso Urbano

Caracterizado pela utilização de efluentes domésticos tratados para suprir as várias necessidades urbanas que admitem águas com qualidade inferior à potável, o setor urbano, apresenta um potencial de reúso de efluentes muito amplo e diversificado. Entretanto, segundo HESPANHOL (2001), existem aplicações que demandam água com qualidade elevada e consequentemente, sistemas de tratamento e de controle avançados, que podem levar a custos incompatíveis com os benefícios correspondentes ao reúso da água. De acordo com as definições adotadas, os esgotos tratados podem ser utilizados para fins potáveis e não potáveis, desde que obedeçam à critérios básicos específicos de qualidade de acordo com a sua utilização.

Com relação aos usos urbanos não potáveis, foco do reúso urbano no presente trabalho, os riscos são menores e por isso devem ser considerados como a primeira opção de reúso na área urbana, aplicando-se o seu uso principalmente no que se refere ao binômio qualidade/ aplicabilidade (MANCUSO *et al.*, 2003). No entanto, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto do público com gramados de parques, jardins, hotéis, áreas turísticas e campos de esporte irrigados com água de reúso.

São exemplos de usos urbanos não potáveis dos esgotos tratados (HESPANHOL, 2001):

- Irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, campos de golfe, jardins de escolas, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias, e de áreas ajardinadas ao redor de edifícios públicos, residenciais e industriais;

- Reserva de proteção contra incêndios;
- Sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água;
- Descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios comerciais e industriais;
- Lavagem de trens e ônibus;
- Controle de poeira em obras de aterros e terraplenagem na construção civil.

Diversos países da Europa, assim como os países industrializados da Ásia localizados em regiões de escassez de água, exercem, extensivamente, a prática de reúso urbano não potável (BRAGA *et al.*, 2002).

No Brasil, como citado anteriormente, algumas prefeituras municipais brasileiras já se beneficiam da utilização de efluentes oriundos de ETE`s para a lavagem de ruas, irrigação de jardins e campos esportivos, fato bastante positivo em que o poder público brasileiro começa a dar o exemplo a ser seguido pela população.

3.1.3 O Reúso Industrial

O reúso industrial representa um potencial significativo de utilização de efluentes tratados, em vários países industrializados. De acordo com HESPANHOL (2001), os custos elevados da água industrial associados às demandas crescentes, têm cada vez mais levado as indústrias a avaliar as possibilidades internas de reúso e a considerar ofertas das companhias de saneamento para a compra de efluentes tratados, a preços inferiores aos da água potável dos sistemas públicos de abastecimento.

Fora os benefícios para as indústrias, METCALF & EDDY (2003) destacam que deve-se pensar como seria para toda uma comunidade ter uma indústria que deixe de retirar milhões de litros de água de um determinado manancial e seja abastecida pelos efluentes tratados da ETE daquela cidade. Quantos benefícios diretos e indiretos esta atitude estaria provocando? Certamente muito mais do que o desperdício que se realiza na maioria dos casos.

Também no Brasil, a procura por formas alternativas de abastecimento já é uma realidade, particularmente nas regiões metropolitanas, onde os elevados custos da água para fins industriais têm estimulado as indústrias nacionais a avaliar as diversas possibilidades de reúso. Essa tendência vem se ampliando diante das novas legislações associadas aos instrumentos de outorga e cobrança pela utilização dos recursos hídricos, tanto na tomada de água como nos despejos de efluentes. Sendo assim, as indústrias são cada vez mais induzidas a diminuir o consumo de água a partir de uma sistemática de racionalização, reúso e abatimento das cargas poluidoras por meio de sistemas avançados de tratamento (HESPANHOL, 2001).

Neste sentido, a indústria passou a procurar, dentro de suas próprias plantas a solução para tais problemas, tentando reaproveitar ao máximo seus próprios efluentes. Segundo HESPANHOL **(2001)**, é o que se chama de *reúso macrointerno*. Trata-se de efetuar a reciclagem dos efluentes de uma determinada indústria em qualquer processo interno da mesma que suporte qualidade compatível com o efluente em questão, podendo para tanto utilizar-se de tratamento específico.

De acordo com o mesmo autor, outra opção de reúso da água seria, então, o *reuso macroexterno*, ou seja, *a* utilização em indústrias, de efluentes de esgotos municipais tratados, que na maioria das vezes são tratados para serem dispostos no meio ambiente até níveis compatíveis com a legislação local.

O ramo de atividade da indústria determinará uso que será feito desse esgoto recuperado, definindo, então, os processos e as operações unitárias adicionais necessárias para atingir um padrão de qualidade necessário à sua utilização, sendo que uma mesma indústria pode necessitar de diferentes qualidades de água.

De acordo com MIERZWA *et al.*,(2005), o consumo de água em uma indústria sofre a influência do ramo de atividade, da sua capacidade, tipo e práticas operacionais, das condições climáticas da região onde está localizada a planta, da disponibilidade do recurso hídrico, da idade da instalação, cultura da empresa e da comunidade local.

Estes dados têm grande importância, mas não são suficientes para um planejamento de conservação e reúso em uma indústria. O uso nos processos industriais depende diretamente da qualidade necessária em cada etapa da produção, sendo assim, o conhecimento da distribuição do consumo de água por cada atividade e a sua respectiva qualidade são essenciais para o desenvolvimento de um sistema de tratamento de água para uso industrial, com as técnicas mais adequadas para a obtenção de água na qualidade e quantidade necessárias (MIERZWA *et al.*,2005).

Para HESPANHOL (2001), para a maioria das indústrias, a água para resfriamento seria o uso mais freqüente dos esgotos tratados, devido aos grandes avanços em tecnologia de tratamento de água, que permitem a utilização pelas indústrias de água com qualidade inferior. Estes avanços proporcionam um melhor controle de depósitos, corrosão e problemas biológicos geralmente associados ao uso de águas reutilizadas em um sistema de refrigeração. Todavia, o mesmo autor diz que a utilização de esgotos tratados nessas torres gera uma pequena desvantagem em relação à utilização de águas naturais, pelo fato de que aqueles possuem temperatura um pouco mais elevada. Em compensação, apresentam oscilação de temperatura muito menor, tornando os sistemas de resfriamento mais estáveis. De acordo com MIERZWA *et al.* (2005), o resfriamento pode representar uma parcela superior a 70 % de todo o volume de água consumido em determinadas indústrias.

Os usos mais comuns da água de reúso nas indústrias são, basicamente, os seguintes (MIERZWA *et al.*, 2005):

- Torres de resfriamento;
- Alimentação das caldeiras;
- Lavagem de gases;
- Lavagem de peças, equipamentos, principalmente nas indústrias mecânica e metalúrgica;
- Irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e veículos;
- Geração de energia; e
- Processos industriais.

3.2 Diretrizes e Critérios de Qualidade para Água de Reúso

3.2.1 Considerações Iniciais

Os padrões de qualidade da água são valores limites admissíveis dos indicadores de qualidade selecionados, fixados em função dos usos do corpo hídrico: abastecimento urbano e industrial, recreação, preservação de mananciais, irrigação, entre outros, assim como, do tipo de tratamento que a água receberá antes de sua utilização. Os limites para a presença de determinadas substâncias de origem antrópica na água têm por objetivo a proteção da saúde pública e a proteção, ou mesmo recuperação, dos ecossistemas (VON SPERLING, 2005).

No Brasil, desde a promulgação da Lei N° 9433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, SNGRH, a gestão dos recursos hídricos é respaldada em um moderno aparato normativo e institucional, em fase crescente de implantação (FLORÊNCIO *et al.*, 2006). Nesta o objetivo a ser alcançado através do reúso da água é indiretamente preconizado quando tal lei diz que "*a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas*". A mesma lei diz ainda que "*a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável*", deve fazer parte dos objetivos governamentais, logo entende-se que o reúso da água deve fazer parte dos objetivos governamentais. Nos Planos de Recursos Hídricos, esta lei também institui que existem "*medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados, para o atendimento das metas previstas*".

A Portaria Nº 518/2004, do Ministério da Saúde, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo. Já a Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005, dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005a), definindo diretrizes de qualidade da água de acordo com os usos preponderantes dos cursos de água. Entretanto, as

referidas legislações dispõem essencialmente sobre o uso direto da água, ainda que na Lei N° 9433/97 (BRASIL, 1997) se percebam vários dispositivos que apontam na direção do reúso como um processo importante para a racionalização do uso de água.

Mais recentemente, o projeto de Lei N° 5296/2005, que constitui as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e a Política Nacional de Saneamento Básico, já se refere diretamente ao reúso da água em seu Artigo 10, Inciso III: "*São diretrizes relativas ao esgotamento sanitário: incentivar o reúso da água, a reciclagem dos demais constituintes dos esgotos e a eficiência energética, condicionado ao atendimento dos requisitos de saúde pública e de proteção ambiental pertinentes*" (BRASIL, 2005b).

Também em 2005, o CNRH promulgou a Resolução Nº 54, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água no Brasil, estabelecendo as diversas modalidades de reúso comentadas anteriormente: (i) reúso para fins agrícolas e florestais; (ii) reúso para fins urbanos: (iii) reúso para fins ambientais, (iv) reúso para fins industriais e (v) reúso na aqüicultura. No entanto, essa Resolução ainda não estabelece parâmetros de qualidade de água de reúso, fazendo necessário a criação de uma lei com parâmetros que contemple a nossa realidade sócio-ambiental.

Nesse sentido, em 2006, o Grupo Técnico para regulamentação e institucionalização da prática do reúso não potável de água em todo território nacional, o GT-Reúso, da Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia formada no Conselho Nacional de Recursos Hídricos, iniciou a discussão para elaboração da Resolução CNRH sobre reúso agrícola e neste mesmo ano, elaboraram duas minutas estabelecendo procedimentos para o reúso, sendo muitos dos parâmetros adotados baseados nos resultados dos trabalhos sobre reúso desenvolvido no âmbito do Programa de Saneamento Básico (PROSAB, 2003), que leva em consideração as análises de risco relativas a pratica do reúso de água. Já em 2007, elaboraram outras três minutas, evidenciando a preocupação com os riscos à saúde, mas principalmente com a interferência no desenvolvimento da agricultura.

Pode-se verificar que os parâmetros estabelecidos na elaboração da Resolução do CNRH, assim como os parâmetros definidos pelo PROSAB, são muito semelhantes aos adotados pela OMS com algumas exceções, pois como será evidenciado mais adiante, os parâmetros estabelecidos pela OMS são baseados em *Análise de Risco* e visam a proteção dos grupos de exposição, não levando em consideração os riscos à agricultura ou outros à saúde por substâncias encontradas em esgotos que não sejam unicamente domésticos. (FLORÊNCIO *et al.*, 2006)

Nos anos seguintes, não ocorreram avanços no trabalho do GT- Reúso e, em 2009 foram retirados os parâmetros físicos, químicos e biológicos que haviam sido estabelecidos nas minutas anteriores, com a afirmação de que estes parâmetros devem ser estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, o CONAMA. A partir de então, o processo de elaboração da referida Resolução, iniciado pelo CNRH, estacionou, ficando-se sem previsão do retorno para as discussões acerca da elaboração da Resolução sobre o reúso não potável da água no Brasil.

Segundo HESPANHOL (1997), mesmo que possa vir a se desenvolver uma legislação nacional relativa à prática do reúso da água, é pouco provável que, no Brasil, se estabeleça um projeto único a nível nacional, devido às nossas dimensões geográficas e características regionais distintas.

Seria muito mais viável que as águas fossem captadas e tratadas em função da qualidade requerida para sua finalidade de aplicação: águas para indústrias, para o consumo humano, etc, e depois de utilizadas, fossem encaminhadas para estações de tratamento de esgotos, tratadas e recuperadas para fins menos nobres. Este fato reduziria a captação de águas novas dos mananciais em até 40 % (MANCUSO *et al.*, 2003).

De acordo com VON SPERLING (1996), o conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela forma molecular H_2O. Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas,

incorpora diversas impurezas, as quais definem sua qualidade, sendo esta qualidade função direta do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica.

Segundo SOUZA (1997a), os fatores que afetam a qualidade da água para reúso incluem:

- Qualidade na fonte geradora;
- Processo de tratamento de água residuária;
- Confiabilidade do processo de recuperação da água; e
- Projeto e operação dos sistemas de distribuição.

A qualidade da água residuária afluente a estação de tratamento e sua recuperação diminui à medida que contem efluentes industriais, tratados ou não, no sistema de esgotamento sanitário. Se a indústria contribuinte possuir em seu efluente composto químico em concentração potencialmente poluente ou de difícil tratamento, nesse caso, o projeto de tratamento e recuperação para o reúso de água pode se tornar inviável, do ponto de vista operacional e econômico, e, até mesmo, ser malsucedido caso implementado (SOUZA, 1997).

As águas de reúso devem ser tratadas utilizando-se todas as tecnologias necessárias para garantir a proteção da saúde pública, do meio ambiente e da demanda das indústrias quanto à qualidade. Diante dos avanços na tecnologia de tratamento de esgotos existente hoje, a configuração dos processos de tratamento e recuperação de águas residuárias apresenta um grande número de possibilidades. Para cada alternativa, o que a distinguirá dentre outras é o fato do processo selecionado produzir água de reúso com determinadas características em função da qualidade da água residuária afluente. Além disso, os custos de tratamento e recuperação aumentam com a exigência de melhor qualidade para a água de reúso. Sendo assim, a qualidade da água residuária utilizada e o objetivo específico do reúso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança e os custo de capital, operação e manutenção (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

3.2.2 Critérios de adequação ao uso

A definição de qualidade baseada na adequação ao uso permite uma classificação das águas em águas adequadas ou não (boa ou má qualidade) a determinados usos. Sendo assim, esta classificação deve levar em consideração o seu uso previsto (MANCUSO *et al.*, 2003).

O critério de adequação ao uso é uma condição básica para a implementação de um sistema de reúso. Esta adequação da qualidade da água às exigências de seu uso permite que não ocorram prejuízos à população, aos equipamentos, à atividade onde se aplicará esta água e custos adicionais depois de instalado o projeto.

Para uso não potável da água, o nível de qualidade seria um intermediário entre esgotos brutos e água potável, devendo-se determinar para cada caso qual será este nível, e a partir daí definir o tratamento necessário para atingi-lo.

Outro fator a ser considerado é o de que a qualidade do efluente tratado para o reúso não deverá exceder às necessidades previstas ao seu uso, de maneira a se evitar um desperdício de recursos, principalmente se essa água necessitou de um complexo tratamento para atingir esta qualidade. Este seria um exemplo típico, da utilização de água potável em muitas aplicações que dispensam esse nível de qualidade, como nos processos industriais, na irrigação e na limpeza. (MANCUSO *et al.*, 2003).

Poucas são as informações a respeito das qualidades exigidas nos diversos tipos de reúso, com exceção ao uso mais significativo com relação à vazão consumida: a irrigação agrícola. Mas essa realidade tem tendido a mudar nos últimos anos.

Segundo VON SPERLING *apud.* MOTA *et al.* (2009), a necessidade de informações com base local, ainda que obtidas de experimentos em escala reduzida, ficou evidente a medida em que as legislações vigentes em outros países demonstram-se demasiadamente restritivas e inaplicáveis em outras realidades econômicas ou, por outro lado, a medida em que exemplos se multiplicavam na listagem de iniciativas supostamente positivas, mas sem um

controle aceitável. Este fato motivou os pesquisadores do PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, ao exercício de proposição de critérios e parâmetros com base nos resultados de pesquisas, confrontadas com experiências e legislações internacionais, que pudessem contribuir para a adoção de padrões de qualidade de água residuária para o reúso.

Nas pesquisas do PROSAB relativas ao condicionamento do esgoto, diversos aspectos são abordados procurando a identificação dos processos de tratamento que levem à qualidade mais desejável para sua aplicação, ou seja, sistemas que garantam boa qualidade sanitária do efluente final e, na medida do possível, que atendam as características esperadas para o reúso. Como exemplo pode-se citar o Edital 4 do PROSAB, onde uma das grandes preocupações trazidas a discussão foi a necessidade de se dispor, em muitos casos, de um sistema de tratamento capaz, por si só, de atender a legislação para lançamento de efluentes em corpos receptores e as necessidades agronômicas - uma vez que a irrigação é interrompida em épocas de chuva, quando a disponibilidade hídrica supera a demanda de água pela cultura. Desta forma, nas pesquisas do PROSAB, foram mantidos também projetos visando ao uso industrial e a outros usos de água não potável.

Os estudos desenvolvidos no âmbito do PROSAB vêem culminando na consolidação das características do esgoto de interesse agronômico, e em menos escala, urbano e industrial, que podem resultar das diversas modalidades de tratamento, servindo de orientação aos profissionais interessados nesta temática (MOTA *et al.*, 2009)..

O PROSAB tem influído, de forma decisiva, na adoção, por parte das companhias de saneamento, de tecnologias de tratamento de esgoto mais adequadas a países como o Brasil. Por este motivo, serão apresentadas, no presente trabalho, como proposta a serem adotadas, para os usos urbanos e agrícolas: as diretrizes estabelecidas pelo PROSAB, e para os usos industriais: as diretrizes estabelecidas pela USEPA, United States Environmental Protection Agency, adotado como guia nas pesquisas do PROSAB na linha do reúso industrial.

3.3 Padrões e Orientações de Qualidade para a Água de Reúso

Para que seja possível o uso de efluentes de ETE's, é necessário que se observem alguns importantes padrões físicos, químicos e biológicos de qualidade desses águas para o reúso em áreas agrícolas, urbanas e industriais e os riscos associados a esse uso.

Estes critérios e padrões são descritos, segundo MANCUSO *et al.* (2003) seguindo parâmetros a serem considerados em um sistema de reutilização de efluentes, ressaltando-se sempre a questão da saúde pública, a aceitação da água pelo usuário, a proteção ambiental, a qualidade da fonte de água e a adequação da qualidade ao uso pretendido.

Dentre os parâmetros mais importantes em termos de avaliação do impacto na qualidade da água, destacam-se a demanda bioquímica de oxigênio e o oxigênio dissolvido na água. Isso se dá porque o oxigênio é fundamental para a manutenção de formas de vida aeróbias importantes para o equilíbrio ambiental, as quais são fontes de alimento para o homem. O despejo de certos poluentes no meio aquático pode afetar profundamente a concentração de oxigênio dissolvido, levando inclusive ao desaparecimento dessa substância e das formas de vida que dela dependem (EIGER, 2003).

Entretanto, os parâmetros de qualidade importantes na avaliação da adequabilidade de um efluente de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) podem não ser os mesmos para os diversos tipos de reúso e também não são os mesmos que deverão ser considerados no caso do destino final desse efluente ser o lançamento em meio hídrico. Neste último caso, os parâmetros mais importantes são a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), a demanda química de oxigênio (DQO) e os sólidos suspensos (SS). (BASTOS, 2003)

Por outro lado, os padrões e guias de qualidade para reúso de água trazem na sua maioria o enfoque na saúde pública, resguardando os possíveis consumidores ou os produtos obtidos e os trabalhadores que manipulam essa água recuperada. Portanto, quase todos se baseiam no controle microbiológico de organismos patógenos. Segundo as diretrizes do PROSAB, de uma forma geral, os parâmetros mais significativos para os reúsos agrícolas e urbanos

são os coliformes termotolerantes ($100mL^{-1}$) e os ovos de helmintos (L^{-1}) (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

O padrão PROSAB foi desenvolvido com base no que se convencionou chamar de reúso controlado: a utilização segura do ponto de vista sanitário, sustentável do ponto de vista ambiental e viável do ponto de vista de produção. Em outras palavras, na discussão dos critérios de qualidade da águas para formulação do Padrão PROSAB, foram considerados os diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos de interesse para as diferentes modalidades de reúso (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

O PROSAB reconhece que os esgotos também podem, dependendo de sua origem, conter agentes químicos de toxicidade relevantes e até mesmo outros de padrão de ocorrência e significado à saúde ainda pouco conhecido. No entanto, embora ressalte que o risco à saúde associado à substâncias químicas não possa ser negligenciado, o padrão PROSAB utiliza-se dos postulados definidos pela OMS em relação ao consumo humano de água, nos quais os riscos microbiológicos de transmissão de doenças (de curto prazo, inquestionáveis), são em geral, de maior impacto que os riscos à saúde impostos pelas substâncias químicas (de longo prazo, por vezes não muito bem fundamentados do ponto de vista toxicológico e epidemiológico) (WHO, *apud.* FLORÊNCIO *et al.*, 2006)

No PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006), também se destaca que mesmo em relação aos riscos microbiológicos, muitas são as controvérsias que perduram tanto na definição do padrão de qualidade de efluentes, como no grau de tratamento dos esgotos que garantam a segurança sanitária.

A determinação da potencialidade de transmissão de doenças de um efluente pode ser efetuada de forma indireta através dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencente principalmente ao grupo dos coliformes. Embora não sendo patogênica, a presença destas bactérias na água indica que ela recebeu matéria fecal e pode, portanto, conter microorganismos patogênicos. Entre as bactérias do grupo coliforme, a mais utilizada como indicadora da poluição fecal é a Escherichia coli. É necessário ressaltar que

os coliformes têm menor resistência ao meio aquático ou tratamento pelo cloro do que alguns vermes e vírus. Assim, cuidados especiais devem ser adotados no tratamento de águas que recebem esgotos de origem doméstica, com o objetivo de controlar esses microorganismos (BRAGA et al., 2002).

O novo e atual modelo da OMS, relativo aos padrões de reúso da água, no qual se encontra a base do Padrão PROSAB, está fundamentado na conclusão de que os riscos à saúde humana nos países em desenvolvimento são devidos a doenças provocadas por vermes helmintos, nematelmintos e trematódeos e, devido a isso, torna-se necessária uma alta remoção desses parasitas. Suas diretrizes empregam os ovos de helmintos como indicadores para todos esses organismos patogênicos que podem ser removidos por sedimentação. A opção por esse indicador se deve à suposição de que todos os demais microrganismos são removidos com igual eficiência e que outros patogênicos de interesse para a saúde tornam-se não-viáveis em sistemas com alto tempo de detenção hidráulico (OMS, 2006; MARA *et al.*, 1989; SOUZA, 1997).

A seguir serão apresentados os padrões e diretrizes estabelecidos pelo PROSAB para os usos urbanos e agrícolas e aqueles estabelecidos pela USEPA para os usos industriais.

3.3.1 Padrões para o reúso agrícola

Os critérios PROSAB de qualidade para o reúso agrícola foram desenvolvidos com base nas diretrizes adotadas nos EUA e nas recomendadas pela OMS, uma vez que tais abordagens têm reconhecidamente servido de referência e sido adotadas como normas em diversos países, como meras cópias ou adaptadas (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

Nos EUA cada estado está habilitado a desenvolver sua própria legislação para o reúso, sendo ao todo 40 estados que já dispõem de tal regulamentação. Suas legislações variam em torno do apresentado pela USEPA (United States Enviromental Protection Agency), que recomenda critérios gerais a serem observados em todo o território nacional, não substituindo, no entanto, as legislações de cada estado (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

Pela **Tabela 3.1** podemos ver que os padrões da USEPA somente podem ser alcançados por processos rigorosos de tratamento de esgotos, incluindo a filtração e a desinfecção.

Tabela 3.1. Diretrizes da USEPA para o uso agrícola de esgotos sanitários

Tipos de irrigação e cultura	Processo de Tratamento	Qualidade do efluente
Culturas alimentícias não processadas comercialmente (1) Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas	Secundário + filtração + desinfecção (2) (3)	pH 6 a 9 DBO ≤ 10 mg L^{-1} Turbidez ≤ 2 uT (4) CRT ≥ 1 mg L^{-1} (5) (6) CTer ND (7) Organismos Patogênicos ND
Culturas alimentícias processadas comercialmente (1) Irrigação superficial de pomares e vinhedos Silvicultura e irrigação de áreas com acesso restrito ao público	Secundário + desinfecção (2)	pH 6 a 9 DBO ≤ 30 mg L^{-1} SST ≤ 30 mg L^{-1} (8) CRT ≥ 1 mg L^{-1} (5) CTer ≤ 200 100 mL^{-1} (9)
Culturas não alimentícias Pastagens para rebanhos de leita (10), forrageiras, cereais, fibras e grãos	Secundário + desinfecção (2)	pH 6 a 9 DBO ≤ 30 mg L^{-1} SST ≤ 30 mg L^{-1} (8) CRT ≥ 1 mg L^{-1} (5) CTer ≤ 200 100 mL^{-1} (9)

ND: não detectável; Cter: coliformes termotolerantes; CRT: cloro residual total. (1) Culturas alimentícias processadas comercialmente são aquelas que recebem processamento físico ou químico, prévio à comercialização, suficiente para a destruição de patógenos. (2) Tratamento secundário é considerado aquele capaz de produzir efluentes com DBO e SST ≤ 30 mg L^{-1}. (3) A coagulação química pré-filtração pode ser necessária para o atendimento da qualidade do efluente recomendada. (4) Turbidez pré-desinfecção, média diária; nenhuma amostra τ 5 uT (ou 5 mgL SST L^{-1}). (5) Cloro residual total após tempo de contato mínimo de trinta minutos. (6) Residuais ou tempos de contato mais elevados podem ser necessários para garantia de inativação de vírus e parasitas. (7) Média móvel de sete dias; nenhuma amostra ξ 14 CTer 100 m L^{-1} . (8 Um padrão mais exigente pode ser necessário no caso de irrigação por aspersão. (9) Média móvel de sete dias; nenhuma amostra τ 800 CTer 100 mL^{-1}; lagoas de estabilização podem alcançar o critério de qualidade sem a necessidade de desinfecção. (10) O consumo das culturas irrigadas não deve ser permitido antes de 15 após a irrigação: desinfecção mais rigorosa (≤ 14 CTer 100 m L^{-1}) se o período de 15 dias não for observado.

Fonte: PROSAB, 2006.

Deve-se destaca que, apesar de em alguns estados dos EUA não ser permitida a irrigação de culturas alimentícias com a água de reúso, em sua grande maioria, não são explicitados

padrões e não são exigidos o monitoramento de vírus e protozoários para essa prática. Segundo os autores do PROSAB, as diretrizes da USEPA são também omissas em relação aos helmintos, vindo assim de encontro com os critérios da OMS (2006a), **Tabela 3.2**, os quais são relativamente rigorosos quanto à remoção de helmintos, porém, mais permissíveis no que diz respeito à qualidade bacteriológica (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

Tabela 3.2 Diretrizes da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários

Categoria de irrigação	Opção(1)	Tratamento de esgotos e remoção de patógenos (log_{10})(2)	Qualidade do efluente	
			E.coli /100ml(3)	Ovos de helmintos L^{-1}
Irrestrita	A	4	$\leq 10^3$	≤ 1(4) (5)
	B	3	$\leq 10^4$	
	C	2	$\leq 10^5$	
	D	4	$\leq 10^3$	
	E	6 ou 7	$\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$	
Restrita	F	4	$\leq 10^4$	
	G	3	$\leq 10^5$	
	H	< 1	$\leq 10^6$	

(1) Combinação de medidas de proteção à saúde. A: cultivo de raízes e tubérculos; B: cultivo de folhosas; C: irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; D: irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; E: qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento tais como tratamento secundário + coagulação + filtração + desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada ainda com o emprego de indicadores complementares (por exemplo, turbidez, SST, cloro residual); F: agricultura de baixo nível de tecnologia e mão de obra intensiva; G: agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada; H: técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação superficial). (2) Remoção de vírus que associada a outras medidas de proteção à saúde corresponderia à uma carga de doenças virais tolerável $\leq 10^{-6}$ DALY ppa e riscos menores de infecções bacterianas e por protozoários. (3) Qualidade do efluente correspondente à remoção de patógenos indicada em (2). (4) No caso de exposição de crianças (15 anos) recomende-se um padrão e, ou, medidas complementares mais exigentes: ≤0,1 ovo/ L, utilização de equipamentos de proteção individual, tratamento quimioterápico. No caso da garantia da remoção adicional de 1 log10 na higiene dos alimentos pode-se admitir ≤10 ovos/ L. (5) Média aritmética em pelo menos 90% do tempo, durante o período de irrigação. A remoção requerida de ovos de helmintos (log_{10}) depende da concentração presente no esgoto bruto. Com o emprego de lagoas de estabilização, o tempo de detenção hidráulica pode ser utilizado como indicador de remoção de helmintos. No caso da utilização de técnica de tratamento mais complexas (opção E), o emprego de outros indicadores (por exemplo, turbidez ≤ 2 uT) pode-se dispensar a verificação do padrão ovos de helmintos. No caso de irrigação localizada, em que não haja contato da água com as plantas e na ausência de riscos para os agricultores (por exemplo, opção H) o padrão ovos de helmintos poderia ser dispensável.

Fonte: adaptado de WHO (2006a).

O presente estudo também considera relevante mencionar a Resolução CONAMA Nº 357/05, instituída pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, com o objetivo de evitar a poluição e contaminação de qualquer espécie que modifique os usos dos corpos d'água. Tal Resolução estabelece que os efluentes somente possam ser descartados em corpos d'água se os seus parâmetros característicos se situarem dentro do balizamento dado pela referida resolução, para cada classe de corpo de água. Além disso, o CONAMA Nº 357/05 subdivide e define cinco classes para a distinção das águas doces brasileiras, conforme apresentado abaixo:

I – Classe Especial: (a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção; (b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; (c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;

ll – Classe 1: (a) abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; (b) proteção das comunidades aquáticas; (c) recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); (d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; (e) proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas;

lll – Classe 2: (a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; (b) proteção das comunidades aquáticas; (c) recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); (d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; (e) aqüicultura e à atividade de pesca;

lV – Classe 3: (a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; (b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; (c) pesca amadora; (d) recreação de contato secundário; (e) dessedentação de animais;

V – Classe 4: (a) à navegação; (b) à harmonia paisagística.

Sendo assim, a partir do conteúdo do CONAMA Nº 357/05 também se pode arriscar uma tentativa na definição de algumas diretrizes para o reúso agrícola. A interpretação em face do reúso do exposto pela Resolução é apresentada na **Tabela 3.3** a seguir.

Tabela 3.3 Diretrizes segundo interpretação da Resolução CONAMA 357, 2005 para o uso agrícola de esgotos sanitários

CTer (NMP/100ml)	Ovos de Helminto (L^{-1})	DBO (mg/L)	Turbidez (UT)	pH	SDT (mg/L)	SST (mg/L)	Cloro (mg/L)
Uso Agrícola Irrestrito - Padrão CONAMA de Qualidade, Água Doce Classe 1							
200	*NE*	3	40	6 a 9	500	VA	0,01
Uso Agrícola Restrito - Padrão CONAMA de Qualidade, Água Doce Classe 2							
1000	*NE*	5	100	6 a 9	500	VA	0,01
Uso Agrícola Restrito com Barreiras - Padrão CONAMA de Qualidade, Água Doce Classe 3							
4000	*NE*	10	100	6 a 9	500	VA	-
NE: não especificado; *VA* : virtualmente ausentes							

Fonte: adaptado de RESOLUÇÃO CONAMA 357, 2005.

No que se refere ao PROSAB, como mencionado anteriormente, o padrão de qualidade de efluentes são expressos apenas em termos de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos (**Tabela 3.4**). Sendo assim, suas diretrizes restringem-se, essencialmente, a critérios de proteção à saúde (qualidade microbiológica), tendo como objetivo a proteção da saúde dos consumidores, dos trabalhadores e do público com acesso ou vizinho à áreas onde a irrigação com água de reúso seja praticada. Todavia, destaca em sua publicação que os demais parâmetros devem ser objeto de observação em critérios de boas práticas aplicáveis a cada tipo de uso da água (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

Segundo o PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006), seus critérios encontram-se em consistência com os padrões tecnológicos de tratamento de esgotos de amplo emprego no país, acomodando técnicas de tratamento simplificadas, sem omitir, entretanto, a possibilidade do emprego de técnicas de maior complexidade. Além disso, assegura que o atendimento à tais padrões de qualidade microbiológica de efluentes é totalmente factível.

Tabela 3.4 Diretrizes do PROSAB para o uso agrícola de esgotos sanitários

Categoria	CTer $100ml^{-1}$ (5)	Ovos de helmintos L^{-1} (6)	Observações
Irrigação Irrestrita(3)	$\leq 1 \times 10^3$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^4$ CTer/ 100ml no caso de irrigação por gotejamento de culturas que se desenvolvem distante do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizado.
Irrigação Restrita(4)	$\leq 1 \times 10^4$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^5$ CTer/ 100ml no caso da existência de barreiras adicionais de proteção do trabalhador(7). É facultativo o uso de efluentes (primários e secundários) de técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, desde que associado à irrigação subsuperficial.

(1) Para o uso agrícola do esgoto tratado não há restrição de DBO, DQO e SST, sendo as concentrações efluentes uma conseqüência das técnicas de tratamento compatíveis com a qualidade microbiológica estipulada. Todavia, efluentes com concentrações elevadas desses parâmetros podem favorecer a formação de biofilmes e o entupimento de sistemas de irrigação. (2) O padrão de qualidade de efluentes expresso apenas em termos de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos aplicam-se ao emprego de sistemas de tratamento por lagoas. Nestes sistemas a remoção de (oo) cistos de protozoários é indicada pela remoção de ovos de helmintos. No caso de filtração terciária a turbidez deve ser utilizada como parâmetro indicador da remoção de protozoários. Para a irrigação irrestrita recomenda-se um padrão de turbidez ≤ 5 uT. Além disso, em sistemas que incluam a desinfecção deve-se recorrer aos parâmetros de controle da desinfecção (residual desinfetante e tempo de contato) necessários ao alcance do padrão estipulado para coliformes termotolerantes. (3) Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, inclusive culturas alimentícias consumidas cruas. Inclui também a hidroponia. (4) Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Inclui também a hidroponia. (5) Coliformes termotolerantes: média geométrica durante o período de irrigação, alternativa preferencialmente pode-se determinar E.coli. (6) Nematóides intestinais humanos; média aritmética durante o período de irrigação. (7) Barreiras adicionais de proteção encontradas em agricultura de elevado nível tecnológico, incluindo o emprego de irrigação localizada e equipamentos de proteção individual. Exclui-se desta nota a irrigação de pastagens e forrageiras destinadas à alimentação animal. (8) Neste caso não se aplicam os limites estipulados de coliformes e ovos de helmintos, sendo a qualidade do efluente uma conseqüência das técnicas de tratamento empregadas.

Fonte: PROSAB, 2006.

3.3.2 Padrões para o reúso urbano

Para efeito do reúso urbano, o PROSAB faz uso do sugerido pela USEPA para determinação de suas diretrizes; recomendando, no entanto, que se faça a leitura do documento original antes de tal pratica. A **Tabela 3.5** apresenta um resumo das diretrizes da USEPA para o reúso urbano.

Tabela 3.5 Diretrizes da USEPA para usos urbanos de esgotos sanitários

Tipos de usos	Processo de tratamento	Qualiade do efluente
Usos urbanos irrestritos - irrigação (campos de esporte, parques, jardins e cemitérios, etc.) e uso ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, desgarga de toaletes, combate a incêndios, lavagem de veículos, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar.	Secundário + filtração + desinfecção(1) (2) (3)	pH 6 a 9 DBO ≤ 10 mg L^{-1} Turbidez ≤ 2 uT (4) CRT ≥ 1 mg L^{-1} (5) (6) (7) CTer ND (8) (9) Organismos Patogênicos ND
Usos urbanos restritos - irrigação (parques, canteiros de rodovias, etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, preparação de argamassa e concreto, etc.).	Secundário + desinfecção(1)	pH 6 a 9 DBO ≤ 30 mg L^{-1} SST ≤ 30 mg L^{-1} CRT ≥1 mg L^{-1} (5) CTer ≤ 200 100 mL $^{-1}$ (10) (11)

ND: não detectável; CTer: coliformes termotolerantes; CRT: cloro residual total. (1) tratamento secundário é considerado aquela capaz de produzir efluentes com DBO e SST ≤ 30 mg/L. (2) A coagulação química pré- filtração pode ser necessária para o atendimento da qualidade do efluente recomendada. (3) O efluente tratado deve apresentar aparência não objetáveis. (4) Turbidez pré-desinfecção, média diária, nenhuma amostra > 5 uT (5 mg SST L-1). (5) Cloro residual total após tempo de contado mínimo de 30 minutos. (6) Residuais ou tempo de contato mais elevados podem ser necessários parta a garantia de inativação de vírus e parasitas. (7) Em sistemas de distribuição CTRT ≥0,5 mg/L para prevenir o desprendimento de odores e a formação de biofilmes. (8) Média móvel de 7 dias; nenhuma amostra > 14 CTer/ 100 ml. (9) Em situações de maior controle da exposição admite-se tratamento secundário + desinfecção e CTer < 14/ 100ml. (10) Média móvel de 7 dias; nenhuma amostra > 800 CTer/ 100ml, lagoas de estabilização podem alcançar o critério de qualidade sem a necessidade desinfecção. (11) Desinfecção mais rigorosa (< 14 CTer/ 100ml) em situações de menor controle da exposição.

Fonte: adaptado de USEPA (2004a).

Com relação às diretrizes da USEPA, as exigências de remoção de matéria orgânica (DBO) e sólidos (SST), dependendo do tipo de uso, são justificadas em termos de inconvenientes estéticos (aparência, maus odores), disponibilidade de nutrientes para o crescimento microbiano e comprometimento da desinfecção. Os coliformes servem de indicadores da eficiência de desinfecção e a turbidez, como indicador estético e indicador auxiliar da remoção de patógenos (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

Quanto as diretrizes da OMS, estas quase não se dedicam aos usos urbanos, mencionando apenas a irrigação de parques e jardins, sugerindo para tanto um padrão de ≤ 200 CTer $100mL^{-1}$ (OMS, *apud.* FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

As diretrizes do PROSAB, assim como as da USEPA, dividem o reúso urbano em duas categorias, definidas pelo grau de restrição de acesso ao público (controle da exposição) e, por conseguinte, as exigências de tratamento e o padrão de qualidade de efluentes: usos urbanos restritos e irrestritos.

Como no caso do reúso agrícola, também no reúso urbano, os critérios sugeridos pelo PROSAB restringem-se aos critérios de qualidade microbiológica e têm como objetivo a proteção da saúde dos usuários e transeuntes em áreas e instalações com aplicação de efluentes, trabalhadores em contato direto com a água de reúso, solo, material e instalações onde o esgoto é aplicado ou utilizado, **Tabela 3.6**, (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

Tabela 3.6 Diretrizes do PROSAB para usos urbanos de esgotos sanitários

Categoria	CTer 100ml^{-1} (6)	Ovos de helmintos L^{-1} (7)
Usos irrestritos(3)	≤ 200	≤ 1
Usos restritos(4)	≤ 1 x 10^4	≤ 1
Uso predial(5)	≤ 1 x 10^3	≤ 1

(1) Para o uso do urbano do esgoto tratado não há restrição de DBO, DQO e SST, sendo as concentrações efluentes uma conseqüência das técnicas de tratamento compatíveis com a qualidade microbiológica estipulada. Para todos os usos recomenda-se que o efluente apresente qualidade esteticamente não objetável (ver também nota 5). (2) O padrão de qualidade de efluentes expresso apenas em termos de coliformes termotolereantes e ovos de helmintos aplicam-se ao emprego de sistemas de tratamento por lagoa. Nestes sistemas a remoção de (oo) cistos de protozoários é indicada pela remoção de ovos de helmintos. No caso de filtração terciária a turbidez deve ser utilizada como parâmetro indicador da remoção de protozoários. Para os usos irrestritos recomenda-se um padrão de turbidez ≤ 5uT. Além disso, em sistemas que incluam a desinfecção deve se recorrer aos parâmetros de controle da desinfecção (residual, desinfetante e tempo de contato) necessários ao alcance do padrão estipulado para coliformes termotolerantes. (3) Irrigação (campos de esporte, parques, jardins e cemitérios, etc.) e uso ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar. (4) Irrigação (parques, canteiros de rodovias, etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira, etc.). (5) Descarga de toaletes. Para efluentes com concentrações de DBO e NO_3 inferiores a 30 e 50 mg/L, respectivamente, e potencial de oxi-redução igual ou superior a 45 mV, não é esperada a geração de odores no sistema de armazenamento. (6) Coliformes termotolerantes; média geométrica, alternativa e preferencialmente pode-se determinar E.coli. (7) Nematóides intestinais humanos; média aritmética.

Fonte: PROSAB, 2006.

3.3.3 Padrões para o reúso industrial

Quanto à utilização dos efluentes municipais pelas indústrias, o PROSAB indica a utilização das diretrizes apresentadas pela USEPA (**Tabela 3.7**), que fornece limites e padrões para os diferentes tipos de indústrias (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

Segundo o PROSAB (FLORÊNCIO *et al.*, 2006), para os usos industriais a USEPA recomenda essencialmente os mesmos critérios de qualidade dos usos urbanos restritos. No entanto, deve-se atentar para o fato de que a água possui inúmeras aplicações na indústria, sendo assim, sua qualidade para as diversas aplicações será bastante variada e a escolha do número de parâmetros a serem atendidos estará relacionada, em cada caso, aos riscos ao processo, produto ou sistema, ou seja, usos específicos requererão tratamento terciário adicional para prevenção de corrosão e incrustação, formação de biofilmes e formação de

espuma; em geral processos de estabilização química e biológica da água. Portanto, as condições e os valores apresentados a seguir devem ser considerados apenas como indicativos.

Tabela 3.7 Diretrizes da USEPA para usos industriais de esgotos sanitários

Tipos de usos	Processo de tratamento	Qualiade do efluente
Industrial para Resfriamento sem Recirculação(1)	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9 DBO ≤ 30 mg L^{-1} SST ≤ 30 mg L^{-1} CRT ≥ 1 mg L^{-2} CTer ≤ 200 100 mL^{-2}
Industrial para Resfriamento com Recirculação(2)	Secundário + desinfecção(3)	DBO ≤ 30 mg L^{-1} SST ≤ 30 mg L^{-1} CRT ≥ 1 mg L^{-1} CTer ≤ 200 100 mL^{-1}
Para Outros Usos Industriais	Depende dos tipos de usos	

(1) Deve ser mantida uma distância de segurança igual a 90 metros das áreas acessíveis ao público. (2) Deve ser mantida uma distância de segurança igual a 90 metros das áreas acessíveis ao público. Esta restrição pode ser eliminada se uma desinfecção mais severa for realizada. (3) Processos de coagulação química e de filtração podem ser necessários.

Fonte: adaptado de USEPA (2004a).

Capítulo 4

O Modelo de Otimização Econômica do Reúso - OETAR

4. O Modelo de Otimização Econômica do Reúso - OETAR

O Modelo OETAR desenvolvido pode ser considerado um modelo instrumental, de apoio à tomada de decisão quanto a investimentos, privados ou públicos, destinados ao transporte dos esgotos sanitários tratados para utilização nos setores agrícola, urbano e industrial. À criação do Modelo encontram-se agregados os diversos aspectos técnicos e econômicos pertinentes às etapas de tratamento, transporte e reservação da água de reúso.

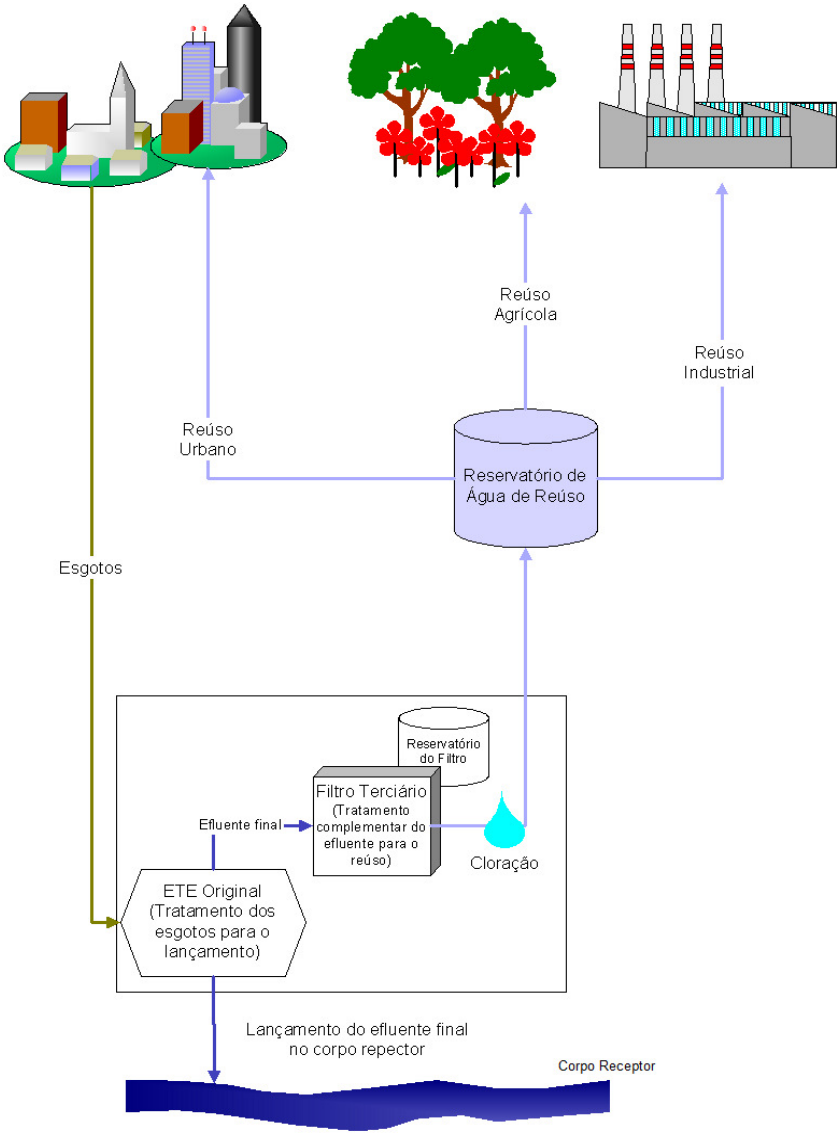


Figura 4.1 Estrutura esquemática do **Modelo OETAR**

Para uma melhor compreensão do Modelo econômico que será apresentado, foi esquematizado um modelo gráfico conceitual, **Figura 4.1**, onde pode-se observar o fluxo seqüencial dos envolvidos no Modelo OETAR. Os esgotos sanitários coletados são tratados na ETE municipal, parte do efluente tratado é disposta no corpo hídrico receptor para a manutenção da vazão e parte é encaminhada ao tratamento complementar (filtração terciária seguida de cloração) para adequação ao reúso, sendo posteriormente transportado até um reservatório, que pode ser interpretado como um centro de distribuição via caminhão pipa para os consumidores agrícolas, urbanos e industriais, ou como o destino final em si.

Para entendimento e utilização do Modelo OETAR proposto, considera-se imprescindível que, o gestor tenha os seguintes conhecimentos mínimos:

- características e formas de tratamento dos esgotos;
- definição e classificação do reúso de água;
- exemplos de sistemas de reúso de água existentes;
- características requeridas para água de reúso;
- legislação ambiental vigente;
- embasamento teórico de vários aspectos ligados ao reúso da água, entre eles:
  - saúde pública;
  - sócio-culturais;
  - econômicos.

Isto posto, o tomador de decisão pode iniciar a análise do cenário utilizando o Modelo proposto no presente trabalho. Mais uma vez, deve-se ressaltar que o Modelo OETAR desenvolvido engloba apenas os dados que influenciarão nos custos referentes ao tratamento complementar, transporte e reservação do efluente para o reúso, visando uma análise econômica. No entanto, para um melhor desempenho e obtenção de resultados mais concretos e expressivos a cerca do cenário como um todo, a seguir, será apresentada uma linha de raciocínio mais ampla que deve ser considerada em torno da avaliação econômica do reúso da água.

Etapa Preliminar

Como *Etapa Preliminar* à aplicação do Modelo OETAR sugere-se o levantamento das principais características da localidade em estudo como:

a) Os aspectos populacionais;
b) A disponibilidade e qualidade hídrica;
c) A forma de gerenciamento dos recursos hídricos (distribuição das parcelas de água), identificando os mananciais abastecedores, os corpos receptores, bem como a existência de entidades reguladoras e/ou agência de bacia; e
d) As características do sistema de abastecimento de água, sua capacidade, extensão, tarifas, etc.

Passo 1

Partindo para aplicação e preenchimento dos dados requeridos pelo Modelo OETAR, o *Primeiro Passo* é o levantamento a respeito da oferta de efluentes. Neste sentido, deve-se identificar e localizar o universo de ETE's, bem como as formas de tratamento realizadas nestas, a origem, a quantidade e a qualidade dos efluentes gerados. A averiguação da disponibilidade de área para expansão do tratamento também é importante, uma vez que é quase sempre necessária a implantação de um sistema de tratamento complementar (como sugerido no Modelo OETAR).

Passo 2

A principal resposta a ser dada para as empresas de saneamento refere-se à quantidade de esgoto utilizada. Tal informação irá permitir o planejamento que envolve desde o dimensionamento do tratamento complementar e do sistema de recalque, passando pela localização do reservatório a ser implantado até as necessidades de descargas parciais ou totais no corpo d'água receptor. O reservatório de água de reúso deve ser alocado, preferencialmente, no centro da circunferência onde se constate a concentração das maiores

possibilidades de equacionar a viabilidade financeira do reúso, vislumbrando um fluxo futuro de abastecimento exclusivo por água de reúso.

O *Segundo Passo* então, é o levantamento dos dados referentes às demandas passíveis de utilização dos efluentes. Neste caso, deve-se proceder à identificação e localização dos possíveis usuários agrícolas, urbanos e industriais. Para tal, pode-se recorrer a entidades ou pessoas que possam fornecer informações a respeito das principais características das atividades passíveis de reúso da água, como identificação de usuários, sua localização, bem como o levantamento e/ou estimativa das demandas passíveis do uso de esgoto doméstico tratado.

No que se refere às possíveis demandas agrícolas para a água de reúso, o presente trabalho recomenda a utilização do protocolo simplificado de decisão apresentado por Von Sperling no tema 2 do PROSAB 5 (MOTA *et al.*, 2009). O protocolo está implantado em planilha Excel, intitulada "Protocolo Decisão de Lançamento Reúso", disponibilizada no site do Prosab (www.finep.gov.br/programas/ prosab.asp). O próprio Von Sperling ressalta o caráter grandemente simplificado do protocolo e da própria planilha, que segundo o autor objetivam, principalmente, ilustrar a linha de raciocínio que pode ser empregada no processo decisório do reúso agrícola.

Também existe a possibilidade de identificação das demandas que podem ser induzidas pela oferta de efluentes tratados. Por exemplo, a disponibilização de esgotos tratados para uso industrial numa certa região, pode atrair a instalação de novas indústrias, dados os baixos custos da água de reúso quando comparada ao custo da água de uso industrial, que possui o valor mais alto do mercado.

Posteriormente, como forma de complementar os estudos a cerca do reúso da água, pode-se levantar a aceitabilidade dos usuários e a qualidade esperada para a água de reúso. Caso a bacia em estudo possua comitê instituído, grande parte destas informações estará disponível em seu comitê.

Passo 3

Para o *Terceiro Passo*, o presente estudo sugere que o tomador de decisão utilize de um mapa para locação das informações adquiridas. Neste mapa as informações mínimas necessárias são a localização das ETE's e suas respectivas vazões de oferta, assim como dos possíveis usuários e suas respectivas vazões de demanda. Em caráter complementar podem constar outros dados como os pontos de captação de água, uso e ocupação do solo, a qualidade da água requerida em cada ponto de utilização, etc. Quanto maior for o conhecimento das características da localidade em estudo maior será a capacidade de visão do gestor e mais expressivo o resultado do Modelo OETAR, diante um conjunto maior de informações. Esta fase é especialmente importante, pois com base neste mapa se conseguirá uma visualização geral da situação, melhor identificando potenciais fins de reúso.

Com isto, pode-se realizar o cruzamento dos dados de oferta em relação à demanda, arbitrando 'o raio' da referida circunferência de observação inicial. O bom senso deve ser utilizado para estipulação deste raio, pois seu valor (extensão) é função das características da área em estudo, principalmente de suas dimensões e será ponto primordial na avaliação econômica do Modelo OETAR.

Vale destacar que nesta compatibilização as vazões de demanda podem ser menores, iguais ou maiores que a oferta de efluentes pela ETE. No caso de serem menores ou iguais a oferta, o reúso deve ser incentivado, por se tratar de uma prática que visa à melhoria ambiental. Já no caso de as demandas serem maiores, propõe-se que o reúso seja incentivado na substituição dos usos menos nobres.

Passo 4

O *Quarto Passo* diz respeito à avaliação da necessidade ou não de implantação de um sistema que realize o tratamento de adequação do efluente em relação à qualidade requerida para os fins de reúso pretendidos. Nesta análise, não havendo dados de qualidade disponíveis, pode-se proceder a análises físico-químicas e microbiológicas que tornem

possível a caracterização do efluente existente. A qualidade requerida pela água de reúso varia em função do(s) fim(s) pretendido(s) e na maioria das vezes a determinação dessa qualidade da água de reúso será definida juntamente com os usuários.

Como mencionado anteriormente, o presente Modelo adota, para fins de calculo, um tratamento complementar genérico, composto por um sistema de filtro terciário seguido de cloração, capaz de enquadrar os efluentes de ETE's à maioria dos possíveis tipos de reúso da água. Caso o efluente já atenda ao padrão de qualidade especificado, não será necessário custear o tratamento complementar. Entretanto, entende-se que, na grande maioria dos casos, o efluente tem qualidade inferior ao esperado, fazendo-se necessário a ampliação da planta da ETE existente.

Passo 5

No *Quinto Passo*, que é também o último, após a definição e dimensionamento do sistema de tratamento complementar indicado pelo Modelo, tendo sido definidas as vazões envolvidas e a distância da ETE ao reservatório, o Modelo OETAR irá processar e retornar os custos de implantação e operação das Etapas de Tratamento, Transporte e Reservação do esgoto tratado para o reúso. A partir desses custos serão gerados gráficos comparativos dos custos totais da prática do reúso da água frente à utilização da água potável via sistema público convencional de abastecimento.

Mesmo não sendo alvo do presente estudo, cabe destacar que a avaliação dos benefícios do empreendimento de reúso da água como um todo é uma tarefa bastante complexa, dada a subjetividade da valoração dos benefícios ambientais e de saúde pública conseguidos pela supressão, parcial ou total, da disposição do efluente de ETE's na natureza. O presente estudo considera que em bacias onde já se pratica a cobrança pelo uso da água um dos benefícios facilmente mensuráveis é a economia que se obtém com o não pagamento da taxa de captação de água e disposição dos efluentes.

A seguir, o Modelo OETAR de análise econômica será detalhado através da apresentação de seus algoritmos constituintes. Para facilitar sua compreensão, o Modelo OETAR foi dividido em três etapas de cálculo, correspondentes as atividades que se pretende analisar economicamente de um dado sistema de reúso da água, assim seja, a Etapa de Tratamento, a Etapa de Transporte e a Etapa de Reservação.

Em função da grande quantidade de dados nos algoritmos, foram adotadas siglas simplificadas para a expressão dos custos de implantação e de operação e manutenção. Na **Tabela 4.1** essas siglas são apresentadas.

Tabela 4.1 Siglas utilizadas nos algoritmos do Modelo OETAR

Etapas /Processos	**Custos**	
	Implamtação	**O & M**
Tratamento	CC_{tt}	CA_{tt}
Filtração	-	$CA_{tt}Filt$
Cloração	-	$CA_{tt}Cl$
Mão de obra	-	$CA_{tt}MO$
Trasnporte	CC_{tp}	CA_{tp}
Reservação	CC_{Res}	CA_{Res}

4.1 Etapa de Tratamento – Sistema de Filtração Rápida & Desinfecção

A etapa de tratamento é composta por um sistema de filtração rápida descendente com camada dupla e um sistema de desinfecção (aplicação de cloro).

Os algorítmos que compõem os custos de implantação e os custos de operação e manutenção da etapa de tratamento são, respectivamente, custos de capital (CC_{tt}) e custos anuais (CA_{tt}), para a determinação dos quais foram desenvolvidas curvas de auxílio ao cálculo em função de diferentes vazões de entrada para o sistema de reúso dos esgotos.

A seguir serão descritos os cálculos empregados na construção dos respectivos algorítmos aplicados na etapa de tratamento.

1. Dimensionamento do filtro descendente de camada dupla:

Dados de entrada:

- Q_R: vazão de esgoto destinada ao reúso (m^3/s);
- Tx_{Filt}: Taxa de filtração ($m^3/m^2.dia$);
- Φ: diâmetro efetivo do meio filtrante (mm);
- $C_{uniformidade}$: coeficiente de uniformidade do meio filtrante;
- A_f: área de filtração (m^2);
- a_f: área de uma câmara de filtração (m^2);
- Tx_{lav}: taxa de lavagem do filtro ($m^3/m^2.d$);
- N: número de camadas;
- B: largura da câmara de filtração (m);
- L: comprimento da câmara de filtração (m);
- H_f: altura do filtro (m);
- H_1: altura do fundo falso (m);
- H_2: espessura da laje de fundo falsa (m);

- H_3: altura da camada suporte (m);
- H_4: altura do leito filtrante (m);
- H_5: nível da água máximo sobre o leito filtrante (m);
- H_6: altura de borda livre (m);
- ϕ: diâmetro da tubulação de água para lavagem do filtro (mm).

1.1 Taxa de filtração: Tx_{Filt} ($m^3/m^2.dia$)

Para a determinação da taxa de filtração do Modelo OETAR utilizou-se a **Tabela 4.2**. Vale ressaltar que o valor adotado, igual 360 m³/m².dia, é meramente ilustrativo, sendo recomendado modelos experimentais para a sua determinação.

Segundo as pesquisas do PROSAB (2006), no caso da filtração descendente, a qualidade do efluente melhora proporcionalmente à diminuição da taxa de filtração, sendo a eficiência do filtro relacionada à qualidade do afluente (efluente da etapa anterior do tratamento).

Tabela 4.2 Especificações dos filtros

Filtro	Meio Filtrante	Espessura Mínima (m)	□ efetivo (mm)	$C_{uniformidade}$	Tx Filt. ($m^3/m^2.dia$)
Rápido Duplo	areia	0,15 - 0,30	0,4 - 0,8	1,2 - 1,6	120 - 600
	antracito	0,30 - 0,60	0,8 - 2,0	1,3 - 1,8	

Fonte: adaptado de PROSAB, 2009.

Da **Tabela 4.2** também são retirados os valores para especificação do *leito filtrante*, composto de camada dupla (areia e antracito).

1.2 Área de filtração: A_f (m^2)

$$A_f = \frac{Q_R}{Tx_{filt}} \quad (m^2)$$, sendo:

1.3 Número de camadas: N

Para o cálculo do número de câmaras adotou-se as seguintes certezas:

a. O número de câmaras deve ser maior ou igual a três ($N \geq 3$);
b. O número de câmaras deve ser tal que a área de cada câmara (a_f) seja menor ou igual a setenta metros quadrados ($a_f \leq 70$ m²);
c. Taxa de lavagem do filtro ($Tx_{lav} = 1300$ m³/m².dia).

$$N \geq \frac{Tx_{lavagem}}{Tx_{filt}} \quad (m^2)$$

1.4 Dimensões das câmaras: B (m) e L (m)

As dimensões das câmaras (**Figura 4.2**) foram calculadas de modo que:

$$\frac{B}{L} = \frac{N+1}{2N} \quad (m^2) \qquad e \qquad a_f = B \cdot L$$

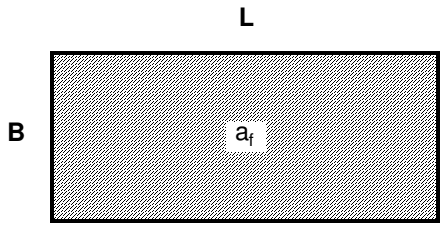


Figura 4.2 Esquemático da área da câmara de lavagem (m²)

1.5 Altura do Filtro: H_f (m)

$$H_f = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 \quad (m)$$

Para a determinação de cada parcela componente da altura do filtro fez-se uso da **Tabela 4.3**, que explicita as dimensões usualmente empregadas para a construção de filtros rápidos descendentes, da qual adotou-se para H1 a dimensão mínima e para as demais parcelas a dimensão usual, e da **Tabela 4.4**, que especifica a composição da camada suporte de pedregulho, da qual adotou-se o tamanho mínimo do mesmo (ver **Figura 4.3**).

Tabela 4.3 Dimensões Verticais da Caixa de Filtro

Altura			Dimensão (m)		
			Mínima	**Máxima**	**Usual**
Fundo Falso (H1)			□* + 0,25	-	-
Laje do Fundo Falso (H2)			Cálculo Estrutural (□ 0,1m)		
Camada Suporte (H3)			0,30	0,55	0,50
Leito Filtrante (H4)	2 Camadas	Areia	0,15	0,30	0,25
		Antracito	0,45	0,70	0,70
Lâmina Máxima sobre o Leito (H5)		2 Camadas	1,80	2,40	2,20
Borda Livre (H6)			0,25	0,40	0,30
* Diâmetro da tubulação de água para lavagem do filtro.					

Fonte: adaptado de Richter *et al* (1991)

Tabela 4.4 Especificação da Camada Suporte de Pedregulho

Subcamada	Tamanho dos Pedregulhos (mm)		Espessura (m)
	Mínimo	Máximo	
Primeira	2,4	4,8	0,075
Segunda	4,8	12,5	0,075
Terceira	12,5	19,0	0,100
Quarta	19,0	38,0	0,100
Quinta	38,0	63,0	0,150
Total			**0,50**

Fonte: adaptado de Richter *et al* (1991)

1.5.1 Diâmetro da tubulação de água para lavagem do filtro ϕ (mm)

Como indicado na **Tabela 4.3**, para o calculo de H_1, altura do fundo falso, é necessário a determinação do diâmetro da tubulação de água para lavagem do filtro, o qual foi calculado a partir da equação a seguir:

$$\phi \geq 72{,}5 \cdot (a_f)^{0,5} \quad (mm)$$

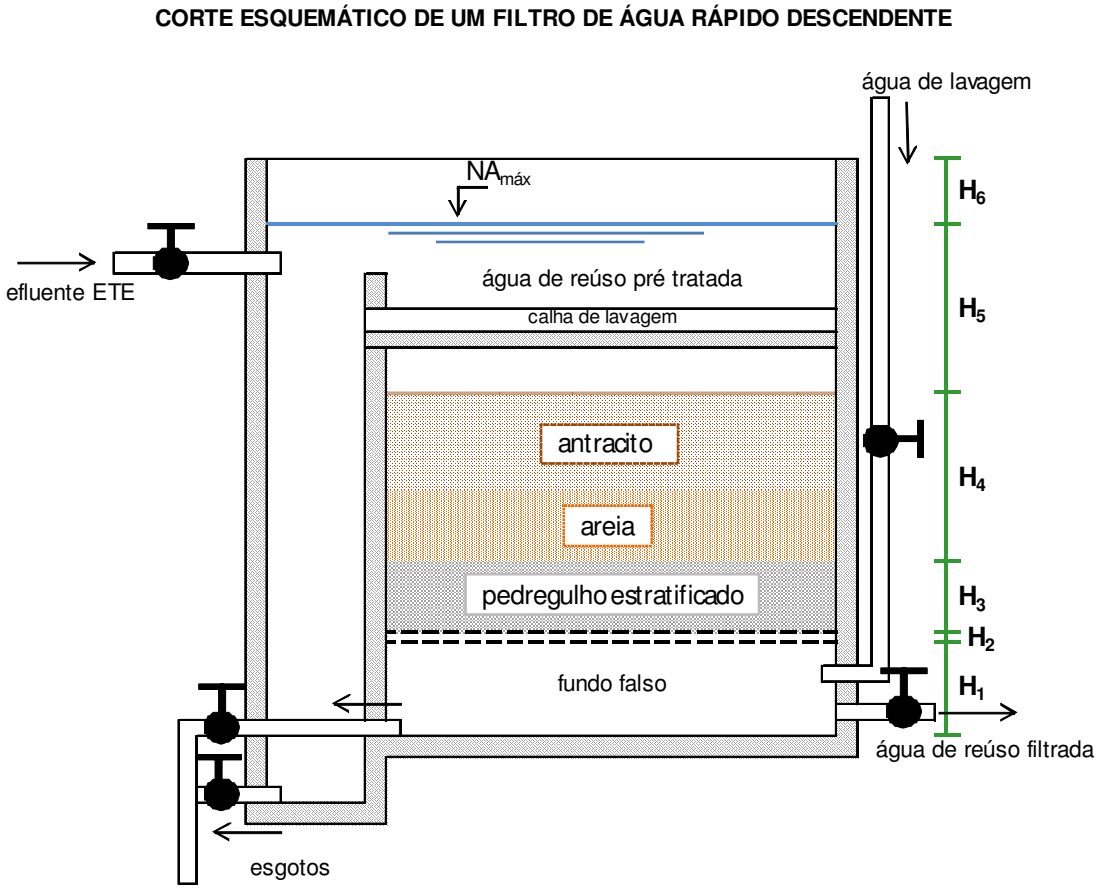


Figura 4.3 Corte esquemático de um filtro de água rápido descendente

Fonte: Adaptado de PROSAB (2009).

2. Dimensionamento do reservatório de água de lavagem para o filtro

Dados de entrada:

- a_f: área de uma câmara de filtração (m²);
- Tx_{lav}: taxa de lavagem do filtro (m³/m².d);
- v_{lav}: velocidade de lavagem (m/s);
- Q_{lav}: vazão de água de lavagem (m³/s);
- $V_{Res\ Filt}$: volume do reservatório de água de lavagem para o filtro (m³);
- $H_{Res\ Filt}$: altura do reservatório de água de lavagem para o filtro (m);
- $D_{Res\ Filt}$: diâmetro do reservatório de água de lavagem para o filtro (m).

A lavagem de um filtro demanda de uma quantidade considerável de água. Devido a esse consumo elevado, faz-se necessário a construção de um reservatório para essa água. Para o dimensionamento do *reservatório de água de lavagem*, assumiram-se os seguintes valores:

a. Intervalos entre lavagens (corridas): 24 – 48 horas;
b. Tempo de lavagem: 10 minutos;
c. Expansão do meio filtrante: 30 – 50%;
d. Velocidade de lavagem: $v_{lav} \leq 0{,}9$ m/min = 0,015 m/s ≅ 1300 m³/m².d;
e. Consumo de água de lavagem: 2 – 6% da vazão de água filtrada;
f. $Q_{lav} = a_f \cdot v_{lav}$ (m3/s);
g. Formato de reservatório de água de lavagem: cilíndrico; e
h. Altura do reservatório de água de lavagem: $D_{Res\ Filt} = 2 \cdot H_{Res\ Filt}$

2.1 Volume do reservatório de água de lavagem para o filtro: $V_{Res\ Filt}$ (m³)

$$V_{Res\ Filt} = \frac{a_f \cdot Tx_{lav}}{86400} \cdot 60 \cdot 10 \quad (m^3)$$

2.2 Altura do reservatório de água de lavagem para o filtro: $H_{Res\ Filt}$ (m)

$$H_{Res\ Filt} = \sqrt[3]{\frac{V_{Res\ Filt}}{\Pi}} \quad (m)$$

Custos da etapa de tratamento

3. Custos de capital da etapa de tratamento: CC_{tt} (R$/ano)

Dados de entrada:

- CI_{tp}: custo de investimento da etapa de tratamento (R$);
- FRC_{tt}: Fatos de Recuperação de Capital da etapa de tratamento;
- i_{tt}: taxa anual de juros da etapa de tratamento (%);
- n_{tt}: tempo de retorno desejado para os investimentos necessários ao sistema de reúso da etapa de tratamento (anos);
- $C_{Filt\ +\ Res}$: custo de implantação do sistema de filtro rápido descendente com reservatório de água de lavagem (R$);
- $V_{conFilt+Res}$: volume de concreto utilizado na construção do filtro rápido descendente e do reservatório do mesmo (m³);
- Pu_{con}: preço unitário do concreto (R$/m³);
- $V_{areiaFilt}$: volume de areia utilizado na construção do leito filtrante do filtro rápido descendente (m³);
- Pu_{areia}: preço unitário da areia (R$/m³);
- $V_{antFilt}$: volume de antracito utilizado na construção do leito filtrante do filtro rápido descendente (m³);
- Pu_{ant}: preço unitário do antracito (R$/m³);
- $V_{pedFilt}$: volume de pedregulho utilizado na construção do meio suporte do filtro rápido descendente (m³);

- Pu_{ped}: preço unitário do pedregulho (R$/m³);
- $H'_{ResFilt}$: elevação do reservatório do filtro (m);
- $Q'_{ResFilt}$: vazão do sistema de recalque de água para o reservatório do filtro (m³/h);
- BDI: Benefício e Despesas Indiretas (BDI = 15%);
- CI'_{tt}: curva de custo de investimento da etapa de tratamento (R$);
- Q_R: vazão de esgoto destinada ao reúso (m³/s).

- R^2: coeficiente de determinação.

$$CC_{tt} = CI_{tt} \cdot FRC \quad (R\$ / ano)$$

3.1 Custo de investimento da etapa de tratamento: CI_{tt} (R$)

$$CI_{tt} = (C_{Filt+Res} + Outros\ 30\%) + Csr_{Res\ Filt} \quad (R\$)$$,onde:

3.1.1 Custo de implantação do sistema de filtro rápido descendente com reservatório de água de lavagem: $C_{Filt+Res}$ (R$)

Os custos relativos à implantação do sistema de filtro rápido descendente com reservatório de água de lavagem dizem respeito aos gastos com concreto, para a construção das paredes do filtro e do reservatório, e dos gastos com areia e antracito, para a formação do leito filtrante, e com pedregulho para a camada suporte.

Para cálculo do quantitativo de concreto relativo ao reservatório do filtro foram consideradas paredes de 0,15m de espessura, sendo o mesmo cilíndrico, como mencionado anteriormente. Para o quantitativo de concreto do filtro consideraram-se paredes com espessura de 0,15m, com exceção da laje de fundo, já especificada em 0,1m; supondo suas células com a disposição representada na **Figura 4.4** a seguir.

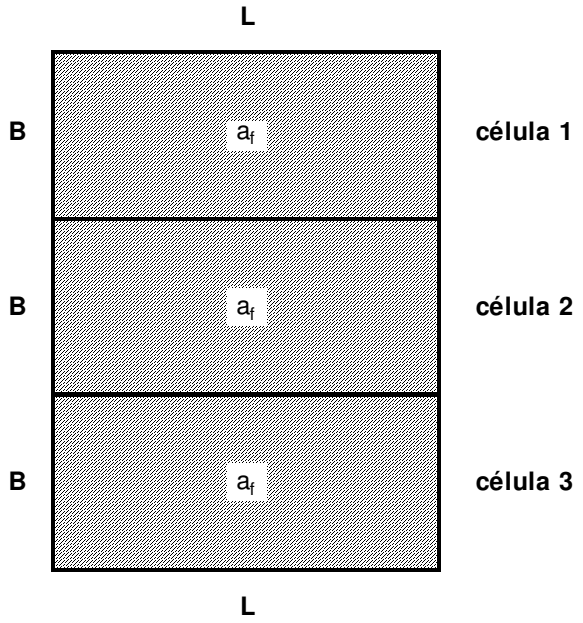


Figura 4.4 Esquemático da disposição das câmaras de um filtro

Para cálculo do quantitativo de areia, antracito e do pedregulho foram utilizadas as dimensões da laje das câmaras e das alturas especificadas para cada um desses materiais.

Com relação aos valores unitários dos materiais empregados (R$/m³), foram utilizados os preços indicados pelos Catálogos de Referência EMOP 2010 (Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro), transcritos na **Tabela 4.5**.

Tabela 4.5 Preços unitários de materiais para a construção de filtro rápido descendente

Material / Serviço	Preço unitário (R$/m³)
Concetro armado para uma resistência de 20 mpa, incluindo materiais para 1m³ de concreto importado da usina, 12m² de área moldada e 80kg de aço CA-50, incluindo mão de obra para corte, dobragem, montagem e colocação nas formas.	R$ 919,50
Areia para meio filtrante	R$ 336,00
Antracito para meio filtrnate (carvão ativado)	R$ 930,00
Pedregulho para meio suporte	R$ 512,00

Fonte: adaptado do Catálogo de Referência EMOP 2010.

Sobre os gastos calculados com matérias para a construção do sistema de filtro, considerou-se ainda a incidência do BDI, *Benefício e Despesas Indiretas*, de 15%. Sendo assim, o calculo do custo de implantação do sistema de filtro rápido descendente com reservatório de água de lavagem pode ser traduzido pela seguinte equação:

$$C_{Filt+\mathrm{Re}s} = 1{,}15 \cdot \begin{bmatrix} \left(V_{con\ Filt+\mathrm{Re}s} \cdot Pu_{con}\right) + \left(V_{areia\ Filt} \cdot Pu_{areia}\right) \\ + \left(V_{ant\ Filt} \cdot Pu_{ant}\right) + \left(V_{ped\ Filt} \cdot Pu_{ped}\right) \end{bmatrix} \quad (R\$)$$

Considerou-se o valor calculado, $C_{Filt+Res}$, com sendo o correspondente a 70 % do custo total, uma vez que também existem os custos de tubulação, projeto, limpeza de terreno e outros, que não foram detalhados nos cálculos empregados, o que explica os outros 30% somados juntos ao $C_{Filt+Res}$ no cálculo do custo de investimento da etapa de tratamento, CI_{tt}.

3.1.2 Custo do sistema de recalque do reservatório do filtro: $Csr_{Res\ Filt}$ (R$)

$$Csr = e^{[3{,}75 + (0{,}806 \cdot Ln(Q'_{\mathrm{Re}s\backslash filt})) + (0{,}083 \cdot (Ln(H'_{\mathrm{Re}s\ Filt}))^2)]} \quad (R\$)$$

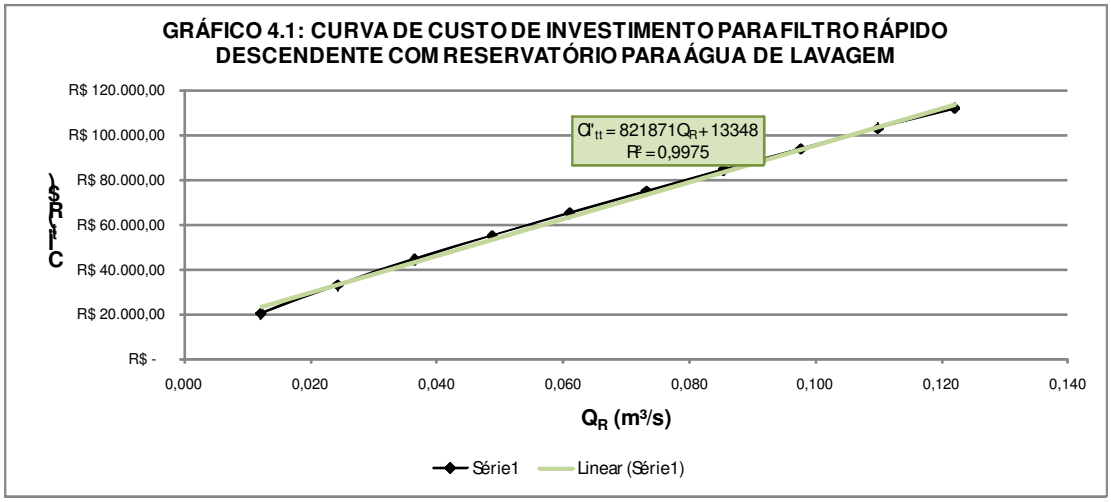
3.1.3 Curva de custo de investimento da etapa de tratamento: CI'_{tt} (R$)

Através dos cálculos detalhados no item anterior o presente estudo determinou uma curva de custo de investimento para um sistema de filtro rápido descendente com reservatório para água de lavagem em função de diferentes vazões de esgoto, **Gráfico 4.1**.

$$\boxed{CI'_{tt} = 821871 \cdot Q_R + 13348} \qquad R^2 = 0{,}9975, \text{ sendo:}$$

Os cálculos foram feitos para vazões de esgoto doméstico gerada por populações entre 10 mil e 100 mil habitantes, uma vez que o alvo desse estudo são as cidades pequenas, com uma média de consumo *per capita* igual a 132 L/hab.dia (média de consumo *per capita* do

Brasil segundo o PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, calculada a partir informações do relatório do SNIS - Sistema nacional de Informações sobre Saneamento, produzido pelo Ministério das Cidades).



3.2 Fator de recuperação de capital da etapa de tratamento: FRC_{tt}

$$FRC_{tt} = \frac{(1+i_{tt})^{n_{tt}} \cdot i_{tt}}{(1+i_{tt})^{n_{tt}} - 1} \text{ , sendo:}$$

A taxa anual de juros considerada **i** foi baseada nos rendimentos oferecidos pela poupança, uma vez que a taxa de juros praticada no mercado é muito variável. Sendo assim:

$$i_{tt} = 12\%$$

Usualmente seria 'n' seria considerado como a vida útil do equipamento do sistema de recalque, adotando-se um valor médio de 15 anos para os equipamentos, tubos, bombas e motor. Entretanto, o presente trabalho, com foco em mostrar a viabilidade econômica do reúso para as Companhias de saneamento, optou por adotar 'n' como o tempo de retorno desejado para os investimentos necessários ao sistema de reúso. Sendo assim:

$$n_{tt} = 1$$

Então, para o valor do FRC_{tt} adotou-se:

$$FRC_{tt} = 1{,}12$$

4. Custos anuais da etapa de tratamento: CA_{tt} (R$/ano)

Dados de entrada:

- $CA_{tt}Filt$: custos anuais do processo de filtração da etapa de tratamento (R$/ano);
- $CA_{tt}Cl$: custos anuais do processo de cloração da etapa de tratamento (R$/ano);
- $CA_{tt}MO$: custos anuais relativos à mão de obra da etapa de tratamento (R$/ano).

$$CA_{tt} = CA_{tt}Filt + CA_{tt}Cl + CA_{tt}MO \quad (R\$/ano)$$

4.1 Custos anuais relativos ao processo de filtração da etapa de tratamento: $CA_{tt}Filt$ (R$/ano)

Dados de entrada:

- Cmr_{tt}: custo de manutenção e reparo relativos ao sistema de filtro rápido descendente com reservatório elevado para água de lavagem (R$/ano);
- Cee_{tt}: custo mensal de energia elétrica para encher o reservatório elevado de água para lavagem do filtro considerando o acréscimo do ICMS (R$/mês);
- Cee'_{tt}: custo mensal de energia elétrica para encher o reservatório elevado de água para lavagem do filtro (R$/mês);
- TBM_{tt}: tempo de bombeamento por mês da etapa de tratamento (h/mês);
- PEE: preço da energia elétrica (R$/kWh);
- $Pi'_{Res\ Filt}$: potência instalada para a bomba do reservatório do filtro (kW);
- $Pi_{Res\ Filt}$: potência instalada para a bomba do reservatório do filtro (CV);
- $P_{Res\ Filt}$: potência calculada com acréscimo para a bomba do reservatório do filtro (CV);

- $P'_{Res\ Filt}$: potência calculada com acréscimo para a bomba do reservatório do filtro (kW);
- a'%: percentual de acréscimo dado à potência calculada para a bomba do reservatório do filtro;
- $Pc_{Res\ Filt}$: Potência calculada para a bomba do reservatório do filtro (CV);
- $Pc'_{Res\ Filt}$: Potência calculada para a bomba do reservatório do filtro (kW);
- □: Gama - peso específico (kg/m³);
- $\eta_{Res\ Filt}$: rendimento do conjunto motor-bomba do reservatório do filtro (%);
- $H'_{ResFilt}$: elevação do reservatório do filtro (m);
- $Q_{ResFilt}$: vazão do sistema de recalque de água para o reservatório do filtro (m³/s);
- $T_{Res\ Filt}$: tempo necessário para encher o reservatório do filtro (seg);
- $V_{Res\ Filt}$: volume do reservatório de água de lavagem para o filtro (m³);
- CA'_{tt}Filt: Curva de custos anuais do processo de filtração com reservatório para água de lavagem da etapa de tratamento.

Para o cálculo do CA_{tt}Filt, foram considerados os gastos relativos ao consumo de energia pelo sistema de filtro rápido descendente com reservatório elevado para água de lavagem, juntamente com os custos de manutenção e reparo do mesmo. As seguintes certezas forma assumidas:

a. Filtro rápido descendente: filtração por gravidade, logo não consome energia;
b. Intervalo entre lavagens (corrida): 48 horas;
c. Número de lavagens por mês: 14;
d. Tempo de lavagem: 10 minutos;
e. Reservatório elevado de água para lavagem, logo não utiliza energia para lavagem, mas faz-se necessário uma bomba para encher o reservatório;
f. A elevação do reservatório do filtro, $H'_{ResFilt}$ será igual a altura do filtro acrescida de 5 metros.
g. **NBR 12216, Item 5.12.10.2:** A vazão do sistema de recalque de água para o reservatório deve ser capaz de enchê-lo em 60 min.

Os custos anuais relativos ao processo de filtração da etapa de tratamento podem ser traduzidos pela seguinte equação:

$$CA_{tt}Filt = (12 \cdot Cee_{tt}) + Cmr_{tt} \quad (R\$/ano)$$, onde:

4.1.1 Custos de manutenção e reparo relativos ao sistema de filtro rápido descendente com reservatório elevado para água de lavagem: Cmr_{tt} (R$/ano)

$$C\,mr_{tt} = \%\ do\ valor\ total\ do\ investimento \quad (R\$/ano)$$

Adotou-se um valor de *6%* do valor total do investimento da etapa de tratamento, $\mathbf{CI_{tt}}$, já calculado anteriormente no custo de capital. Sendo assim:

$$C\,mr_{tt} = 6\%\ CI_{tt} \quad (R\$/ano)$$

4.1.2 Custo mensal de energia elétrica para encher o reservatório elevado de água para lavagem do filtro considerando o acréscimo do ICMS: Cee_{tt} (R$/mês)

$$Cee_{tt} = Cee'_{tt} + [ICMS\ (\%) \cdot Cee'_{tt}] \quad (R\$/mês)$$

Admitiu-se um valor para o ICMS relativo a energia elétrica igual a *19%*, logo:

$$Cee_{tt} = 1{,}19 \cdot Cee'_{tt} \quad (R\$/mês)$$, onde:

4.1.3 Custo mensal de energia elétrica para encher o reservatório elevado de água para lavagem do filtro: Cee'_{tt} (R$/mês)

$$Cee'_{tt} = Pi'_{Res\ Filt} \cdot TBM_{tt} \cdot PEE \quad (R\$/mês)$$, sendo:

- $Pi'_{Res\ Filt}$: potência instalada para a bomba do reservatório do filtro em kW.

$$Pi'_{Res\ Filt} = Pi_{Res\ Filt} \cdot 0{,}745 \quad (kW)$$, onde:

4.1.4 Potência instalada para a bomba do reservatório do filtro: $Pi_{Res\ Filt}$ (CV)

O valor da potência instalada corresponde ao valor da potência do motor elétrico comercial instalado, que deverá ser igual ou imediatamente superior ao valor da potência calculada com acréscimo ($P_{Res\ Filt}$).

$$Pi_{Res\ Filt} \geq P_{Res\ Filt} \quad (CV)$$, onde:

4.1.5 Potência calculada com acréscimo para a bomba do reservatório do filtro: $P_{Res\ Filt}$ (CV)

$$P_{Res\ Filt} = (1 + a'\%) \cdot Pc_{Res\ Filt} \quad (CV)$$, sendo:

- $Pc_{Res\ Filt}$: Potência calculada para a bomba do reservatório do filtro (CV).

Ao valor da potência calculada, foi dado um acréscimo, em função do tipo de motor e do valor da potência calculada, em que os percentuais de acréscimo utilizados foram aqueles da **Tabela 4.6**.

Tabela 4.6 Percentual de acréscimo para potência calculada

P calculada (CV)	Percentual de acréscimo para motores elétricos
< 2	30%
2 a 5	25%
5 a 10	20%
10 a 20	15%
> 20	10%

Fonte: Carvalho *et al*, 2000.

Para potência calculada com acréscimo em kW temos: $P'_{Res\ Filt}$ (kW)

$$P'_{Res\ Filt} = P_{Res\ Filt} \cdot 0{,}745 \quad (kW)$$

4.1.6 Potência calculada para a bomba do reservatório do filtro: $Pc_{Res\ Filt}$ (CV)

$$Pc_{Res\ Filt} = \frac{\gamma \cdot Q_{Res\ Filt} \cdot H'_{Res\ Fil}}{75 \cdot \eta_{Res\ Filt}} \quad (CV)$$, sendo:

- $H'_{ResFilt}$: elevação do reservatório do filtro (m);
- $Q_{Res\ Filt}$: vazão do sistema de recalque de água para o reservatório do filtro (m³/s).

Para potência calculada em kW temos: $Pc'_{Res\ Filt}$ (kW)

$$Pc'_{Res\ Filt} = Pc_{Res\ Filt} \cdot 0{,}745 \quad (kW)$$

4.1.7 Vazão do sistema de recalque de água para o reservatório do filtro: $Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)

$$Q_{Res\ Filt} = \frac{V_{Res\ Fil}}{T_{Res\ Fil}} \quad (m^3/s)$$, sendo:

- $T_{Res\ Filt}$: tempo necessário para encher o reservatório do filtro (seg).

Como mencionado anteriormente, segundo a **NBR 12216, Item 5.12.10.2**, a vazão do sistema de recalque de água para o reservatório deve ser capaz de enchê-lo em 60 min. Sendo assim:

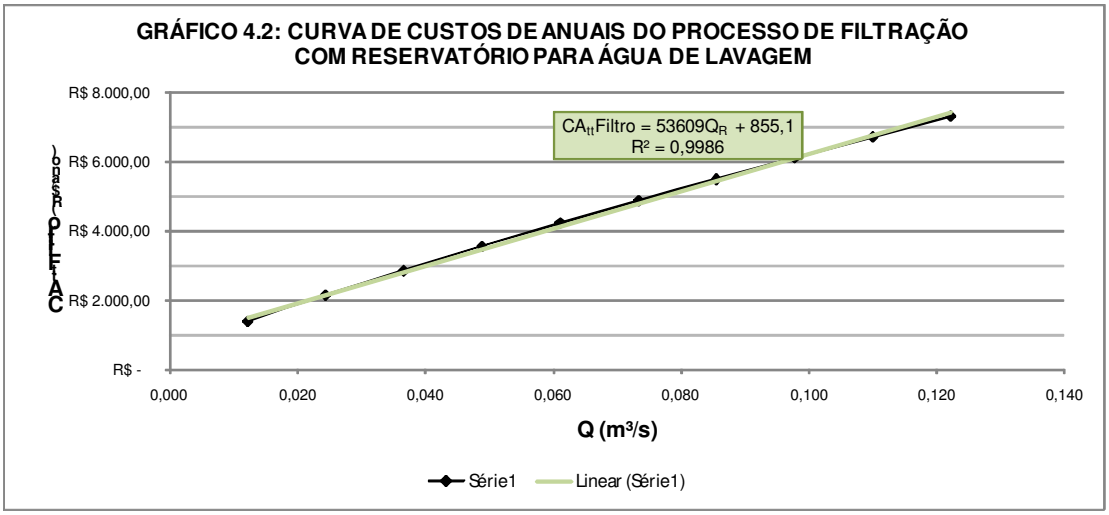
$$Q_{Res\ Filt} = \frac{V_{Res\ Fil}}{3600} \quad (m^3/s)$$

4.1.8 Curva de custos anuais do processo de filtração com reservatório para água de lavagem da etapa de tratamento: CA'$_{tt}$Filt (R$/ano)

Através dos cálculos detalhados no item anterior o presente estudo determinou uma curva de custos anuais relativos ao sistema de filtro rápido descendente com reservatório para água de lavagem em função de diferentes vazões de esgoto, **Gráfico 4.2**.

$$CA'_{tt}\ Filt = 53609 \cdot Q_R + 855{,}1 \qquad R^2 = 0{,}9986$$

Como na curva de custo de investimento da etapa de tratamento, aqui também os cálculos foram feitos para vazões de esgoto doméstico gerada por populações entre 10 mil e 100 mil habitantes, uma vez que o alvo desse estudo são as cidades pequenas, com uma média de consumo *per capita* igual a 132 L/hab.dia (média de consumo *per capita* do Brasil segundo o PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, calculada a partir informações do relatório do SNIS - Sistema nacional de Informações sobre Saneamento, produzido pelo Ministério das Cidades).



4.2 Custos anuais relativos ao processo de cloração da etapa de tratamento: $CA_{tt}Cl$ (R$/ano)

Dados de entrada:

- C_{Cl}: custo mensal de cloro considerando o acréscimo do ICMS (R$/mês);
- C'_{Cl}: custo mensal de cloro (R$/mês);
- $Q_R m$: vazão mensal de esgoto destinada ao reúso (L/mês);
- $Pu_{méd\ Cl}$: preço unitário médio do cloro (R$/kg);
- q_{Cl}: consumo de cloro por mês (kg NaClO/mês);
- d_{Cl}: dosagem de Cloro (kg NaClO/L).

Para o cálculo do $CA_{tt}Cl$, foram considerados os gastos relativos ao consumo de cloro adicionado ao efluente do filtro como medida de desinfecção da água de reúso.

Segundo Jordão (2005), a quantidade necessária de cloro é função do estado do esgoto. Sendo assim, para a análise de consumo de cloro considerou-se a **Tabela 2.7**, apresentada no Capítulo 2, que resume as quantidades sugeridas para as várias possibilidades. Como no caso do Modelo OETAR desenvolvido trata-se da cloração de um efluente de filtros após tratamento secundário, será adotada a pior hipótese indicada pela referida tabela para a análise econômica, ou seja, uma dosagem de 5 mg/L de cloro.

Para o calculo do custo médio do cloro, admitiu-se o custo dos produtos químicos utilizados pela SABESP em 2003 apresentados por Di Bernardo (2008), o que resultou num preço unitário médio igual a 1,24 R$/kg para o cloro líquido em cilindro de 900kg.
Os custos anuais relativos ao processo de cloração da etapa de tratamento podem ser traduzidos pela seguinte equação:

$$CA_{tt}Cl = 12 \cdot C_{Cl} \quad (R\$/ano)$$, onde:

4.2.1 Custo mensal de cloro considerando o acréscimo do ICMS: C_{Cl} (R$/mês)

$$C_{Cl} = C'_{Cl} + [ICMS\ (\%) \cdot C'_{Cl}] \quad (R\$/mês)$$

Admitiu-se um valor para o ICMS igual a 7%, logo:

$$C_{Cl} = 1{,}07 \cdot C'_{Cl} \quad (R\$/mês) \quad \text{, onde:}$$

4.2.2 Custo mensal de cloro: C'_{Cl} (R$/mês)

$$C'_{Cl} = Pu_{méd\ Cl} \cdot q_{Cl} \quad (R\$/mês)\text{, onde:}$$

4.2.3 Consumo mensal de cloro: q_{Cl} (kg NaClO/mês)

$$q_{Cl} = Q_R m \cdot d_{Cl} \quad (R\$/mês)\text{, onde:}$$

- Q_Rm: vazão mensal de esgoto destinada ao reúso (L/mês);

4.3 Custos anuais relativos à mão de obra da etapa de tratamento: $CA_{tt}MO$ (R$/ano)

Dados de entrada:

- C_{MO}: custo mensal de mão de obra da etapa de tratamento (R$/mês);
- N_f: número de funcionários contratados para a operacionalização dos mecanismos implantados para o reúso;
- $Pu_{méd}$ MO: salário médio de um operador de ETA (R$/mês).

Para o cálculo do CA_{tt}MO, levando-se em consideração o efetivo já existente numa Estação de Tratamento de Esgoto, foram computados os gastos relativos a mão de obra adicional

necessária para a operacionalização dos mecanismos implantados para o reúso, ou seja, dos processos de filtração e de cloração.

Para tanto, admitiu-se a contratação de N_f funcionários, divididos entre turno da manhã e turno da noite, com o salário médio de um operador de ETA hoje praticado no mercado de saneamento, aproximadamente 2,4 salários mínimos, acrescido de 100% de encargos.

Os custos anuais relativos à mão de obra da etapa de tratamento podem ser traduzidos pela seguinte equação:

$$CA_{tt}MO = 12 \cdot C_{MO} \quad (R\$/ano)$$, onde:

4.3.1 Custo mensal de mão de obra da etapa de tratamento: C_{MO} (R$/mês)

$$C_{MO} = \left(N_f \cdot Pu_{méd\ MO}\right) \cdot \left(1 + enc\arg os\%\right) \quad (R\$/mês)$$,sendo:

- Encargos = 100%, assim:

$$C_{MO} = 2 \cdot \left(N_f \cdot Pu_{méd\ MO}\right) \quad (R\$/mês)$$

5. Custo total anual da etapa de tratamento: CT_{tt} (R$/ano)

$$CT_{tt} = CA_{tt} + CC_{tt} \quad (R\$/ano)$$

6. Custo por metro cúbico da etapa de tratamento: Cm^3tt (R$/m³)

$$Cm^3{}_{tt} = \frac{CT_{tt}}{Q_R a} \quad (R\$/m^3)$$, sendo:

- $Q_R a$: vazão anual de esgoto destinada ao reúso (m³/ano);

4.2 Etapa de Transporte – Sistema de Adução

A etapa de transporte é composta por um sistema de bombeamento e tubulação de recalque dos esgotos tratados para o reúso até o reservatório de distribuição.

Os algorítmos que compõem os custos de implantação e os custos de operação e manutenção da etapa de transporte (sistema de adução) são, respectivamente, custos de capital (CC_{tp}), para a determinação do qual foram empregadas a curva de custo do sistema de recalque, em função da vazão de entrada para o sistema de reúso dos esgotos, e a curva de custo da tubulação, em função do diâmetro e da extensão do recalque, e custos anuais (CA_{tp}).

A seguir serão descritos os cálculos empregados na construção dos respectivos algorítmos aplicados na etapa de transporte.

7. Diâmetro da tubulação de recalque: D (m)

Dados de entrada:

- Q_R: vazão de esgoto destinada ao reúso (m^3/s).
- D: diâmetro da tubulação de recalque (m);
- D_c: diâmetro comercial adotado para a tubulação de recalque (m);
- k : coeficiente de Bresse:
- A_t: área da sessão da tubulação (m^2);
- v: velocidade de escoamento da água de reúso (m/s).

Segundo a Fórmula de Bresse, o diâmetro econômico das canalizações de recalque (funcionamento contínuo) é determinado por:

$$D = k \cdot \sqrt{Q_R}$$

De um modo geral, *k* varia de 0,7 a 1,5. Por isso, quando se partir de um valor médio de *k*, a solução será aproximada.

Considerando o coeficiente de Bresse $k = 1{,}2$ temos:

$$D = 1{,}2 \cdot \sqrt{Q_R}$$

7.1 Velocidade de escoamento: v (m/s) - Verificação

Pela equação da continuidade: $Q_R = A_t \cdot v$

$$v = \frac{Q_R}{A_t} \quad (m/s) \text{ , onde:}$$

$$A_t = \frac{\pi \cdot D_c^{\,2}}{4} \quad (m^2)$$

Segundo Azevedo Netto *et al.* (1998), para as linhas de recalque a velocidade é estabelecida tendo-se em vista condições econômicas, sendo geralmente superior a 0,80 m/s e, raramente, ultrapassando 2,40 m/s.

8. Altura manométrica total: AMT (m)

Dados de entrada:

- AMT: altura manométrica total (m);
- Hg: desnível geométrico (m):
- Cot_{ETE}: cota de saída da estação de tratamento de esgotos da água de reúso (m);
- Cot_{RES}: cota do reservatório da água de reúso (m);

- H_{RES}: altura do reservatório da água de reúso (m);
- H_g: desnível geométrico (m);
- H_l: perda de carga localizada (m);
- g: aceleração da gravidade (m/s²);
- K: coeficiente de perda de carga localizada, **Tabela 4.7**;
- v: velocidade de escoamento da água de reúso (m/s).
- J: perda de carga unitária (m/m);
- Q_R: vazão de esgoto destinada ao reúso (m³/s).

- D_c: diâmetro comercial adotado para a tubulação de recalque (m);
- *C*: coeficiente da Equação de Hazen-Williams;
- H_t: perdas de carga ao longo da tubulação (m);
- L: extensão da tubulação de recalque (m).

$$AMT = Hg + Hl + Ht$$, onde:

8.1 Desnível geométrico: H_g (m)

$$Hg = \left(Cot_{RES} + H_{RES}\right) - Cot_{ETE}$$

8.2 Perdas de cargas localizadas: H_l (m)

$$H_l = \frac{\left(\sum K\right) \cdot v^2}{2\,g} \quad (m)$$

A **Tabela 4.7** apresenta os valores aproximados de K para as peças e perdas mais comuns na prática. Segundo Azevedo Netto *et al.* (1998), tal tabela foi elaborada com base nos dados disponíveis mais seguros e fidedignos.

Tabela 4.7 Valores aproximados de K (perdas localizadas)

Peça	K	Peça	K
Bocais	2,75	Junção	0,40
Comporta aberta	1,00	Saída de canalização	1,00
Controlador de vazão	2,50	Tê, passagem direta	0,60
Cotovelo de 90°	0,90	Tê, saída de lado	1,30
Cotovelo de 45°	0,40	Tê saída bilateral	1,80
Crivo	0,75	Válvula de ângulo aberta	5,00
Curva de 90°	0,40	Válvula de gaveta aberta	0,20
Curva de 45°	0,20	Válvula borboleta aberta	0,30
Curva de 22,5°	0,10	Válvula-de-pé	1,75
Entrada normal em canalização	0,50	Válvula de retenção	2,50
Entrada de borda	1,00	Válvula de globo aberta	10,00
Existência de pequena derivação	0,03		

Fonte: adaptado de Azevedo Netto *et al.* 1998.

8.3 Perdas de carga ao longo da tubulação: H_t (m)

$$Ht = L \cdot J \quad (m)$$, onde:

8.3.1 Perdas de carga unitária: J (m/m)

Considerando o escoamento segundo conduto forçado, Equação Hazen-Williams:

$$J = \frac{10643 \cdot D_c^{-4,87} \cdot Q_R^{1,85}}{C^{1,85}} \quad (m/m)$$

O coeficiente *C* da Equação de Hazen-Williams é adimensional e depende da natureza (material e estado) das perdas dos tubos, **Tabela 4.8**.

Tabela 4.8 Valor do coeficiente *C* sugerido para a fórmula de Hazen-Williams

Tubos	Novos	Usados ± 10 anos
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	-
Aço gavanizado roscado	125	100
Aço rebitado, novos	110	90
Aço soldado, comum (revestiemneto betuminoso)	125	110
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130
Chumbo	130	120
Cimento-amianto	140	130
Cobre	140	135
Contreto, bom acabamento	130	-
Contcreto, acabamento comum	130	120
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120

Fonte: adaptado de Azevedo Netto *et al* 1998.

9. Potência do conjunto motor bomba:

Dados de entrada:

- Q_R: vazão de esgoto destinada ao reúso (m³/s);
- AMT: altura manométrica total (m);
- □ = Gama - peso específico (kg/m³);
- η - rendimento do conjunto motor-bomba do sistema de recalque (%);
- Pc: potência calculada (CV);
- Pc': potência calculada (kW);
- a%: percentual de acréscimo dado à potência calculada
- P: potência calculada com acréscimo (CV);
- P': potência calculada com acréscimo (kW);
- Pi: potência instalada (CV);

- Pi': potência instalada (kW).

9.1 Potência calculada: Pc (CV)

$$Pc = \frac{\gamma \cdot Q_R \cdot AMT}{75 \cdot \eta} \quad (CV)\text{, sendo:}$$

Para potência calculada em kW temos: Pc' (kW)

$$Pc' = Pc \cdot 0{,}745 \quad (kW)$$

9.2 Potência calculada com acréscimo: P (CV)

$$P = (1 + a\%) \cdot Pc \quad (CV)$$

Ao valor da potência calculada, foi dado um acréscimo, em função do tipo de motor e do valor da potência calculada, em que os percentuais de acréscimo utilizados foram aqueles da **Tabela 4.6**.

Para potência calculada com acréscimo em kW temos: P' (kW)

$$P' = P \cdot 0{,}745 \quad (kW)$$

9.3 Potência instalada: Pi (CV)

O valor da potência instalada corresponde ao valor da potência do motor elétrico comercial instalado, que deverá ser igual ou imediatamente superior ao valor da potência calculada com acréscimo **P**.

Custos da etapa de transporte

10. Custos de Capital da etapa de transporte: CC_{tp} (R$/ano)

Dados de entrada:

- $Q_R h$: vazão horária de esgoto destinada ao reúso (m³/h);
- AMT: altura manométrica total (m);
- D_c': diâmetro comercial adotado para a tubulação de recalque (pol);
- L: extensão da tubulação de recalque (m);
- FRC_{tp}: fator de recuperação de capital da etapa de transporte;
- i_{tp}: taxa de juros anual da etapa de transporte (%);
- n_{tp}: tempo de retorno desejado para os investimentos necessários ao sistema de reúso da etapa de transporte (anos).

$$CC_{tp} = CI_{tp} \cdot FRC \quad (R\$/ano)$$, onde:

10.1 Custo de investimento da etapa de transporte: CI_{tp} (R$)

$$CI_{tp} = Csr + Ct \quad (R\$)$$, onde:

10.1.1 Custo do sistema de recalque da etapa de transporte: Csr (R$)

$$Csr = e^{[3,75 + (0,806 \cdot Ln(Q_R h)) + (0,083 \cdot (Ln(AMT))^2)]} \quad (R\$)$$, sendo:

10.1.2 Custo da tubulação com a ligação de pressão: Ct (R$)

$$Ct = e^{[3,7 + (1,496 \cdot Ln(D_c')) + (0,066 \cdot (Ln(L))^2)]} \quad (R\$)$$, sendo:

10.2 Fator de recuperação de capital da etapa de transporte: FRC_{tp}

$$FRC_{tp} = \frac{(1+i_{tp})^{n_{tp}} \cdot i_{tp}}{(1+i_{tp})^{n_{tp}} - 1}$$

Como anteriormente, a taxa anual de juros considerada **i** foi baseada nos rendimentos oferecidos pela poupança. Sendo assim:

$$i_{tp} = 12\%$$

- n: tempo de retorno desejado para os investimentos necessários ao sistema de reúso (anos).

Aqui também vale a observação feita anteriormente na demonstração do cálculo do FRC na Etapa de Tratamento. Sendo assim:

$$n_{tp} = 1$$

Como foram utilizados os mesmos valores de **i** e de **n**, ambas as etapas, de Tratamento e de Transporte, assim como a etapa a seguir, de Reservação, contarão com o mesmo valor para o FRC. Então, aqui também para o valor do FRC_{tp} adotou-se:

$$FRC_{tp} = 1{,}12$$

11. Custos Anuais da etapa de transporte: CAtp (R$/ano)

Dados de entrada:

- Pi: potência instalada (CV);
- Pi': potência instalada (kW);
- TBM_{tp}: tempo de bombeamento por mês da etapa de transporte (h/mês);
- PEE: preço da energia elétrica (R$/kWh);
- fp: fator de potência exigido pela concessionária de energia elétrica.

$$CA_{tp} = (12 \cdot Cee_{tp}) + Cmr_{tp} \quad (R\$ / ano)$$, onde:

11.1 Custo mensal de energia elétrica considerando o acréscimo do ICMS da etapa de transporte: Cee_{tp} (R$/mês)

$$Cee_{tp} = Cee'_{tp} + [\ ICMS\ (\%) \cdot Cee'_{tp}\ ] \quad (R\$ / mês)$$, sesndo:

- Cee'_{tp}: custo mensal de energia elétrica relativo ao sistema de adução (R$/mês), calculada em função da potência instalada **Pi'**, ou seja, será dado por Cee_{tp} (Pi'<75kW) ou por Cee_{tp} (Pi'>75kW).

Admitiu-se um valor para o ICMS sobre a energia elétrica igual a *19%*, logo:

$$Cee_{tp} = 1{,}19 \cdot Cee'_{tp} \quad (R\$ / mês)$$

11.2 Custo mensal de energia elétrica para motores elétricos com potência instalada menor que 75kW, segundo CEMIG: Cee'_{tp} (P<75kW) (R$/mês)

$$Cee'_{tp}\ (P < 75kW) = Pi'(kW) \cdot TBM_{tp} \cdot PEE \quad (R\$ / mês)$$, sendo:

11.3 Custo mensal de energia elétrica para motores elétricos com potência instalada maior que 75kW, segundo CEMIG: Cee'tp (P>75kW) (R$/mês)

$$Cee'_{tp}\ (P > 75kW) = Cee'_{tp}\ (P > 75kW) + Demanda$$, onde:

$$Demanda = \frac{[Pi\ (cv) \cdot \Pr eço / Demanda\ (R\$ / cv)]}{fp}$$

Para o fator de potência, ***fp***, exigido pela concessionária de energia elétrica foram consultados os dados da CEMIG:

$$fp = 0{,}92$$

11.4 Custos de manutenção e reparo relativos ao sistema de adução, conjunto motor bomba, da etapa de transporte: Cmr_{tp} (R$/ano)

$$C\,mr_{tp} = \%\ do\ valor\ total\ do\ investimento \quad (R\$ / ano)$$

Adotou-se um valor de *6%* do valor total do investimento da etapa de transporte, $\mathbf{CI_{tp}}$, já calculado anteriormente no custo de capital. Sendo assim:

$$C\,mr_{tp} = 6\%\ CI_{tp} \quad (R\$ / ano)$$

12. Custo total anual da etapa de transporte: CT_{tp} (R$/ano)

$$CT_{tp} = CA_{tp} + CC_{tp} \quad (R\$ / ano)$$

13. Custo por metro cúbico da etapa de transporte: Cm^3_{tp} (R$/m³)

$$Cm^3{}_{tp} = \frac{CT_{tp}}{Q_R a} \quad (R\$ / m^3)$$

, sendo:

- $Q_R a$: vazão anual de esgoto destinada ao reúso (m³/ano).

4.3 Etapa de Reservação

A etapa de reservação é composta unicamente por um reservatório dos esgotos tratados para o reúso. Como a operação em uma estação de tratamento de esgotos é algo contínuo, considerou-se para fins de cálculo do reservatório apenas o dimensionamento segundo a adução contínua.

Os algorítmos que compõem os custos de implantação e os custos de operação e manutenção da etapa de reservação são, respectivamente, custos de capital (CC_{Res}) e custos anuais (CA_{Res}).

A seguir serão descritos os cálculos empregados na construção dos respectivos algorítmos aplicados na etapa de reservação.

14. Volume do reservatório: V_{Res} (m³)

Dados de entrada:

- Q_R: vazão de esgoto destinada ao reúso (m³/s);
- V_{Res}: volume do reservatório (m³);
- V_Rd: volume médio diário aduzido para reúso (m³);
- Q_{RU}: vazão média de efluentes para reúso urbano (m³/s);
- Q_{RA}: vazão média de efluentes para reúso agrícola (m³/s);
- Q_{RI}: vazão média de efluentes para reúso industrial (m³/s).

O volume do Reservatório foi calculado considerando-se os volumes empregados nos diversos usos propostos para a água de reúso. Sendo assim, o volume de descarte não será considerado no calculo do volume do reservatório.

O Volume do Reservatório será igual ao volume médio diário calculado para os diferentes tipos de reúso, ou seja:

$$V_{RES} = V_R d \quad (m^3) \text{ , onde:}$$

14.1 Volume diário aduzido para o reúso: $V_R d$ (m³)

$$V_R d = Q_R \cdot 86400 \quad (m^3) \text{ , onde:}$$

14.1.1 Vazão de reúso: Q_R (m³/s)

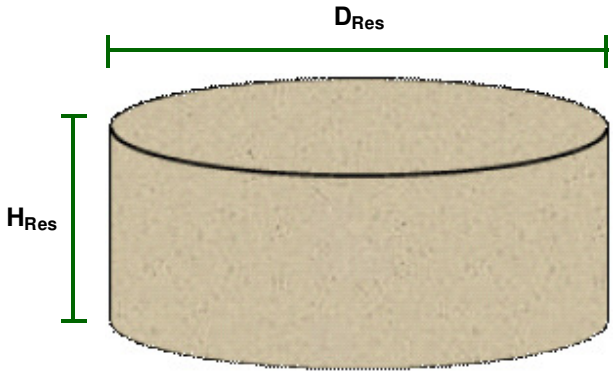
$$Q_R = Q_{RU} + Q_{RA} + Q_{RI} \quad (m^3/s)$$

15. Dimensões do reservatório: H_{Res} (m) e D_{Res} (m)

Dados de entrada:

- H_{Res}: altura do reservatório de água de reúso (m);
- D_{Res}: diâmetro do reservatório de água de reúso (m).

Assumiu-se que o reservatório de água de reúso será cilíndrico, com paredes de 0,15m de espessura e que seu diâmetro será igual a duas vezes a sua altura (**Figura 4.5**).



$$D_{Res} = 2\ H_{Res}$$

Figura 4.5 Esquemático das dimensões do reservatório de água de reúso

Custos da etapa de reservação

16. Custos de capital da etapa de reservação: CC_{Res} (R$/ano)

Dados de entrada:

- $V_{con\ Res}$: volume de concreto utilizado na construção do reservatório de água de reúso (m³);
- Pu_{con}: preço unitário do concreto (R$/m³);
- FRC_{Res}: Fator de recuperação de capital da etapa de reservação;
- i_{Res}: taxa anual de juros anual da etapa de reservação (%);
- n_{Res}: tempo de retorno desejado para os investimentos necessários ao sistema de reúso da etapa de reservação (anos).
- CI'_{Res}: Curva de custo de investimento da etapa de reservação (R$).

$$CC_{Res} = CI_{Res} \cdot FRC \quad (R\$/ano)$$, onde:

16.1 Custo de investimento da etapa de reservação: CI_{Res} (R$)

$$CI_{\mathrm{Re}s} = C_{\mathrm{Re}s} + Outros\ 30\% \quad (R\$)$$,onde:

16.1.1 Custo de implantação do reservatório do sistema de reúso: C_{Res} (R$)

Os custos relativos à implantação do reservatório de água de reúso dizem respeito aos gastos com concreto, para a construção das paredes do reservatório.

Para cálculo do quantitativo de concreto relativo ao reservatório de água de reúso foram consideradas paredes de 0,15m de espessura, sendo o mesmo cilíndrico, como mencionado anteriormente.

Com relação aos valores unitários dos materiais empregados (R$/m³), aqui também foram utilizados os preços indicados pelos Catálogos de Referência EMOP 2010 (Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro), transcritos na **Tabela 4.5**.

Sobre os gastos calculados com matérias para a construção do reservatório, considerou-se ainda a incidência do BDI, *Benefício e Despesas Indiretas*, de 15%. Sendo assim, o calculo do custo de implantação do reservatório de água de reúso pode ser traduzido pela seguinte equação:

$$C_{\mathrm{Re}s} = 1{,}15 \cdot \left(V_{con\,\mathrm{Re}s} \cdot Pu_{con}\right) \quad (R\$)$$, sendo:

16.2 Fator de recuperação de capital da etapa de reservação: FRC_{Res}

$$FRC_{\mathrm{Re}s} = \frac{(1 + i_{\mathrm{Re}s})^{n_{\mathrm{Re}s}} \cdot i_{\mathrm{Re}s}}{(1 + i_{\mathrm{Re}s})^{n_{\mathrm{Re}s}} - 1}$$

Mais uma vez, a taxa anual de juros **i** considerada foi baseada nos rendimentos oferecidos pela poupança. Sendo assim:

$$i_{\mathrm{Re}s} = 12\%$$

Como dito anteriormente, aqui também vale a observação feita nas demonstrações do cálculo do FRC nas Etapas de Tratamento e de Transporte. Sendo assim:

$$n_{\mathrm{Re}s} = 1$$

Então, para o valor do FRC_{Res} tente-se:

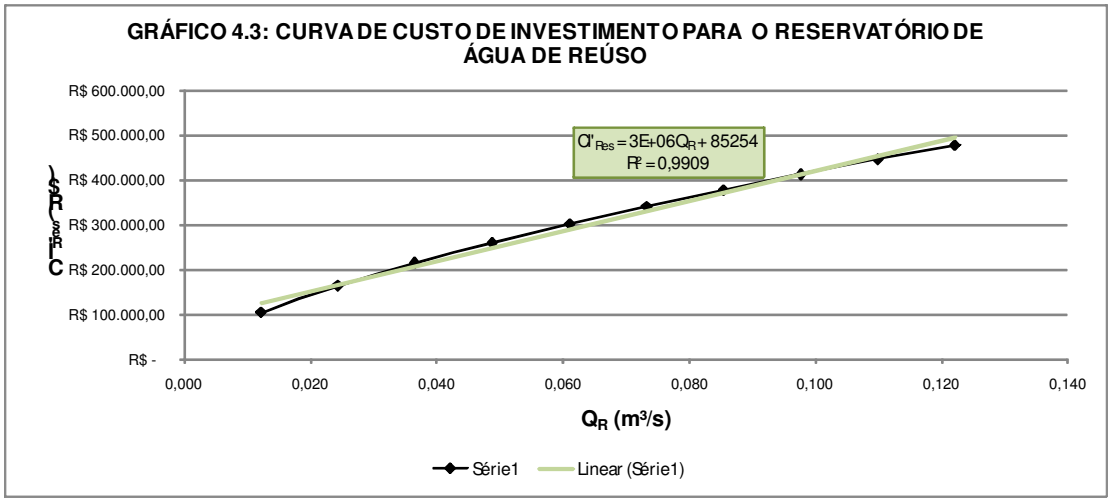
$$FRC_{\mathrm{Re}s} = 1{,}12$$

16.3 Curva de custo de investimento da etapa de reservação: CI'_{Res} (R$)

Através dos cálculos detalhados no item anterior o presente estudo determinou uma curva de custo de investimento para o reservatório de água de reúso em função de diferentes vazões de esgoto, **Gráfico 4.3**.

$$\boxed{CI'_{\mathrm{Re}s} = 3E + 06Q_R + 85254}$$ $R^2 = 0{,}9909$, sendo:

Como nas curvas anteriormente traçadas da etapa de tratamento, aqui também os cálculos foram feitos para vazões de esgoto doméstico gerada por populações entre 10 mil e 100 mil habitantes, uma vez que o alvo desse estudo são as cidades pequenas, com uma média de consumo *per capita* igual a 132 L/hab.dia (média de consumo *per capita* do Brasil segundo o PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, calculada a partir informações do relatório do SNIS - Sistema nacional de Informações sobre Saneamento, produzido pelo Ministério das Cidades).



17. Custos anuais etapa de reservação: CA_{Res} (R$/ano)

$$CA_{Res} = Cmr_{Res} \quad (R\$/ano)$$, onde:

17.1 Custo de manutenção e reparo etapa de reservação: Cmr_{Res} (R$/ano)

$$C\,mr_{Res} = \%\ do\ valor\ total\ do\ investimento \quad (R\$/ano)$$

Adotou-se um valor de *6%* do valor total do investimento da etapa de reservação, **CI_{Res}**, já calculado anteriormente no custo de capital. Sendo assim:

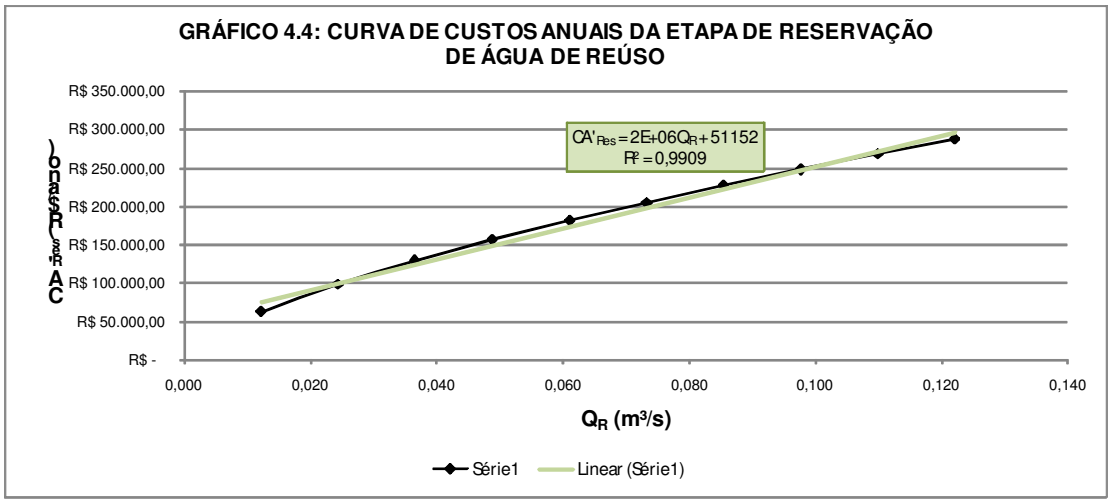
$$C\,mr_{Res} = 6\%\ CI_{Res} \quad (R\$/ano)$$

17.2 Curva de custos anuais da etapa de reservação: CA'_{Res} (R$)

Através dos cálculos detalhados no item anterior o presente estudo determinou uma curva de custo de investimento para o reservatório de água de reúso em função de diferentes vazões de esgoto, **Gráfico 4.4**.

$$CA'_{Res} = 2E + 06Q_R + 51152$$ $R^2 = 0{,}9909$, sendo:

Mais uma vez os cálculos foram feitos para vazões de esgoto doméstico gerada por populações entre 10 mil e 100 mil habitantes, uma vez que o alvo desse estudo são as cidades pequenas, com uma média de consumo *per capita* igual a 132 L/hab.dia (média de consumo *per capita* do Brasil segundo o PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, calculada a partir informações do relatório do SNIS - Sistema nacional de Informações sobre Saneamento, produzido pelo Ministério das Cidades).



18. Custo total anual da etapa de reservação: CT_{Res} (R$/ano)

$$CT_{Res} = CA_{Res} + CC_{Res} \quad (R\$/ano)$$

19. Custo por metro cúbico da etapa de reservação: Cm^3_{Res} (R$/m³)

$$Cm^3_{Res} = \frac{CT_{Res}}{Qa_R} \quad (R\$/m^3)$$

4.4 Custo Total do Sistema de Reúso da Água

Após calcular os custos das três etapas envolvidas no sistema de reúso, tratamento, transporte e reservação, pode-se calcular o custo total do reúso.

Os algorítmos que compõem os custos de implantação e os custos de operação e manutenção do sistema de reúso são, respectivamente, custos de capital (CC_R) e custos anuais (CA_R). A partir desses algorítmos pode-se chegar ao custo do metro cúbico da água de reúso (Cm^3_R) num sistema como o proposto no presente trabalho.

Como será demonstrado, os custos de capital (CC_R) e custos anuais (CA_R) do sistema de reúso foram calculados a partir do somatório de seus respectivos algorítmos nas etapas de tratamento, transporte e reservação descritos anteriormente.

20. Custos de capital do sistema de reúso: CC_R (R$/ano)

$$CC_R = CC_{tt} + CC_{tt} + CC_{Res} \quad (R\$/ano)$$

21. Custos anuais do sistema de reúso: CA_R (R$/ano)

$$CA_R = CA_{tt} + CA_{tt} + CA_{\mathrm{Re}\,s} \quad (R\$/ano)$$

22. Custo total anual do sistema de reúso: CT_R (R$/ano)

$$CT_R = CA_R + CC_R \quad (R\$/ano)$$

23. Custo por metro cúbico da água de reúso: Cm^3_R (R$/m³)

Capítulo 5

Aplicação do Modelo OETAR

5. Aplicação do Modelo OETAR

Primeiramente, deve-se destacar que para a aplicação do Modelo OETAR, os dados de entrada foram preenchidos com valores numéricos hipotéticos, de forma a reproduzir condições reais de situações extremas da prática do reúso da água. Com isso objetivou-se não somente demonstrar o funcionamento da seqüência de cálculo do Modelo, que dá base à avaliação de viabilidade econômica para auxílio à decisão quanto ao uso dos esgotos tratados, como também demonstrar que tal viabilidade é real.

O Modelo OETAR foi criado de modo que o usuário preencha os próprios valores e, caso necessário, modifique ou adapte a Planilha Excel do Modelo, bem como possa inserir outros condicionantes que sejam importantes para avaliação de sua situação real.

Para comparar os resultados da aplicação do Modelo OETAR à realidade do abastecimento de água potável por um sistema público convencional foram utilizadas as tarifas praticadas pela Concessionária Águas de Niterói desde dezembro de 2009, apresentadas na **Tabela 5.1** a seguir.

Tabela 5.1 Tarifas praticadas pela Concessionária Águas de Niterói

Categoria	Faixa	Água (R$/m³)	Esgoto	Custo Total do m³ na Faixa
Público (Urbano)	De 0 a 15 m³	R$ 2,24	100%	R$ 4,48
	Acima de 15 m³	R$ 5,12	100%	**R$ 10,25**
Comercial (Agrícola)	De 0 a 10 m³	R$ 5,44	100%	R$ 10,89
	De 11 a 20 m³	R$ 5,92	100%	**R$ 11,85**
	De 21 a 30 m³	R$ 9,93	100%	R$ 19,85
	Acima de 30 m³	R$ 10,57	100%	R$ 21,13
Industrial	De 0 a 20 m³	R$ 7,52	100%	**R$ 15,05**
	De 21 a 30 m³	R$ 7,52	100%	R$ 15,05
	De 31 a 130 m³	R$ 8,96	100%	R$ 17,93
	Acima de 130 m³	R$ 9,77	100%	R$ 19,53

Fonte: Coordenação de faturamento da Concessionária Águas de Niterói.

A **Tabela 5.1** foi analisada para a escolha de um valor médio representativo para o metro cúbico da água potável. Para tanto, procurou-se enquadrar todas as categorias de uso numa mesma faixa de consumo e ao mesmo tempo admitir um cenário mais favorável ao uso da água potável, de forma a não beneficiar a utilização da água de reúso e mesmo assim, demonstrar sua viabilidade. Deste modo, adotou-se o seguinte valor para a água potável:

$$Cm^3 \ \ Água\ Potável = R\$\ 10{,}25\ /\ m^3$$

Vale ressaltar que as tarifas praticadas por todas as concessionárias de água são relativas não só a água consumida, mas também ao esgoto coletado, o que não ocorre com a água de reúso. O valor determinado para o metro cúbico da água potável será utilizado como limite para o custo da água de reúso, acima do qual a prática do uso do esgoto tradado deixa de ser economicamente interessante, tanto para os consumidores, como para as concessionárias de água e esgoto.

Buscando consolidar as vantagens da utilização de um sistema de recalque para a prática do reúso, também foram comparados os resultados da aplicação do Modelo OETAR à alternativa do fornecimento de água de reúso por caminhão pipa. Para tanto foi determinado de um valor médio representativo calculado a partir dos custos específicos desse tipo de transporte praticados no mercado, **Tabela 5.2**, a saber:

$$Cm^3{}_R\ Ca\min hão = R\$\ 0{,}54\ /\ m^3 \cdot km$$

Tabela 5.2 - Custos específicos de transporte de água de reúso

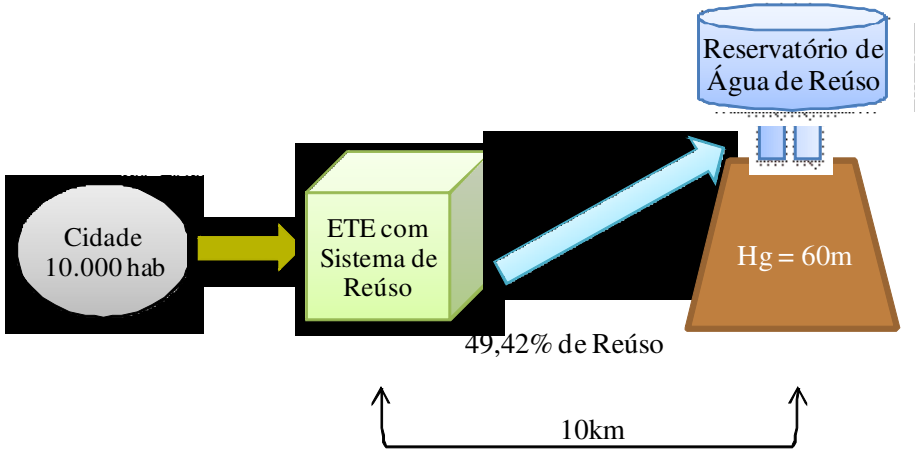
ETE	Distância (km)	R$/m³.km
ABC	51,50	0,62
Barueri	33,00	0,80
PNM	34,40	0,36
São Miguel	52,70	0,39
Suzano	69,70	0,67
Média		**0,57**
Média, excluído Baruerí		**0,51**

Fonte: pesquisa de mercado, 2009.

5.1 Cenário 1

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO	
Nome da Cidade	Cenário 1

ETE	ETE 1
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	10.000
Vazão Abasteciento (L/s)	12,22
Vazão de esgoto gerado (L/s)	9,78
Vazão$_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	9,78
Desnível geométrico (m)	60,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	2,429
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	1,616
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	0,787
Vazão Total de Reúso (L/s)	4,832
% de Reúso	49,42%
% Reúso no consumo total	39,54%
Vazão de Descarte (L/s)	4,944



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 1

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	4,83
Q_R (m³/s)	0,00483
Q_Rd (m³/d)	417

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	1,16
N	4
a_f (m²)	0,29
B (m)	0,43
L (m)	0,68
□- Tub Lavagem (mm)	39
H_1	0,29
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,34
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	2,62
$H_{Res\ Filt}$ (m)	0,94
$D_{Res\ Filt}$ (m)	1,88
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,00073
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	2,62
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,34

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	4,72	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	1,25	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 7.638,58
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 10.912,25
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	0,29	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 139,66
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	CI_{tt} (R$)	R$ 11.051,91
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	0,81	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	0,58	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 12.378,14

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	0,121
Acréscimo	30%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	0,157
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	1
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	0,75
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 10,73
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 12,77
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 663,11
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 816,31

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	12.523.529,67
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	62,62
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 80,78
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 86,43
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 1.037,17

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40
CA_{tt} (R$/ano)	R$ 60.835,88

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 73.214,03	152.369,61	R$ 0,48

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE	-	Cenário 1

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	4,83
Q_R (m³/s)	0,00483
$Q_R h$ (m³/h)	17,39

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,1
D_c' (pol)	3,94
v (m/s)	0,62
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (□)	0,005
Cota Res. (m)	50,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	60,00
	3,10
H_l	0,06
J (m/m)	0,00584
Ht (m)	58,4
AMT (m)	118,42

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	10,17
Pc' (kW)	7,58
Acréscimo	15%
P (CV)	11,70
P' (kW)	8,71
Pi (CV)	12,00
Pi' (kW)	8,94

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 2.816,02
Ct (R$/ano)	R$ 84.776,57
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 87.592,60
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 98.103,71

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 514,94
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	4,66
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 519,61
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 514,94
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 612,78
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 5.255,56
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 12.608,96

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 110.712,66	152.369,61	R$ 0,73

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 1

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	4,83
Q_R (m³/s)	0,00483
$V_R d$ (m³)	417,45

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m³)	417,45
H_{Res} (m)	5
D_{Res} (m)	10

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m³)	36,81
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 38.920,25
CI_{Res} (R$)	R$ 55.600,36
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 62.272,40

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 33.360,22
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 33.360,22

CT_{Res} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 95.632,62	152.369,61	R$ 0,63

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 1

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	2,429
Q'_{RA} (L/s)	1,616
Q'_{RI} (L/s)	0,787
Q'_{R} (L/s)	4,83
Q_R (m³/s)	0,00483

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	10.000,00
% de Reúso	49,42%
L (m)	10.000
Hg	60,00
AMT (m)	118,42

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 12.378,14	R$ 60.835,88	R$ 73.214,03	152.369,61	R$ 0,48

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 98.103,71	R$ 12.608,96	R$ 110.712,66	152.369,61	R$ 0,73

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 62.272,40	R$ 33.360,22	R$ 95.632,62	152.369,61	R$ 0,63

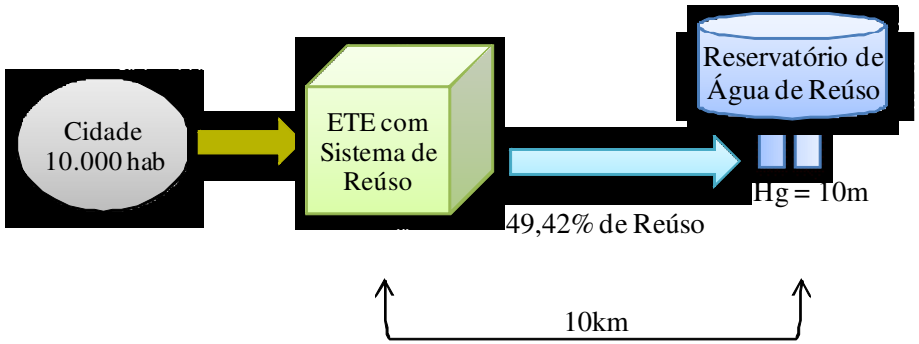
CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_R (R$/ano)	CA_R (R$/ano)	CT_R (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_R (R$/m³)
R$ 172.754,25	R$ 106.805,06	R$ 279.559,31	152.369,61	R$ 1,83

5.2 Cenário 2

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO

Nome da Cidade	Cenário 2

ETE	ETE 2
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	10.000
Vazão Abasteciento (L/s)	12,22
Vazão de esgoto gerado (L/s)	9,78
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	9,78
Desnível geométrico (m)	10,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	2,429
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	1,616
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	0,787
Vazão Total de Reúso (L/s)	4,832
% de Reúso	49,42%
% Reúso no consumo total	39,54%
Vazão de Descarte (L/s)	4,944



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO - Cenário 2

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	4,83
Q_R (m^3/s)	0,00483
Q_Rd (m^3/d)	417

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m^3/m^2.dia)	360
Tx Lav (m^3/m^2.dia)	1.300
Área (m^2)	1,16
N	4
a_f (m^2)	0,29
B (m)	0,43
L (m)	0,68
η - Tub Lavagem (mm)	39
H_1	0,29
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,34
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m^3)	2,62
$H_{Res\ Filt}$ (m)	0,94
$D_{Res\ Filt}$ (m)	1,88
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m^3/s)	0,00073
$Q'_{Res\ Filt}$ (m^3/h)	2,62
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,34

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m^3)	4,72	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m^3)	1,25	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 7.638,58
Pu_{con} (R$/$m^3$)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 10.912,25
$V_{areia\ Filt}$ (m^3)	0,29	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 139,66
Pu_{Areia} (R$/$m^3$)	R$ 336,00	CI_{tt} (R$)	R$ 11.051,91
$V_{ant\ Filt}$ (m^3)	0,81	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/$m^3$)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m^3)	0,58	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/$m^3$)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 12.378,14

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	0,121
Acréscimo	30%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	0,157
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	1
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	0,75
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 10,73
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 12,77
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 663,11
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 816,31

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	12.523.529,67
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	62,62
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 80,78
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 86,43
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 1.037,17

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40
CA_{tt} (R$/ano)	R$ 60.835,88

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 73.214,03	152.369,61	R$ 0,48

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE - Cenário 2

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	4,83
Q_R (m³/s)	0,00483
$Q_R h$ (m³/h)	17,39

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,1
D_c' (pol)	3,94
v (m/s)	0,62
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (η)	0,000
Cota Res. (m)	0,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	10,00
	3,10
H_l	0,06
J (m/m)	0,00584
Ht (m)	58,4
AMT (m)	68,42

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	5,88
Pc' (kW)	4,38
Acréscimo	20%
P (CV)	7,05
P' (kW)	5,25
Pi (CV)	10,00
Pi' (kW)	7,45

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 1.869,38
Ct (R$/ano)	R$ 84.776,57
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 86.645,95
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 97.043,46

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 429,12
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	3,89
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 433,01
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 429,12
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 510,65
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 5.198,76
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 11.326,59

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 108.370,05	152.369,61	R$ 0,71

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 2

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	4,83
Q_R (m³/s)	0,00483
$V_R d$ (m³)	417,45

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m³)	417,45
H_{Res} (m)	5
D_{Res} (m)	10

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m³)	36,81
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 38.920,25
CI_{Res} (R$)	R$ 55.600,36
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 62.272,40

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 33.360,22
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 33.360,22

CT_{Res} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 95.632,62	152.369,61	R$ 0,63

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 2

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	2,429
Q'_{RA} (L/s)	1,616
Q'_{RI} (L/s)	0,787
Q'_{R} (L/s)	4,83
Q_R (m³/s)	0,00483

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	10.000,00
% de Reúso	49,42%
L (m)	10.000
Hg	10,00
AMT (m)	68,42

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 12.378,14	R$ 60.835,88	R$ 73.214,03	152.369,61	R$ 0,48

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 97.043,46	R$ 11.326,59	R$ 108.370,05	152.369,61	R$ 0,71

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 62.272,40	R$ 33.360,22	R$ 95.632,62	152.369,61	R$ 0,63

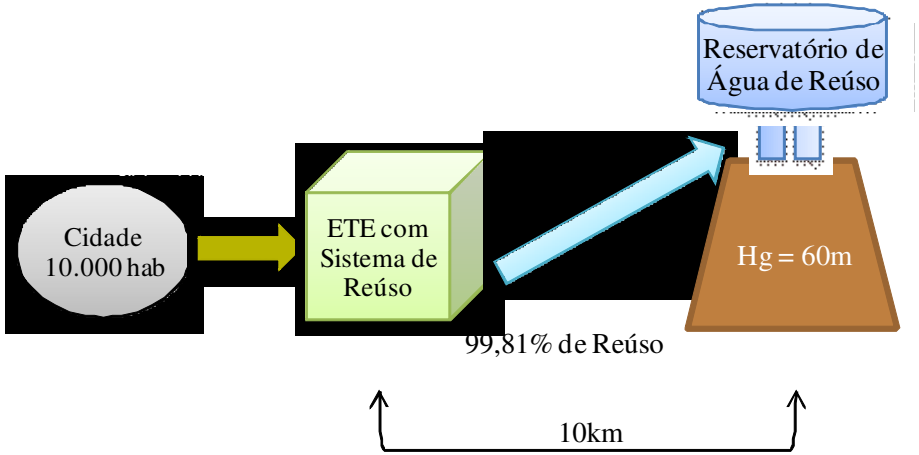
CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_R (R$/ano)	CA_R (R$/ano)	CT_R (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_R (R$/m³)
R$ 171.694,01	R$ 105.522,69	R$ 277.216,70	152.369,61	R$ 1,82

5.3 Cenário 3

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO

Nome da Cidade	Cenário 3

ETE	ETE 3
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	10.000
Vazão Abasteciento (L/s)	12,22
Vazão de esgoto gerado (L/s)	9,78
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	9,78
Desnível geométrico (m)	60,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	4,965
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	1,963
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	2,830
Vazão Total de Reúso (L/s)	9,758
% de Reúso	99,81%
% Reúso no consumo total	79,85%
Vazão de Descarte (L/s)	0,018



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 3

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	9,76
Q_R (m³/s)	0,00976
Q_Rd (m³/d)	843

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	2,34
N	4
a_f (m²)	0,59
B (m)	0,60
L (m)	0,97
□- Tub Lavagem (mm)	55
H_1	0,31
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,36
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	5,29
$H_{Res\ Filt}$ (m)	1,19
$D_{Res\ Filt}$ (m)	2,38
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,00147
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	5,29
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,36

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	6,91	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	2,00	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 12.088,68
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 17.269,54
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	0,59	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 246,25
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	CI_{tt} (R$)	R$ 17.515,79
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	1,64	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	1,17	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 19.617,69

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	0,244
Acréscimo	30%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	0,317
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	1
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	0,75
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 10,73
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 12,77
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 1.050,95
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 1.204,14

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	25.292.438,83
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	126,46
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 163,14
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 174,56
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 2.094,67

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40

CA_{tt} (R$/ano)	R$ 62.281,21

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 81.898,90	307.724,67	R$ 0,27

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE	-	Cenário 3

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	9,76
Q_R (m³/s)	0,00976
$Q_R h$ (m³/h)	35,13

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,15
D_c' (pol)	5,91
v (m/s)	0,55
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (□)	0,005
Cota Res. (m)	50,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	60,00
	3,10
H_l	0,05
J (m/m)	0,00297
Ht (m)	29,7
AMT (m)	89,79

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	15,58
Pc' (kW)	11,60
Acréscimo	15%
P (CV)	17,91
P' (kW)	13,34
Pi (CV)	20,00
Pi' (kW)	14,90

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 4.009,97
Ct (R$/ano)	R$ 155.482,34
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 159.492,32
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 178.631,39

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 858,24
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	7,77
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 866,01
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 858,24
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 1.021,31
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 9.569,54
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 21.825,21

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 200.456,60	307.724,67	R$ 0,65

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 3

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	9,76
Q_R (m³/s)	0,00976
$V_R d$ (m³)	843,08

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m³)	843,08
H_{Res} (m)	6
D_{Res} (m)	13

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m³)	58,81
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 62.184,90
CI_{Res} (R$)	R$ 88.835,57
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 99.495,84

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 53.301,34
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 53.301,34

CT_{Res} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 152.797,18	307.724,67	R$ 0,50

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 3

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	4,965
Q'_{RA} (L/s)	1,963
Q'_{RI} (L/s)	2,830
Q'_{R} (L/s)	9,76
Q_R (m³/s)	0,00976

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	10.000,00
% de Reúso	99,81%
L (m)	10.000
Hg	60,00
AMT (m)	89,79

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 19.617,69	R$ 62.281,21	R$ 81.898,90	307.724,67	R$ 0,27

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 178.631,39	R$ 21.825,21	R$ 200.456,60	307.724,67	R$ 0,65

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 99.495,84	R$ 53.301,34	R$ 152.797,18	307.724,67	R$ 0,50

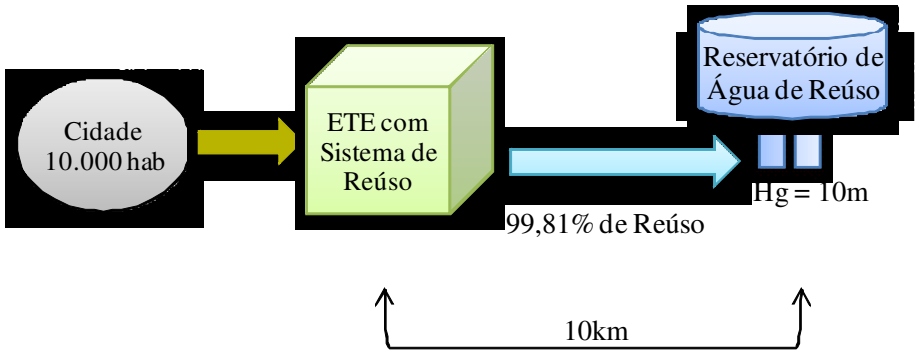
CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_R (R$/ano)	CA_R (R$/ano)	CT_R (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_R (R$/m³)
R$ 297.744,92	R$ 137.407,76	R$ 435.152,68	307.724,67	R$ 1,41

5.4 Cenário 4

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO

Nome da Cidade	Cenário 4

ETE	ETE 4
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	10.000
Vazão Abasteciento (L/s)	12,22
Vazão de esgoto gerado (L/s)	9,78
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	9,78
Desnível geométrico (m)	10,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	4,965
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	1,963
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	2,830
Vazão Total de Reúso (L/s)	9,758
% de Reúso	99,81%
% Reúso no consumo total	79,85%
Vazão de Descarte (L/s)	0,018



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 4

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	9,76
Q_R (m³/s)	0,00976
Q_Rd (m³/d)	843

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	2,34
N	4
a_f (m²)	0,59
B (m)	0,60
L (m)	0,97
□- Tub Lavagem (mm)	55
H_1	0,31
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,36
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	5,29
$H_{Res\ Filt}$ (m)	1,19
$D_{Res\ Filt}$ (m)	2,38
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,00147
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	5,29
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,36

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	6,91	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	2,00	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 12.088,68
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 17.269,54
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	0,59	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 246,25
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	CI_{tt} (R$)	R$ 17.515,79
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	1,64	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	1,17	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 19.617,69

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	0,244
Acréscimo	30%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	0,317
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	1
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	0,75
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 10,73
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 12,77
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 1.050,95
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 1.204,14

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	25.292.438,83
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	126,46
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 163,14
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 174,56
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 2.094,67

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40
CA_{tt} (R$/ano)	R$ 62.281,21

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 81.898,90	307.724,67	R$ 0,27

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE	-	Cenário 4

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	9,76
Q_R (m³/s)	0,00976
$Q_R h$ (m³/h)	35,13

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,15
D_c' (pol)	5,91
v (m/s)	0,55
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (□)	0,000
Cota Res. (m)	0,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	10,00
	3,10
H_l	0,05
J (m/m)	0,00297
Ht (m)	29,7
AMT (m)	39,79

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	6,90
Pc' (kW)	5,14
Acréscimo	20%
P (CV)	8,28
P' (kW)	6,17
Pi (CV)	10,00
Pi' (kW)	7,45

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 2.307,55
Ct (R$/ano)	R$ 155.482,34
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 157.789,89
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 176.724,68

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 429,12
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	3,89
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 433,01
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 429,12
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 510,65
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 9.467,39
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 15.595,23

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 192.319,91	307.724,67	R$ 0,62

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 4

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	9,76
Q_R (m³/s)	0,00976
$V_R d$ (m³)	843,08

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m³)	843,08
H_{Res} (m)	6
D_{Res} (m)	13

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m³)	58,81
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 62.184,90
CI_{Res} (R$)	R$ 88.835,57
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 99.495,84

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 53.301,34
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 53.301,34

CT_{Res} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 152.797,18	307.724,67	R$ 0,50

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 4

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	4,965
Q'_{RA} (L/s)	1,963
Q'_{RI} (L/s)	2,830
Q'_{R} (L/s)	9,76
Q_{R} (m^3/s)	0,00976

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	10.000,00
% de Reúso	99,81%
L (m)	10.000
Hg	10,00
AMT (m)	39,79

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 19.617,69	R$ 62.281,21	R$ 81.898,90	307.724,67	R$ 0,27

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tp} (R$/$m^3$)
R$ 176.724,68	R$ 15.595,23	R$ 192.319,91	307.724,67	R$ 0,62

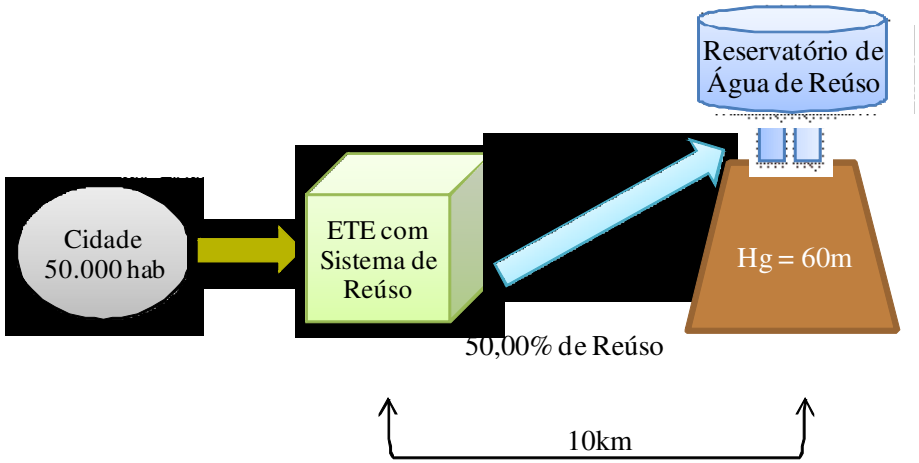
NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 99.495,84	R$ 53.301,34	R$ 152.797,18	307.724,67	R$ 0,50

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_{R} (R$/ano)	CA_{R} (R$/ano)	CT_{R} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{R} (R$/$m^3$)
R$ 295.838,21	R$ 131.177,78	R$ 427.015,99	307.724,67	R$ 1,39

5.5 Cenário 5

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO	
Nome da Cidade	Cenário 5

ETE	ETE 5
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	50.000
Vazão Abasteciento (L/s)	76,40
Vazão de esgoto gerado (L/s)	61,12
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	61,12
Desnível geométrico (m)	60,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	15,433
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	5,550
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	9,578
Vazão Total de Reúso (L/s)	30,561
% de Reúso	50,00%
% Reúso no consumo total	40,00%
Vazão de Descarte (L/s)	30,559



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 5

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	30,56
Q_R (m³/s)	0,03056
Q_Rd (m³/d)	2.640

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	7,33
N	4
a_f (m²)	1,83
B (m)	1,07
L (m)	1,71
□- Tub Lavagem (mm)	98
H_1	0,35
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,40
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	16,55
$H_{Res\ Filt}$ (m)	1,74
$D_{Res\ Filt}$ (m)	3,48
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,00460
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	16,55
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,40

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	13,13	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	4,28	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 26.772,66
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 38.246,66
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	1,83	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 619,01
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	CI_{tt} (R$)	R$ 38.865,67
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	5,13	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	3,67	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 43.529,55

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	0,768
Acréscimo	30%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	0,999
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	1
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	0,75
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 10,73
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 12,77
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 2.331,94
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 2.485,14

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	79.213.500,00
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	396,07
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 510,93
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 546,69
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 6.560,30

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40

CA_{tt} (R$/ano)	R$ 68.027,84

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 111.557,39	963.764,25	R$ 0,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE - Cenário 5

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	30,56
Q_R (m³/s)	0,03056
$Q_R h$ (m³/h)	110,02

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,25
D_c' (pol)	9,84
v (m/s)	0,62
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (□)	0,005
Cota Res. (m)	50,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	60,00
	3,10
H_l	0,06
J (m/m)	0,00204
Ht (m)	20,4
AMT (m)	80,49

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	43,73
Pc' (kW)	32,58
Acréscimo	10%
P (CV)	48,10
P' (kW)	35,84
Pi (CV)	50,00
Pi' (kW)	37,25

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 9.283,27
Ct (R$/ano)	R$ 333.835,40
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 343.118,68
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 384.292,92

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 2.145,60
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	19,43
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 2.165,03
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 2.145,60
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 2.553,26
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 20.587,12
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 51.226,29

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 435.519,21	963.764,25	R$ 0,45

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 5

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	30,56
Q_R (m^3/s)	0,03056
V_Rd (m^3)	2640,45

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m^3)	2.640,45
H_{Res} (m)	9
D_{Res} (m)	19

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m^3)	125,89
Pu_{con} (R$/$m^3$)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 133.114,06
CI_{Res} (R$)	R$ 190.162,95
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 212.982,50

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 114.097,77
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 114.097,77

CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 327.080,27	963.764,25	R$ 0,34

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 5

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	15,433
Q'_{RA} (L/s)	5,550
Q'_{RI} (L/s)	9,578
Q'_{R} (L/s)	30,56
Q_{R} (m^3/s)	0,03056

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	50.000,00
% de Reúso	50,00%
L (m)	10.000
Hg	60,00
AMT (m)	80,49

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 43.529,55	R$ 68.027,84	R$ 111.557,39	963.764,25	R$ 0,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tp} (R$/$m^3$)
R$ 384.292,92	R$ 51.226,29	R$ 435.519,21	963.764,25	R$ 0,45

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 212.982,50	R$ 114.097,77	R$ 327.080,27	963.764,25	R$ 0,34

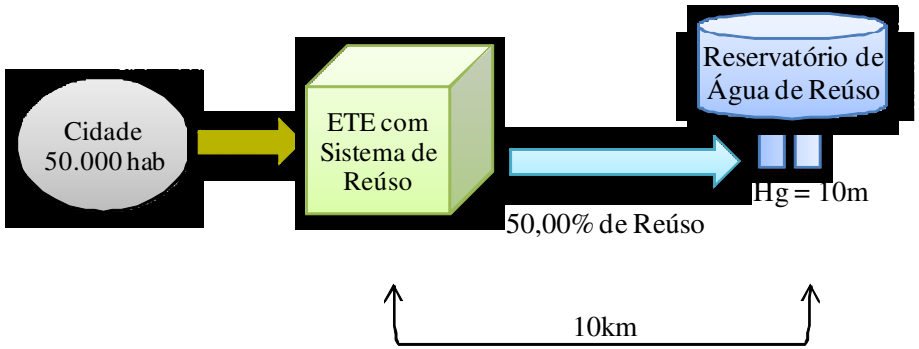
CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_{R} (R$/ano)	CA_{R} (R$/ano)	CT_{R} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{R} (R$/$m^3$)
R$ 640.804,96	R$ 233.351,90	R$ 874.156,86	963.764,25	R$ 0,91

5.6 Cenário 6

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO

Nome da Cidade	Cenário 6

ETE	ETE 6
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	50.000
Vazão Abasteciento (L/s)	76,40
Vazão de esgoto gerado (L/s)	61,12
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	61,12
Desnível geométrico (m)	10,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	15,433
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	5,550
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	9,578
Vazão Total de Reúso (L/s)	30,561
% de Reúso	50,00%
% Reúso no consumo total	40,00%
Vazão de Descarte (L/s)	30,559



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 6

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	30,56
Q_R (m³/s)	0,03056
Q_Rd (m³/d)	2.640

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	7,33
N	4
a_f (m²)	1,83
B (m)	1,07
L (m)	1,71
□- Tub Lavagem (mm)	98
H_1	0,35
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,40
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	16,55
$H_{Res\ Filt}$ (m)	1,74
$D_{Res\ Filt}$ (m)	3,48
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,00460
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	16,55
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,40

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	13,13	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	4,28	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 26.772,66
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 38.246,66
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	1,83	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 619,01
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	CI_{tt} (R$)	R$ 38.865,67
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	5,13	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	3,67	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 43.529,55

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	0,768
Acréscimo	30%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	0,999
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	1
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	0,75
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 10,73
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 12,77
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 2.331,94
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 2.485,14

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	79.213.500,00
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	396,07
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 510,93
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 546,69
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 6.560,30

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40
CA_{tt} (R$/ano)	R$ 68.027,84

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 111.557,39	963.764,25	R$ 0,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE	-	Cenário 6

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	30,56
Q_R (m³/s)	0,03056
Q_Rh (m³/h)	110,02

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,25
D_c' (pol)	9,84
v (m/s)	0,62
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (□)	0,000
Cota Res. (m)	0,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	10,00
	3,10
H_l	0,06
J (m/m)	0,00204
Ht (m)	20,4
AMT (m)	30,49

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	16,56
Pc' (kW)	12,34
Acréscimo	15%
P (CV)	19,05
P' (kW)	14,19
Pi (CV)	20,00
Pi' (kW)	14,90

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 4.949,80
Ct (R$/ano)	R$ 333.835,40
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 338.785,20
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 379.439,43

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 858,24
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	7,77
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 866,01
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 858,24
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 1.021,31
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 20.327,11
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 32.582,78

CT_{tp} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 412.022,21	963.764,25	R$ 0,43

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 6

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	30,56
Q_R (m^3/s)	0,03056
V_Rd (m^3)	2640,45

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m^3)	2.640,45
H_{Res} (m)	9
D_{Res} (m)	19

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m^3)	125,89
Pu_{con} (R$/$m^3$)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 133.114,06
CI_{Res} (R$)	R$ 190.162,95
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 212.982,50

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 114.097,77
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 114.097,77

CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 327.080,27	963.764,25	R$ 0,34

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 6

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	15,433
Q'_{RA} (L/s)	5,550
Q'_{RI} (L/s)	9,578
Q'_{R} (L/s)	30,56
Q_{R} (m^3/s)	0,03056

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	50.000,00
% de Reúso	50,00%
L (m)	10.000
Hg	10,00
AMT (m)	30,49

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 43.529,55	R$ 68.027,84	R$ 111.557,39	963.764,25	R$ 0,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tp} (R$/$m^3$)
R$ 379.439,43	R$ 32.582,78	R$ 412.022,21	963.764,25	R$ 0,43

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 212.982,50	R$ 114.097,77	R$ 327.080,27	963.764,25	R$ 0,34

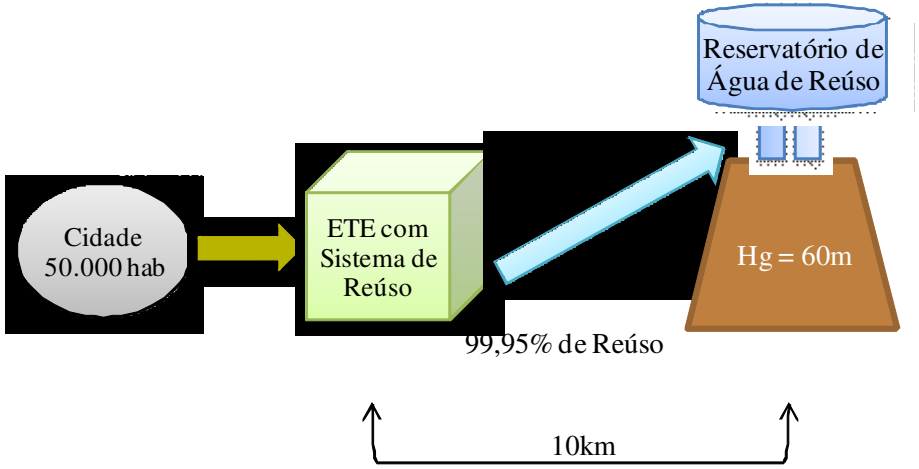
CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_{R} (R$/ano)	CA_{R} (R$/ano)	CT_{R} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{R} (R$/$m^3$)
R$ 635.951,47	R$ 214.708,39	R$ 850.659,86	963.764,25	R$ 0,88

5.7 Cenário 7

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO

Nome da Cidade	Cenário 7

ETE	ETE 7
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	50.000
Vazão Abasteciento (L/s)	76,40
Vazão de esgoto gerado (L/s)	61,12
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	61,12
Desnível geométrico (m)	60,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	30,545
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	12,211
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	18,333
Vazão Total de Reúso (L/s)	61,089
% de Reúso	99,95%
% Reúso no consumo total	79,96%
Vazão de Descarte (L/s)	0,031



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 7

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	61,09
Q_R (m³/s)	0,06109
Q_Rd (m³/d)	5.278

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	14,66
N	4
a_f (m²)	3,67
B (m)	1,51
L (m)	2,42
□- Tub Lavagem (mm)	139
H_1	0,39
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,44
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	33,09
$H_{Res\ Filt}$ (m)	2,19
$D_{Res\ Filt}$ (m)	4,38
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,00919
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	33,09
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,44

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	19,79	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	6,79	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 44.816,20
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 64.023,14
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	3,67	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 1.083,45
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	Cl_{tt} (R$)	R$ 65.106,59
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	10,26	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	7,33	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 72.919,38

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	1,542
Acréscimo	30%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	2,005
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	2
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	1,49
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 21,51
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 25,60
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 3.906,40
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 4.213,56

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	158.341.519,94
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	791,71
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 1.021,30
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 1.092,79
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 13.113,53

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40
CA_{tt} (R$/ano)	R$ 76.309,49

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 149.228,87	1.926.488,49	R$ 0,08

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE - Cenário 7

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	61,09
Q_R (m³/s)	0,06109
$Q_R h$ (m³/h)	219,92

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,3
D_c' (pol)	11,81
v (m/s)	0,86
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (□)	0,005
Cota Res. (m)	50,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	60,00
	3,10
H_l	0,12
J (m/m)	0,00303
Ht (m)	30,3
AMT (m)	90,39

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	98,16
Pc' (kW)	73,13
Acréscimo	10%
P (CV)	107,98
P' (kW)	80,45
Pi (CV)	110,00
Pi' (kW)	81,95

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 17.672,83
Ct (R$/ano)	R$ 438.505,71
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 456.178,54
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 510.919,96

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 4.720,32
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	42,76
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 4.763,08
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 4.763,08
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 5.668,06
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 27.370,71
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 95.387,44

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 606.307,41	1.926.488,49	R$ 0,31

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 7

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	61,09
Q_R (m³/s)	0,06109
$V_R d$ (m³)	5278,05

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m³)	5.278,05
H_{Res} (m)	12
D_{Res} (m)	24

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m³)	199,76
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 211.229,39
CI_{Res} (R$)	R$ 301.756,27
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 337.967,02

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 181.053,76
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 181.053,76

CT_{Res} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 519.020,78	1.926.488,49	R$ 0,27

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 7

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	30,545
Q'_{RA} (L/s)	12,211
Q'_{RI} (L/s)	18,333
Q'_{R} (L/s)	61,09
Q_{R} (m³/s)	0,06109

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	50.000,00
% de Reúso	99,95%
L (m)	10.000
Hg	60,00
AMT (m)	90,39

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 72.919,38	R$ 76.309,49	R$ 149.228,87	1.926.488,49	R$ 0,08

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 510.919,96	R$ 95.387,44	R$ 606.307,41	1.926.488,49	R$ 0,31

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 337.967,02	R$ 181.053,76	R$ 519.020,78	1.926.488,49	R$ 0,27

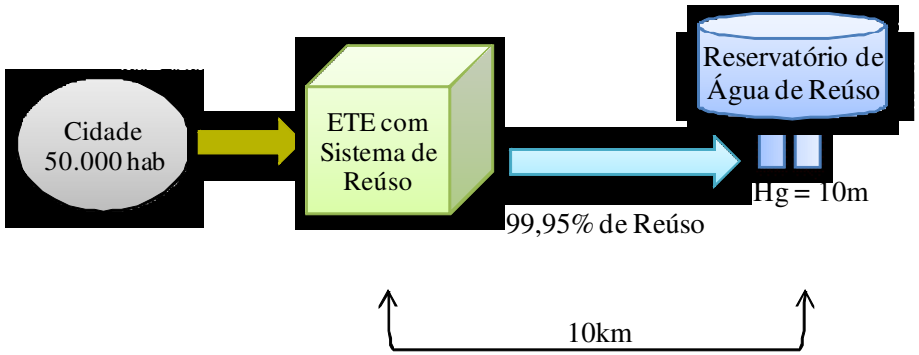
CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_{R} (R$/ano)	CA_{R} (R$/ano)	CT_{R} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m³/ano)	Cm^3_{R} (R$/m³)
R$ 921.806,36	R$ 352.750,70	R$ 1.274.557,06	1.926.488,49	R$ 0,66

5.8 Cenário 8

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO

Nome da Cidade	Cenário 8

ETE	ETE 8
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	50.000
Vazão Abasteciento (L/s)	76,40
Vazão de esgoto gerado (L/s)	61,12
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	61,12
Desnível geométrico (m)	10,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	30,545
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	12,211
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	18,333
Vazão Total de Reúso (L/s)	61,089
% de Reúso	99,95%
% Reúso no consumo total	79,96%
Vazão de Descarte (L/s)	0,031



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 8

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	61,09
Q_R (m³/s)	0,06109
Q_Rd (m³/d)	5.278

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	14,66
N	4
a_f (m²)	3,67
B (m)	1,51
L (m)	2,42
□- Tub Lavagem (mm)	139
H_1	0,39
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,44
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	33,09
$H_{Res\ Filt}$ (m)	2,19
$D_{Res\ Filt}$ (m)	4,38
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,00919
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	33,09
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,44

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	19,79	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	6,79	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 44.816,20
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 64.023,14
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	3,67	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 1.083,45
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	Cl_{tt} (R$)	R$ 65.106,59
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	10,26	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	7,33	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 72.919,38

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	1,542
Acréscimo	30%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	2,005
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	2
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	1,49
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 21,51
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 25,60
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 3.906,40
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 4.213,56

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	158.341.519,94
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	791,71
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 1.021,30
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 1.092,79
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 13.113,53

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40
CA_{tt} (R$/ano)	R$ 76.309,49

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 149.228,87	1.926.488,49	R$ 0,08

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE	-	Cenário 8

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	61,09
Q_R (m³/s)	0,06109
$Q_R h$ (m³/h)	219,92

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,3
D_c' (pol)	11,81
v (m/s)	0,86
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (□)	0,000
Cota Res. (m)	0,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	10,00
	3,10
H_l	0,12
J (m/m)	0,00303
Ht (m)	30,3
AMT (m)	40,39

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	43,86
Pc' (kW)	32,68
Acréscimo	10%
P (CV)	48,25
P' (kW)	35,95
Pi (CV)	50,00
Pi' (kW)	37,25

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 10.212,77
Ct (R$/ano)	R$ 438.505,71
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 448.718,48
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 502.564,70

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 2.145,60
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	19,43
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 2.165,03
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 2.145,60
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 2.553,26
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 26.923,11
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 57.562,28

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 560.126,97	1.926.488,49	R$ 0,29

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 8

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	61,09
Q_R (m^3/s)	0,06109
V_Rd (m^3)	5278,05

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m^3)	5.278,05
H_{Res} (m)	12
D_{Res} (m)	24

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m^3)	199,76
Pu_{con} (R$/$m^3$)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 211.229,39
CI_{Res} (R$)	R$ 301.756,27
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 337.967,02

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 181.053,76
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 181.053,76

CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 519.020,78	1.926.488,49	R$ 0,27

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 8

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	30,545
Q'_{RA} (L/s)	12,211
Q'_{RI} (L/s)	18,333
Q'_{R} (L/s)	61,09
Q_{R} (m^3/s)	0,06109

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	50.000,00
% de Reúso	99,95%
L (m)	10.000
Hg	10,00
AMT (m)	40,39

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 72.919,38	R$ 76.309,49	R$ 149.228,87	1.926.488,49	R$ 0,08

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tp} (R$/$m^3$)
R$ 502.564,70	R$ 57.562,28	R$ 560.126,97	1.926.488,49	R$ 0,29

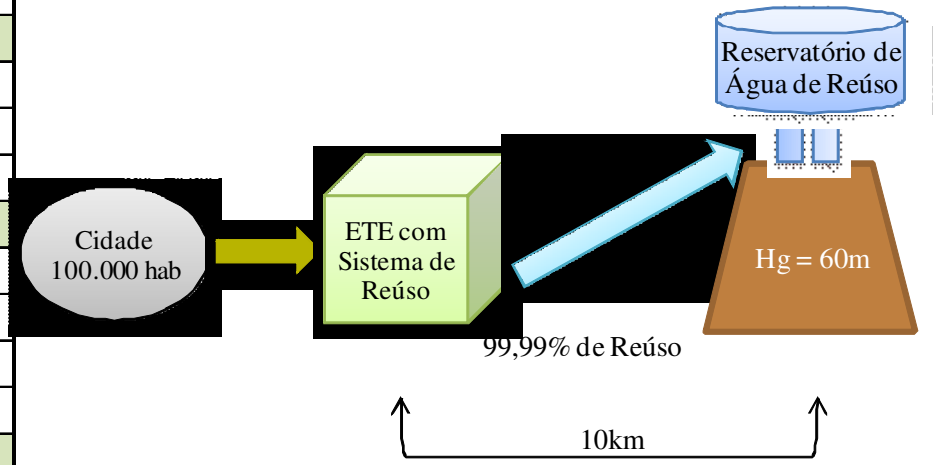
NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 337.967,02	R$ 181.053,76	R$ 519.020,78	1.926.488,49	R$ 0,27

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_R (R$/ano)	CA_R (R$/ano)	CT_R (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_R (R$/$m^3$)
R$ 913.451,09	R$ 314.925,53	R$ 1.228.376,62	1.926.488,49	R$ 0,64

5.9 Cenário 9

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO	
Nome da Cidade	Cenário 9

ETE	ETE 9
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	100.000
Vazão Abasteciento (L/s)	152,80
Vazão de esgoto gerado (L/s)	122,24
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	122,24
Desnível geométrico (m)	60,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	61,101
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	24,462
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	36,667
Vazão Total de Reúso (L/s)	122,230
% de Reúso	99,99%
% Reúso no consumo total	79,99%
Vazão de Descarte (L/s)	0,010



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 9

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	122,23
Q_R (m³/s)	0,12223
Q_Rd (m³/d)	10.561

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	29,34
N	4
a_f (m²)	7,33
B (m)	2,14
L (m)	3,43
ç - Tub Lavagem (mm)	196
H_1	0,45
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,50
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	66,21
$H_{Res\ Filt}$ (m)	2,76
$D_{Res\ Filt}$ (m)	5,53
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,01839
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	66,21
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,50

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	30,44	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	10,78	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 77.020,32
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 110.029,02
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	7,33	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 1.899,10
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	Cl_{tt} (R$)	R$ 111.928,13
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	20,53	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	14,67	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 125.359,50

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	3,105
Acréscimo	25%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	3,881
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	4
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	2,89
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 41,64
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 49,55
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 6.715,69
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 7.310,25

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	316.819.039,87
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	1.584,10
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 2.043,48
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 2.186,53
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 26.238,32

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40
CA_{tt} (R$/ano)	R$ 92.530,97

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 217.890,47	3.854.631,65	R$ 0,06

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE	-	Cenário 9

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	122,23
Q_R (m³/s)	0,12223
$Q_R h$ (m³/h)	440,03

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,45
D_c' (pol)	17,72
v (m/s)	0,77
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (ç)	0,005
Cota Res. (m)	50,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	60,00
	3,10
H_l	0,09
J (m/m)	0,00152
Ht (m)	15,2
AMT (m)	75,25

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	163,52
Pc' (kW)	121,83
Acréscimo	10%
P (CV)	179,88
P' (kW)	134,01
Pi (CV)	180,00
Pi' (kW)	134,10

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 27.025,39
Ct (R$/ano)	R$ 804.230,36
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 831.255,75
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 931.006,44

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 7.724,16
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	69,97
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 7.794,13
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 7.794,13
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 9.275,01
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 49.875,35
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 161.175,45

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 1.092.181,89	3.854.631,65	R$ 0,28

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 9

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	122,23
Q_R (m³/s)	0,12223
V_Rd (m³)	10560,63

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m³)	10.560,63
H_{Res} (m)	15
D_{Res} (m)	30

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m³)	317,19
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 335.401,74
CI_{Res} (R$)	R$ 479.145,35
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 536.642,79

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 287.487,21
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 287.487,21

CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 824.130,00	3.854.631,65	R$ 0,21

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 9

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	61,101
Q'_{RA} (L/s)	24,462
Q'_{RI} (L/s)	36,667
Q'_{R} (L/s)	122,23
Q_{R} (m^3/s)	0,12223

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	100.000,00
% de Reúso	99,99%
L (m)	10.000
Hg	60,00
AMT (m)	75,25

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 125.359,50	R$ 92.530,97	R$ 217.890,47	3.854.631,65	R$ 0,06

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tp} (R$/$m^3$)
R$ 931.006,44	R$ 161.175,45	R$ 1.092.181,89	3.854.631,65	R$ 0,28

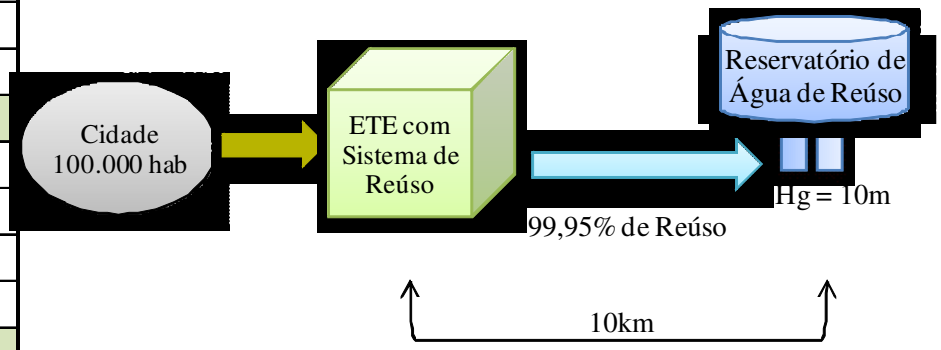
NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 536.642,79	R$ 287.487,21	R$ 824.130,00	3.854.631,65	R$ 0,21

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_R (R$/ano)	CA_R (R$/ano)	CT_R (R$/ano)	V_Ra (m^3/ano)	Cm^3_R (R$/$m^3$)
R$ 1.593.008,73	R$ 541.193,63	R$ 2.134.202,36	3.854.631,65	R$ 0,55

5.10 Cenário 10

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CENÁRIO	
Nome da Cidade	Cenário 10

ETE	ETE 10
Tipo de Tratamento	Secundário
Corpo Receptor	Rio R
Classe do Corpo Receptor	Classe 2
Pop. Atendida (hab)	100.000
Vazão Abasteciento (L/s)	152,80
Vazão de esgoto gerado (L/s)	122,24
$Vazão_{Méd}$ de esgotos tratados (L/s)	122,24
Desnível geométrico (m)	10,00
Vazão de Reúso Urbano (L/s)	61,101
Vazão de Reúso Agícola (L/s)	24,462
Vazão de Reúso Industrial (L/s)	36,667
Vazão Total de Reúso (L/s)	122,230
% de Reúso	99,99%
% Reúso no consumo total	79,99%
Vazão de Descarte (L/s)	0,010



NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO	-	Cenário 10

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	122,23
Q_R (m³/s)	0,12223
Q_Rd (m³/d)	10.561

Dimensionamento do filtro	
Tx Filt (m³/m².dia)	360
Tx Lav (m³/m².dia)	1.300
Área (m²)	29,34
N	4
a_f (m²)	7,33
B (m)	2,14
L (m)	3,43
□- Tub Lavagem (mm)	196
H_1	0,45
H_2	0,1
H_3	0,50
H_4	0,95
H_5	2,20
H_6	0,30
H_f (m)	4,50
Intervalo lavagens (h)	24
lavagens por mês	30

Reservatório do Filtro (cilíndrico)	
$V_{Res\ Filt}$ (m³)	66,21
$H_{Res\ Filt}$ (m)	2,76
$D_{Res\ Filt}$ (m)	5,53
$T_{Res\ Filt}$ (seg)	3600
$Q_{Res\ Filt}$ (m³/s)	0,01839
$Q'_{Res\ Filt}$ (m³/h)	66,21
$H'_{Res\ Filt}$ (m)	9,50

Custos de Capital (Implantação)			
$V_{con\ Filt}$ (m³)	30,44	BDI (%)	15%
$V_{con\ Res\ Filt}$ (m³)	10,78	$C_{Filtro+Res}$ (R$)	R$ 77.020,32
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50	$C_{Filtro+Res}$ (R$) + 30%	R$ 110.029,02
$V_{areia\ Filt}$ (m³)	7,33	$Csr_{Res\ Filt}$ (R$)	R$ 1.899,10
Pu_{Areia} (R$/m³)	R$ 336,00	CI_{tt} (R$)	R$ 111.928,13
$V_{ant\ Filt}$ (m³)	20,53	i_{tt} (%)	12%
Pu_{ant} (R$/m³)	R$ 930,00	n_{tt} (anos)	1
$V_{ped\ Filt}$ (m³)	14,67	FRC_{tt}	1,12
Pu_{ped} (R$/m³)	R$ 512,00	CC_{tt} (R$/ano)	R$ 125.359,50

Custos Anuais (Operação e Manutenção)

Filtração	
$Pc_{Res\ Filt}$ (cv)	3,105
Acréscimo	25%
$P_{Res\ Filt}$ (cv)	3,881
$Pi_{Res\ Filt}$ (cv)	4
$Pi'_{Res\ Filt}$ (kW)	2,89
TBM_{tt} (h/mês)	30
PEE (R$/kW)	R$ 0,48
$C'ee_{tt}$ (R$/mês)	R$ 41,64
ICMS da EE	19%
Cee_{tt} (R$/mês)	R$ 49,55
Cmr_{tt} (R$/ano)	R$ 6.715,69
CA_{tt}Filtro (R$/ano)	R$ 7.310,25

Cloração	
Q_Rm (L/mês)	316.819.039,87
d_{Cl} (kg NaClO/L)	0,000005
q_{Cl} (kg NaClO/mês)	1.584,10
$Pu_{méd}$ Cl (R$/kg)	R$ 1,29
C'_{Cl} (R$/mês)	R$ 2.043,48
ICMS do Cloro	7%
C_{Cl} (R$/mês)	R$ 2.186,53
CA_{tt}Cloro (R$/ano)	R$ 26.238,32

Mão de Obra	
Nº funcionários	2
Salário Mínimo	512
Nº $Salário_{mín}$	2,4
$Pu_{méd\ MO}$ (R$/mês)	R$ 1.228,80
Encargos	100%
C_{MO} (R$/mês)	R$ 4.915,20
CA_{tt}MO (R$/ano)	R$ 58.982,40
CA_{tt} (R$/ano)	R$ 92.530,97

CT_{tt} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 217.890,47	3.854.631,65	R$ 0,06

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE	-	Cenário 10

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	122,23
Q_R (m³/s)	0,12223
$Q_R h$ (m³/h)	440,03

Tubulação de Recalque	
Material da Tubulação	FERRO
D_c (m)	0,45
D_c' (pol)	17,72
v (m/s)	0,77
L (m)	10.000

Altura Manométrica Total	
Cota ETE (m)	0,00
tang (□)	0,000
Cota Res. (m)	0,000
Elevação (m)	10,00
Hg (m)	10,00
	3,10
H_l	0,09
J (m/m)	0,00152
Ht (m)	15,2
AMT (m)	25,25

Conjunto Motor Bomba	
? (kg/m³)	1.000
η	75%
Pc (CV)	54,88
Pc' (kW)	40,88
Acréscimo	10%
P (CV)	60,36
P' (kW)	44,97
Pi (CV)	65,00
Pi' (kW)	48,43

Custos de Capital (Implantação)	
Csr (R$/ano)	R$ 13.634,87
Ct (R$/ano)	R$ 804.230,36
Cl_{tp} (R$/ano)	R$ 817.865,23
i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12
CC_{tp} (R$/ano)	R$ 916.009,05

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
TBM_{tp} (h/mês)	120
PEE (R$/kW)	0,48
Cee'_{tp} (Pi'<75) (R$/mês)	R$ 2.789,28
(R$/cv)	0,36
fp	0,92
Demanda	25,27
Cee'_{tp} (Pi'>75) (R$/mês)	R$ 2.814,55
Cee'_{tp} (R$/mês)	R$ 2.789,28
ICMS	19%
Cee_{tp} (R$/mês)	R$ 3.319,24
Cmr_{tp} (R$/mês)	R$ 49.071,91
CA_{tp} (R$/ano)	R$ 88.902,83

CT_{tp} (R$/ano)	$V_R a$ (m³/ano)	Cm^3_{tp} (R$/m³)
R$ 1.004.911,89	3.854.631,65	R$ 0,26

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO	-	Cenário 10

Água de Reúso	
Q'_R (L/s)	122,23
Q_R (m³/s)	0,12223
V_Rd (m³)	10560,63

Reservatório cilíndrico	
V_{Res} (m³)	10.560,63
H_{Res} (m)	15
D_{Res} (m)	30

Custos de Capital (Implantação)	
$V_{con\ Res}$ (m³)	317,19
Pu_{con} (R$/m³)	R$ 919,50
BDI (%)	15%
C_{Res} (R$)	R$ 335.401,74
CI_{Res} (R$)	R$ 479.145,35
i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	1
FRC_{Res}	1,12
CC_{Res} (R$/ano)	R$ 536.642,79

Custos Anuais (Operação e Manutenção)	
Cmr_{Res} (R$/ano)	R$ 287.487,21
CA_{Res} (R$/ano)	R$ 287.487,21

CT_{Res} (R$/ano)	V_Ra (m³/ano)	Cm^3_{tt} (R$/m³)
R$ 824.130,00	3.854.631,65	R$ 0,21

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO	-	Cenário 10

Água de Reúso	
Q'_{RU} (L/s)	61,101
Q'_{RA} (L/s)	24,462
Q'_{RI} (L/s)	36,667
Q'_{R} (L/s)	122,23
Q_{R} (m^3/s)	0,12223

Parâmetros Determinantes	
População (hab)	100.000,00
% de Reúso	99,99%
L (m)	10.000
Hg	10,00
AMT (m)	25,25

Taxas do FRC	
i_{tt} (%)	12%
n_{tt} (anos)	100%
FRC_{tt}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRATAMENTO				
CC_{tt} (R$/ano)	CA_{tt} (R$/ano)	CT_{tt} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 125.359,50	R$ 92.530,97	R$ 217.890,47	3.854.631,65	R$ 0,06

i_{tp} (%)	12%
n_{tp} (anos)	1
FRC_{tp}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE TRANSPORTE				
CC_{tp} (R$/ano)	CA_{tp} (R$/ano)	CT_{tp} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tp} (R$/$m^3$)
R$ 916.009,05	R$ 88.902,83	R$ 1.004.911,89	3.854.631,65	R$ 0,26

i_{Res} (%)	12%
n_{Res} (anos)	100%
FRC_{Res}	1,12

NÚMEROS DA ETAPA DE RESERVAÇÃO				
CC_{Res} (R$/ano)	CA_{Res} (R$/ano)	CT_{Res} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{tt} (R$/$m^3$)
R$ 536.642,79	R$ 287.487,21	R$ 824.130,00	3.854.631,65	R$ 0,21

CUSTOS TOTAIS DO REÚSO				
CC_{R} (R$/ano)	CA_{R} (R$/ano)	CT_{R} (R$/ano)	$V_{R}a$ (m^3/ano)	Cm^3_{R} (R$/$m^3$)
R$ 1.578.011,35	R$ 468.921,01	R$ 2.046.932,35	3.854.631,65	R$ 0,53

5.11 Considerações sobre os cenário

Tabela 5.3 Custos de capital, anual e total obtidos em cada um dos cenários e respectivos custos do metro cúbico da água de reúso para um tempo de retorno do investimento de um ano

Cenário	População (hab)	Extensão do Recalque ETE - Reservatório (km)	Desnível Geométrico (m)	Percentual de Reúso	Custo de Capital (R$/ano)	Custo Anual (R$/ano)	Custo Total (R$/ano)	Volume Anual de Reúso (m^3/ano)	Custo do m^3 da Água de Reúso (R$/$m^3$)
1	10.000	10	60	49,42%	R$ 172.754,25	R$ 106.805,06	R$ 279.559,31	152.369,61	R$ 1,83
2	10.000	10	10	49,42%	R$ 171.694,01	R$ 105.522,69	R$ 277.216,70	152.369,61	R$ 1,82
3	10.000	10	60	99,81%	R$ 297.744,92	R$ 137.407,76	R$ 435.152,68	307.724,67	R$ 1,41
4	10.000	10	10	99,81%	R$ 295.838,21	R$ 131.177,78	R$ 427.015,99	307.724,67	R$ 1,39
5	50.000	10	60	50,00%	R$ 640.804,96	R$ 233.351,90	R$ 874.156,86	963.764,25	R$ 0,91
6	50.000	10	10	50,00%	R$ 635.951,47	R$ 214.708,39	R$ 850.659,86	963.764,25	R$ 0,88
7	50.000	10	60	99,95%	R$ 921.806,36	R$ 352.750,70	R$ 1.274.557,06	1.926.488,49	R$ 0,66
8	50.000	10	10	99,95%	R$ 913.451,09	R$ 314.925,53	R$ 1.228.376,62	1.926.488,49	R$ 0,64
9	100.000	10	60	99,99%	R$ 1.593.008,73	R$ 541.193,63	R$ 2.134.202,36	3.854.631,65	R$ 0,55
10	100.000	10	10	99,99%	R$ 1.578.011,35	R$ 468.921,01	R$ 2.046.932,35	3.854.631,65	R$ 0,53

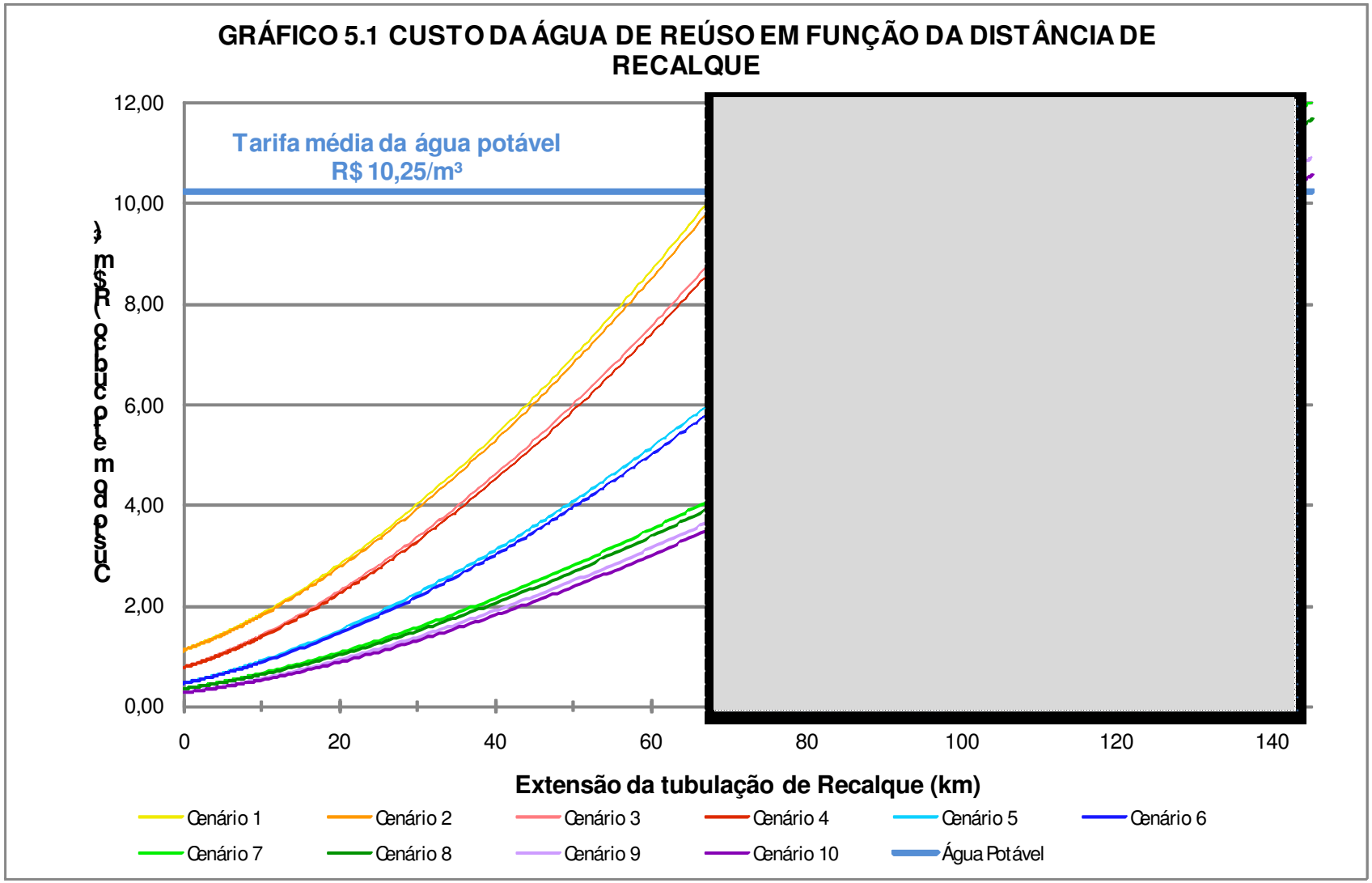


GRÁFICO 5.1 CUSTO DA ÁGUA DE REÚSO EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DE RECALQUE
Tarifa média da água potável
R$ 10,25/m³
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
20
40
60
80
100
120
140
Extensão da tubulação de Recalque (km)
Cenário 1
Cenário 2
Cenário 3
Cenário 4
Cenário 5
Cenário 6
Cenário 7
Cenário 8
Cenário 9
Cenário 10
Água Potável

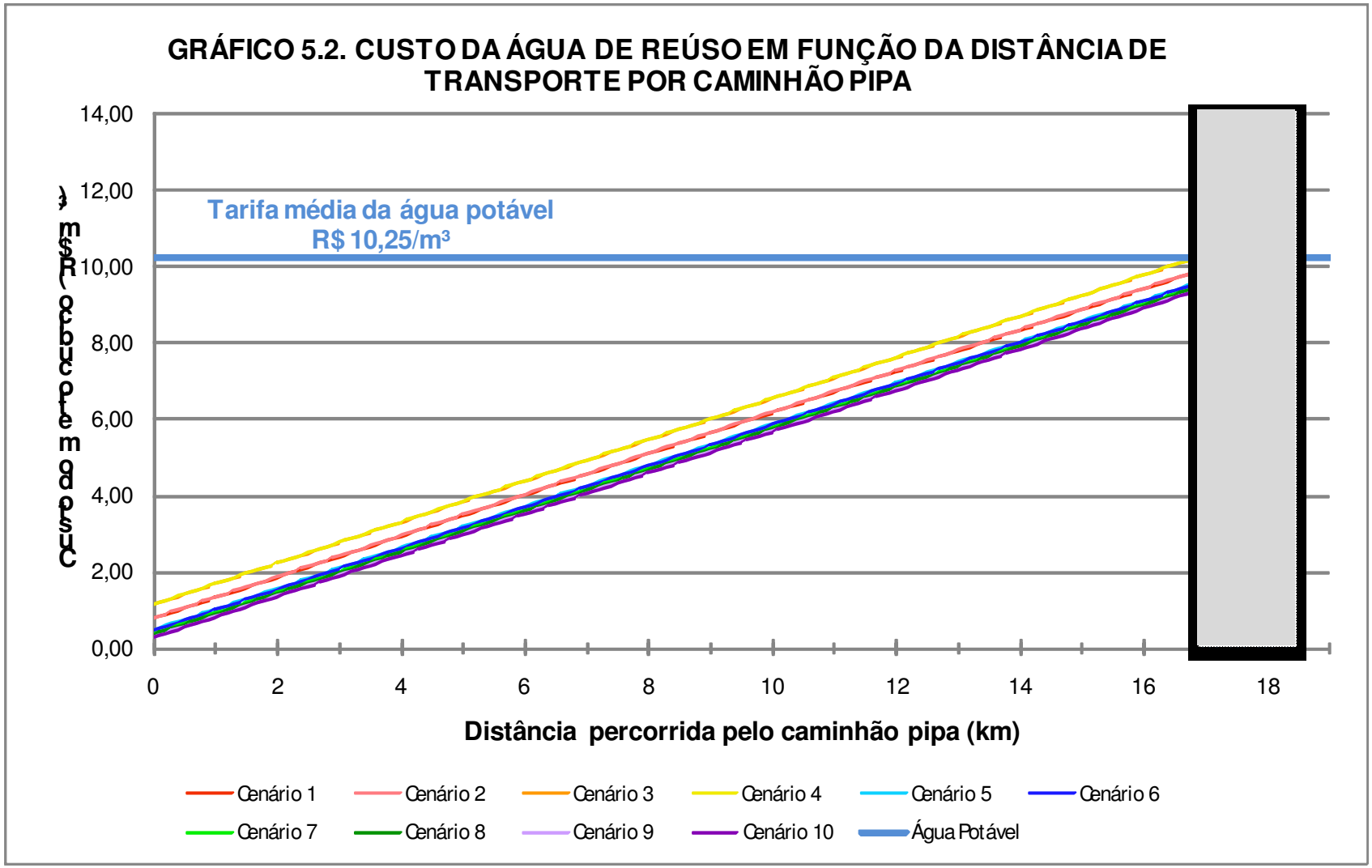


GRÁFICO 5.2. CUSTO DA ÁGUA DE REÚSO EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DE TRANSPORTE POR CAMINHÃO PIPA
Custo do m³ ($R)
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
Tarifa média da água potável
R$ 10,25/m³
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
Distância percorrida pelo caminhão pipa (km)
Cenário 1
Cenário 2
Cenário 3
Cenário 4
Cenário 5
Cenário 6
Cenário 7
Cenário 8
Cenário 9
Cenário 10
Água Potável

Para fim de análise comparativa, em todos os cenário foi atribuido uma distância máxima de 10 kilômetros para o recalque da água de reúso, que foi posteriormente extrapolada na composição do Gráfico 5.1.

Também foi considerado, para fins de cálculo, que o sistema de esgotamento sanitário atende cem portento dos habitantes e que o volume dos esgotos domésticos coletados e posteriormente tratados correspondem a oitenta porcento do volume da água consumido na cidade.

Analisando os resultados obtidos com a aplicação do Modelo OETAR para os cenário hipotéticos propostos, é possível avaliá-los da seguinte forma:

1. O sistema de reúso da água com transporte por recalque demonstrou-se econômicamente viável em todos os cenários analisados, atingindo grandes distâncias até a equivalência de seu custo ao preço da água potável mesmo no pior cenário. As distâncias econômicas para o transporte por recalque da água de reúso ficaram entre 68,7 e 142,1 kilômetros, pior e melhor cenário respectivamente.

2. O sistema de reúso da água com transporte por caminhão pipa, mesmo atingindo distâncias menores até a equivalência de seu custo ao preço da água potável, também demosntrou-se econômicamente viável em todos os cenários analisados. As distâncias econômicas para o transporte por caminhão pipa da água de reúso ficaram entre 16,9 e 18,5 kilômetros, pior e melhor cenário respectivamente.

3. Uma vez que ambos os mecanismos de transporte da água de reúso se traduziram em sistemas economicamente viáveis, é possível se vislumbrar um cenário onde haja a atuação conjunta do transporte por recalque e por caminhão pipa para viabilização da prática do uso dos esgotos tratados

4. Dada a pequena faixa de variação das distâncias econômicas para os diferentes cenários aplicados ao sistema de reúso da água por caminhão pipa, percebe-se que as etapas de

tratamento e reservação possuem pouca influência no custo do metro cúbico da água de reúso. Ou seja, o transporte representa a maior parte do custo da água de reúso, devendo ser considerado como o principal fator numa avaliação de viabilidade econômica de um sistema de reúso da água.

5. Os cenários ímpares apresentam desnível geométrico de 60 m, correspondentes à altura do reservatório, 10 metros, acrescida de uma variação de cota de 50m. Já os cenários pares apresentam desnível geométrico de 10 m, correspondentes apenas à altura do reservatório. Através da comparação desses respectivos cenários verifica-se que o desnível geométrico (H_g) tem pouca influência nos Custos Totais (CT_R) da água de reúso.

6. Dentro de uma mesma faixa populacional (cenários 1 a 4, 10 mil habitantes, cenários 5 a 8, 50 mil habitantes, cenários 9 e 10, 100 mil habitantes), maiores percentuais de utilização de água de reúso, se traduzem em menor custo pelo metro cúbico desta água.

7. Maiores distâncias de transporte da água de reúso são justificáveis em cenários onde se combine um número maior de habitantes, com um percentual elevado de água destinada ao reúso.

8. De maneira geral, quanto à distância de transporte da água de reúso, o presente trabalho considera que, quando os benefícios são maiores ou iguais aos custos totais, o sistema de reúso é considerado viável. No caso dos benefícios serem menores que os custos totais, pode-se procurar aumentar o raio de observação e retornar à análise espacial e quantitativa, na intenção de identificar e avaliar a viabilidade de novas possibilidades de reúso (consumidores), que ampliem a demanda e viabilizem a prática do reúso. Este retorno deve ser realizado até o momento em que o tomador de decisão, usando seu bom censo, perceba que os custos de transporte estão se tornando demasiadamente elevados e/ou tecnicamente desfavoráveis, pois isto inviabilizará, a partir deste raio, as novas possibilidades de reúso da água.

9. Com relação ao tempo de retorno do investimento, uma análise feita para os cenários 1 e 10, pior e melhor cenário respectivamente, demonstrou que, mesmo se fosse cobrado pelo metro cúbico da água de reúso um valor apenas 20% mais barato que o preço da água potável em sua menor tarifa, na faixa de consumo mais baixa, desconsiderando-se ainda a tarifa relativa aos esgotos, o que resultaria num valor de 1,79 reais pelo metro cúbico de água de reúso, um *payback* para o cenário 1, de 7 meses e 21 dias quanto aos custos de capital, já para o cenário 10 esse tempo seria ainda menor, 2 meses e 24 dias. Tais números evidenciam que mesmo nos cenários menos favoráveis, a prática do reúso da água é economicamente viável.

Capítulo 6

Conclusões

6. Conclusões

Finalmente, em relação ao modelo de avaliação econômica OETAR, é importante destacar o atendimento aos objetivos inicialmente preconizados. Trata-se de um instrumento de fácil operacionalidade, apto a ser aplicado como ferramenta auxiliadora quanto à decisão sobre a implantação de um sistema de uso dos esgotos tratados.

A aplicação do Modelo OETAR permite que sejam obtidas indicações preliminares da viabilidade econômica de um sistema de reúso da água para um determinado cenário, que poderão posteriormente servir como elementos de análise para a tomada de decisão sobre a configuração ideal desse sistema.

Sua flexibilidade em adaptar-se segundo diferentes situações, torna-o efetivamente uma ferramenta com grande potencial de aplicação. Pode-se ter o exemplo, em que a etapa de tratamento complementar para o reúso da água não seja necessária, ou em que se queira testar diferentes desníveis geométricos combinados com diferentes distâncias de recalque da água de reúso. Para tanto, basta o ajuste dos parâmetros de entrada da etapa de tratamento ou de transporte, respectivamente, para essas novas situações.

A operacionalidade desse instrumento facilitará a efetiva abordagem dos custos envolvidos na prática do reúso da água, ainda na fase de elaboração dos projetos de engenharia de sistemas complementares para as estações de tratamento de esgotos na procura do atendimento aos padrões de reúso, passando pelos custos de transporte e reservação, até os custos de operação e manutenção de um sistema de reúso da água implantado.

O Modelo OETAR atende ao objetivo de demonstrar até que distância é economicamente viável transportar a água de reúso de modo a disponibilizá-la à custos inferiores ao da água potável, cotejando economicamente os resultados de sua aplicação para diferentes cenários hipotéticos à realidade do abastecimento de água por um sistema público convencional.

Sendo assim, a seqüência de cálculo desenvolvida para o Modelo OETAR, além de dar base à avaliação de viabilidade econômica para auxílio à decisão quanto ao reúso da água, também demonstrou, através da aplicação de cenários hipotéticos, que tal viabilidade é real.

Obviamente, quanto mais detalhados e abrangentes forem os dados de entrada do Modelo OETAR, mais realistas serão os resultados indicados. Neste sentido é possível ainda incluir outros custos parciais em cada uma das etapas (tratamento, transporte e reservação) do sistema de reúso analisado, de modo a tornar o OETAR uma ferramenta mais eficaz. Entre esses, podem ser previstos custos associados aos riscos sanitários para os envolvidos nas diferentes possibilidades de reúso da água (agrícola, urbano e industrial), de depreciação dos equipamentos e de publicidade para esclarecimento e aceitação pelo consumidor da prática do reúso da água; bem como receitas associadas à redução das despesas de lançamento do efluente tratado pela ETE no corpo d'água receptor (princípio poluidor-pagador), ao aumento da disponibilidade hídrica, e à imagem de beneficiador ambiental (melhoria da qualidade ambiental do corpo hídrico receptor), promotor de ações pró-ativas de proteção ambiental através de um sistema de uso dos esgotos tratados.

REFERÊNCIAS BIBLIOBGRAFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). ***NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público***. Rio de Janeiro.

ANDREOLI, C. V., HOPPEN, C., PEGORINI, E. S., DALARMI, O. (1999), "Os Mananciais de Abastecimento do Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba (RMC)", ***Revista Sanare***, v. 12, n.12 (Julho/ Dez), pp. 19-30.

ASANO, T (2002), Waste water reuse for non-potable applications. UNEP - United Nations Enviroment Programme, Division of Technology, Industry and Economics Disponível em://www.unep.or.jp/ietc/publications/reportseries/ietcrep9/4.paper-D/4-D-asan1.asp.>. Acesso em: 16 de maio de 2010.

AISSE, M., LOBATO, M. B., JÜRGENSEN, D. (2004), "Desinfecção de Efluentes utilizando Dióxido de Cloro Gerado In-Loco". In: ***VII SIBESA (Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária)***. Taormina, Itália, Junho.

AZEVEDO NETTO, J. M., FERNANDEZ Y FERNADEZ, M., ARAUJO, R.A., *et al.* (2003), ***Manual de Hidráulica***. 3ª reimpressão. São Paulo, Blucher.

BASTOS, R. K. X. (2003). ***Utilização de Esgotos Sanitários em Irrigação e Piscicultura***. PROSAB 3 – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

BASTOS, R. K. X., BEVILACQUA, P. D., NUNES, F. L., *et al.* (2002). "Avaliação do tratamento de esgotos sanitários em lagoas de estabilização tendo em vista a utilização do efluente na agricultura e piscicultura." **Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental**, Cancun, México.

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R. (2004), ***Aqüífero Guarani: A verdadeira integração dos países do Mercosul***. Curitiba Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura (Funpar).

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J,.G. L., *et al.* (2002). ***Introdução à Engenharia Ambiental***. São Paulo: Prentice Hall.

BRASIL, Leis, etc. (1997). ***Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997***. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal e altera o artigo

1 da Lei n. 8001, de 13 de março de 1995. Diário Oficial da União. Brasília, 9 de janeiro de 1997.

BRASIL, Leis, etc. (2005a). ***Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005***. Dispõe 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. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de março 2005.

BRASIL, Leis, etc. (2005b). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. ***Projeto de Lei nº 5296/2005***. Dá diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e política nacional de saneamento básico PNS. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

BRASIL, Leis, etc. (2006a). ***Resolução CNRH nº 54 de 28 de novembro de 2005***. Estabelece modalidades, diretrizes para a prática do reúso direto não potável de água e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 9 de março de 2006.

BRASIL, Leis, etc. (2006b). ***Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005***. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 19 ago 2006.

BRASIL, Leis, etc. (2008). ***Resolução CONAMA nº 397, de 3 de abril de 2008***. Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art.34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União. Brasília, 7 de abril de 2008.

CARVALHO, J. de A., REIS, J.B.R. da S. (2000), "Avaliação dos Custos de Energia de Bombeamento e Determinação do Diâmetro Econômico da Tubulação", Ciência Agrotec., v.24, n.2 (Abr./Jun.), pp.441-449.

CHRISTOFOLETTI, A. (2002), ***Modelagem de Sistemas Ambientais***. São Paulo: ed. Edgard Blücher Ltda.

CLARKE, R., KING, J. (2005), ***O Atlas da Água. O Mapeamento Completo do Recurso Mais Precioso do Planeta***. 1ª Edição, São Paulo: Publifolha.

CLEMENTE, A., SOUZA, A., COSENZA, C.A.N. *et al.* (2002), ***Projetos Empresariais e Públicos***. 2ª Edição. São Paulo: Editora Atlas.

COSTA E SILVA, A. C., FLORIO, E. R. A. (2005), "Experiência da SABESP em reúso." ***Anais do Workshop: Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas***.Campina Grande, PB.

CROOK, J. (1993), "Critérios de qualidade da água para reuso". ***Revista DAE – SABESP***, v 53, n. 174 (Nov-Dez), pp. 10 – 18.

DI BERNARDO,L., SABOGAL PAZ, L. P. (2008), ***Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água***. São Carlos, SP: Editora LDiBe Ltda.

DIAS, C. A. B. (2005), ***Utilização de Efluentes Sanitários Tratados como Água de Reúso Industrial na Região Metropolitana do Rio de janeiro: Uma Avaliação Preliminar***. Abes Rio – 30 anos.

DOWBOR, L. (2003), ***A reprodução Social. Política econômica e social: os desafios do Brasil***. Volume 2. Petrópolis, RJ: Editora Vozes.

DOWBOR, L., TAGNIN, R. (2005), ***Administrando a água como se fosse importante: gestão ambiental e sustentabilidade***. São Paulo: Editora Senac.

EIGER, S. (2003), "Autodepuração dos cursos d'água". In: Mancuso, P. C. S., Santos, H. F. (*eds*), *Reúso de Água*, capítulo 7. Barueri: Editora Manole.

EMOP – EMPRESAS DE OBRAS PÚBLICAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (2010), ***Catálogos de Referência EMOP 2010***. Rio de Janeiro.

FELIZZATTO M. R. (2001), "ETE Cagif: Projeto Integrado de Tratamento Avançado e Reúso Direto de Águas Residuárias", *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental* – ABES, n. 21. João Pessoa-PB.

FERNANDES, V. M. C. *Padrões para Reúso de Águas Residuárias em Ambientes Urbanos*. Disponível em: < http://www.upf.br/coaju/download/padroesreusoaguaII. pdf>. Acesso em: 7 de outubro de 2009.

FLORÊNCIO, L., BASTOS, R. K. X., AISSE, M. M., *et al.* (2006), ***Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários***. PROSAB 4 – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES.

GARCIA. G. de O., CECÍLIO, R. A., REIS, E. F. *Qualidade, Uso e Reúso de Água na Agropecuária*. Qualidade e Reúso de Água na Agropecuária. Disponível em: < http://files.giovannigarcia.webnode.com/200000020-cd68dcf5c4/QUALIDADE% 20

E%20RE%C3%9ASO%20DE%20%C3%81GUA%20NA%20AGROPECU%C3%81RIA.pdf>. Acesso em: 7 de outubro de 2009.

GONÇALVES, R. F. (2003), ***Desinfecção de Efluentes Sanitários.*** PROSAB 3 – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

HARREMOES, P. (2000), " *Advenced water treatment as tool in water scarcity management*", **W. Sci Tech**, v. 42, n. 12, p. 72-92. Disponível em: <www. iwapublishing.com/template.cfm?name=iwaphome>. Acesso em: 13 jan.2010.

HESPANHOL, I. (1997), "Esgoto como Recurso Hídrico". Parte I. ***Revista do Instituto de Engenharia***, v. 55, n. 523, pp. 45-48.

HESPANHOL, I. (2001), "Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aqüíferos". ***Bahia Análise & Dados***, v. 13, n. Especial, pp. 411-437. Salvador, BA.

JORDÃO, E. P., PESSOA, C. A. (2005), ***Tratamento de Esgotos Domésticos***. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES.

LAVRADOR FILHO, J. (1987), *Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil.* Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica de São Paulo da USP. São Paulo, SP, Brasil.

LEITE, A. M. F. (2003), *Reúso de Água na Gestão Integrada de Recursos Hídricos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Brasília. Brasília, DF, Brasil.

MACÊDO, J. A. B. (2003), ***Águas e Águas***. São Paulo: Editora Varela.

MACHADO, J. C. S. (2004), ***Gestão da Águas Doces***. Rio de Janeiro: Editora Interciência.

MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (2003), ***Reúso de Água***. São Paulo: Manole.

MARA, D.,; CAIRNCROSS, S. (organizadores) (1989), ***Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture***. Genebra, OMS.

MAY, P. H., LUSTOSA, M. C., VINHA, V. (2003), ***Economia do Meio Ambiente*** 4ª Reimpressão. Rio de Janeiro: Editora Campus.

METCALF & EDDY, INC. (1991), ***Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse***. 3ª Edição. The McGraw-Hill Companies Inc.

METCALF E EDDY, INC. (2003), ***Wastewater Engineering: Treatment and Reuse***. 4ª Edição. The McGraw-Hill Companies Inc.

MIERZVA, J. C., HESPANHOL, I. (2005), ***Água na Indústria: uso racional e reúso***. São Paulo: Oficina de Textos.

MOTA, F. S. B., VON SPERLING, M., *et al.* (2009), ***Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção***. PROSAB 5 – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES.

MUJERIEGO, R., ASANO, T. (1999), "The Role of Advanced Treatment in Wastewater Reclamation and Reuse". ***Water Science Technology***, Grã-Bretanha, v. 40, n. 4-5, p.1-9.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL (2010), *Água. O mundo Tem Sede*. Edição Especial, v. 10. n. 121 (Abril).

OLIVEIRA, A. C., FERNANDES, B. H. R. (2002), " Modelo de Gestão da Sanepar – Teoria e Conceito", **Revista Sanare**. Curitiba, v.17, n. 17 (Jan /Jun), pp. 06 - 19.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Meio Ambiente. Conferência de Estocolmo (2006). Disponível em: <http://www.mre.gov.Br/cdbrasil/Itamaraty/web/port/meioamb/sitamb/cfestoc/index.htm>. Acesso em 12 de agosto de 2009.

REBOUÇAS, A. do C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. (2006), ***Águas Doces do Brasil. Capital Ecológico, Uso e Conservação***. 3ª Edição. São Paulo: Editora Escrituras.

RICHTER, C. A., AZEVEDO NETTO, J. M. (2007), ***Tratamento de Água: tecnologia atualizada***. 7ª Reimpressão. São Paulo: Editora Blucher.

SANTOS, H. F. (2003), "Custos dos sistemas de reúso de água". In: MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F., *Reúso da Água*, capítulo 12. Barueri: Manole.

SANTOS, M. de O. R. M. dos. (2002), *O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário*. Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

SOUZA, M. A. A. (1992), *Methodology for Selection of Wastewater Treatment Processes*, Ph.D. thesis, The University of Birmingham, UK.

SOUZA, M. A. A. (1997a), "Reúso de Água". In: *Programa de Educação continuada em tecnologia apropriada e saneamento para professores universitários,* pp. 10. CEPIS – Centro Pan-americano de Ingenieria Sanitária y Ciências Del Ambiente. OPS – Organização Pan-Americana de Saúde. Lima, Peru.

SOUZA, M. A. A. (1997b), "Metodología de Analisis de Decisiones para Seleccionar Alternativas de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales". In: *Hojas de Divulgación*

Tecnica, n. 68, pp. 1-6. Lima, Peru: CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

SOUZA, M. A. A. (2004). "A imposição ambiental como fator indutor da implantação do reúso da água" In: *Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste.* ABRH. Goiânia, GO. Brasil.

SOUZA, M. A. A. (2006). "Reúso de água em irrigação ornamental no Distrito Federal: avaliando esgotos sanitários tratados em estudos com dália anã sortida". In: Relatório Técnico Consolidado para a Finatec, pp.70. Brasília, DF.

TRENTIN, C. V. (2005), *Diagnóstico Voltado ao Planejamento do Uso de Águas Residuárias para Irrigação nos Cinturões Verdes da Região Metropolitana de Curitiba-Pr*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, Brasil.

TUNDISI, J. G. *O Futuro dos Recursos*. MultiCiência (2003). Disponível em: < 2003.http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_01/A3_Tundisi_port.PDF> Acesso em 12 de julho de 2009.

USEPA – UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (2004a), ***Guidelines for water reuse***. Washington DC: USEPA.

VAITSMAN, D. S., VAITSMAN, M. S. (2005), ***Água Mineral***. 1ª Edição. Rio de janeiro – Editora Interciência.

VON SPERLING, M. (1996), ***Princípios do tratamento biológico de águas residuárias***. 2ª Edição. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. (2002), "Urban wastewater treatment technologies and implementation of discharge standards in developing countries". In: ***Urban Water***. v. 4, issue 1 (Março), pp. 105-114.

VON SPERLING, M. (1996), ***Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos***. 3ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG.

WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION & AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1998). ***Using Reclaimed Water to Augment Potable Water Resources***. Special publication, pp. 357.USA.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (1973), "Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards", ***Technical report series***, n. 517. Geneva.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (1989), “Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture”. ***Technical Report Series***, n. 778. Geneva.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006a), “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater”, ***Wastewater use in agriculture***, v. 2, pp. 222. Geneva.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006b), “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater”, ***Wastewater and excreta use in aquaculture***, v. 3, pp.149. Geneva.

WPCF - Water Pollution Control Federation (1989), "Water Reuse - Manual of Practice" - Second Edition. Alexandria – VA.