

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANEAMENTO

CARLOS CUSTÓDIO SANTOS DE REZENDE

Reúso potável de esgoto sanitário: possibilidades e riscos

SÃO CARLOS

2010

CARLOS CUSTÓDIO SANTOS DE REZENDE

Reúso potável de esgoto doméstico: possibilidades e riscos

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências (Engenharia Hidráulica e Saneamento)

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel

SÃO CARLOS

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

R467r Rezende, Carlos Custódio Santos de
Reuso potável de esgoto sanitário : possibilidades e
riscos / Carlos Custódio Santos de Rezende ; orientador
Luiz Antonio Daniel. -- São Carlos, 2010.


Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação e
Área de Concentração em Engenharia Hidráulica e
Saneamento) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2010.


1. Reúso da água. 2. Escassez hídrica. 3. Reuso
potável. 4. Estudo de caso. 5. Disponibilidade hídrica.
6. Tecnologia de tratamento de esgoto sanitário.
7. População reúso - aceitação. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Eng. Ambiental **CARLOS CUSTÓDIO SANTOS DE REZENDE**

Dissertação defendida e julgada em 15.10.2010 perante a Comissão Julgadora:


Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL - (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO


Prof. Associado **JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP) APROVADO


Prof. Dr. **EDUARDO MÁRIO MENDIONDO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO


Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento


Prof. Tit. **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Aos meus queridos pais José Carlos e
Eloá Maria e à Minha irmã Maria Victória

Agradecimentos

Ao meu Professor Dr. Luiz Antonio Daniel pela orientação, ensinamentos, confiança e amizade.

Aos meus Pais e irmã pelo eterno amor e apoio.

À Tia Marília pela sua grande sapiência e pela contribuição fundamental no desenvolvimento do meu caráter.

Ao professor Dr. Rafael Kopschitz Xavier Bastos pelos ensinamentos e por ter me apresentado o tema.

Ao Professor Dr. Ricardo Franci pelos trabalhos desenvolvidos na área que me fizeram gostar do tema.

Aos Professores Dr. Jurandyr Povinelli e Dr. Eduardo Cleto Pires pelas grandes contribuições dadas na minha primeira qualificação.

À UFV e à USP pela minha formação.

À CNPQ pelo suporte financeiro na forma de bolsa de estudos.

Aos funcionários do SHS por me auxiliarem sempre que precisei.

Aos meus colegas, amigos e pesquisadores do SHS pelos ótimos momentos em São Carlos.

Aos meus colegas do IEMA pela seriedade, profissionalismo e grande amizade.

Aos meus grandes e queridos amigos de Viçosa e Vitória pelos grandes momentos vividos e pelos que ainda que estão por vir.

Aos meus amigos de república pela amizade e companheirismo nessa reta final da dissertação

Lista de abreviaturas

BAS	Biofiltro aerado submerso
CONAMA	Conselho nacional de meio ambiente
COT	Carbono orgânico total
COV	Carga orgânica volumétrica
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DDE	Diclorodifenil dicloroetileno
DDT	Diclorodifeniltricloreto
DQO	Demanda química de oxigênio
EDCs	Perturbadores do sistema endócrino (Endocrine-disrupting chemicals)
ETA	Estação de tratamento de água
ETE	Estação de tratamento de esgoto
GLEMEDS	Síndrome de mortalidade, edema e deformidade embrionária dos Grandes Lagos (Great Lakes embryo mortality, edema, and deformity syndrome)
NTK	Nitrogênio Total Kjeldal
N-NH ₃	Nitrogênio amoniacal
N-NO ₂	Nitrogênio na forma de nitrito
N-NO ₃	Nitrogênio na forma de nitrato
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCBs	Policlorados bifenílicos
RMV	Região Metropolitana de Vitória
RO	Osmose inversa (Reverse Osmosis)
TBT	Tributilestanho
UASB	Reator anaeróbio de manta de lodo (Upflow anaerobic sludge blanket)
UF	Ultrafiltração
USEPA	Agência de proteção ambiental americana (United States Environmental Protection Agency)

RESUMO

REZENDE, C. C. S. **Reúso potável de esgoto sanitário: possibilidades e riscos.** 2010. 251p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

O atual cenário de escassez hídrica enfrentada por certas regiões e o crescente grau de poluição dos recursos hídricos motivam pesquisas por alternativas para suprir esse déficit, uma vez que a água é um dos mais importantes recursos. Nesse cenário o reúso de água é uma importante e estratégica alternativa de instrumento de gestão de recursos hídricos, pois ao mesmo tempo em que reduz a pressão sob as fontes de água, também reduz significativamente os impactos gerados pelos lançamentos de esgotos em corpos receptores. Desse modo, o trabalho contemplou uma modalidade de reúso ainda não muito estudada, o reúso potável. Por ser uma modalidade que apresenta grandes riscos o trabalho se apoiou nos três aspectos principais associados: tecnologia, escassez e aceitação da população. O trabalho apresenta um estudo de caso para Região Metropolitana de Vitória, onde foi realizada uma projeção da demanda por recursos hídricos para curto (2015), médio (2020) e longo (2030) prazos, que quando comparada com a disponibilidade hídrica da região, concluiu que num futuro próximo (2015) a demanda será maior que a oferta. Para suprir esse déficit foi proposta uma alternativa de sistema de reúso potável indireto e feito uma avaliação da aceitação da população.

Abstract

Rezende, C. C. S. **Potable reuse of wastewater: opportunities and risks**. 2010. 247p. M. Sc. dissertation. School of Engineering of São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

The current scenario of water scarcity faced by some regions and increasing degree of pollution of water resources motivate researches for alternatives to supply this deficit, since water is one of the most important resources. In this scenario, water reuse is an important and strategic alternative tool of water resources management, because while it reduces the pressure on water supplies, also significantly reduces the impacts caused by sewage discharge into receiving bodies of water. Thus, the work contemplated a form of reuse that is not so well studied, the potable reuse. Being a type that presents great risks, the work was supported in three main aspects associated with: technology, scarcity and public acceptance. The work presents a case study for the Metropolitan Region of Vitória, projected water demands for short (2015), medium (2020) and long (2030) terms, that when compared to water availability in the region, concluded that in the near future (2015) demand will be greater than the supply. To increase the disponibility of water was proposed an alternative system of indirect potable reuse and made an assessment of public acceptance.

Lista de Figuras

Figura 1: Representação espacial do índice de atendimento total de água dos participantes do SNIS em 2007 (indicador IN055), distribuído por faixas percentuais, segundo os estados brasileiros	9
Figura 2: Representação espacial do índice de atendimento total de coleta de esgotos dos participantes do SNIS em 2007 (indicador IN056), distribuído por faixas percentuais, segundo os estados brasileiros.....	10
Figura 3: Reúso Potável indireto não Planejado	20
Figura 4: Rotas potenciais de exposição de hormônios humanos no ambiente (Raimundo, 2007).....	56
Figura 5: Círculo de causalidade e seus componentes.....	80
Figura 6: Círculo de Causalidade para a temática Reúso potável de Água	81
Figura 7: Diagrama esquemático ilustrando o processo de tratamento envolvendo um típico esquema de reúso potável indireto	107
Figura 8: Mapa do Espírito Santo e bacia dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu ..	114
Figura 9: Mapa dos domínios hidrogeológicos do Espírito Santo. Adaptado de CPRM (2002)	119
Figura 10: Curva de crescimento da demanda hídrica.....	132
Figura 11: Detalhe da transposição entre as bacias do Rio Benevente e do Rio Santa Maria da Vitória	133
Figura 12: Perfil da adutora	133
Figura 13: Detalhe da proposta transposição do Rio Doce para RMV	138
Figura 14: Proposta de reúso potável indireto para incremento da disponibilidade hídrica	141

Figura 15: Esquema simplificado do tratamento biológico proposto.....	144
Figura 16: Tratamento avançado.....	148
Figura 17: Esquema de um modelo de separação por membranas (Gerada pelo programa rosa 7.1)	152
Figura 18: Resultado da avaliação da fonte de água para consumo.....	156
Figura 19: Avaliação da aceitação para os usos do sistema	158

Lista de tabelas

Tabela 1: Mudança da opinião pública devido à informação(DOLNICAR et.al. 2010)
.....108

Lista de Quadros

Quadro 1: Cobertura de sistema de abastecimento de água e coleta de esgoto por região no mundo (OMS, 2004)8

Quadro 2: Níveis de atendimento com água e esgotos dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2007, segundo a região geográfica (SNIS, 2007)9

Quadro 3: Riscos à Saúde relacionados ao tipo de Reúso (adaptado Rodrigues, 2005)24

Quadro 4: Doenças de veiculação hídrica causadas por protozoários.....28

Quadro 5: Doenças de veiculação hídrica causadas por protozoários.....29

Quadro 6: Doenças de veiculação hídrica causadas por bactérias.....31

Quadro 7: Doenças causadas por vírus34

Quadro 8: Classes de EDCs (adaptado de Esplugas et al (2007))38

Quadro 9: Exemplos de efeitos causados por EDCs à vida selvagem (adaptado de OMS, 2002)40

Quadro 10: Efeitos à saúde humana que podem estar relacionadas à exposição à EDCs (adaptado de OMS, 2002)..... 42

Quadro 11: Classes de PPCP (adaptado de Esplugas et al (2007))44

Quadro 12: Principais contaminantes inorgânicos e seus efeitos à saúde humana e possíveis fontes de contaminação USEPA(2009)..... 48

Quadro 13: Principais fontes dos contaminantes emergentes nas águas superficiais (RAIMUNDO, 2007).....	55
Quadro 14: Estruturas moleculares de alguns poluentes emergentes	58
Quadro 15: Diretrizes/Regulamentações de reúso de água por estado americano..	66
Quadro 16: legislação referente a uso racional	72
Quadro 17: Dispositivos legais estaduais e municipais referentes ao reúso de água	75
Quadro 18: NBR 13969 destinação e parâmetros de reúso	76
Quadro 19: Marcos histórico do reúso de água nos Estados Unidos (adaptado de Jiménez, B. e Asano, T., 2008).....	83
Quadro 20: Propostas recentes de reúso potável nos EUA (adaptado de Marks, 2006).....	85
Quadro 21: Experiências de reúso potável, adaptado de Rodriguez et al, 2009	87
Quadro 22: Níveis de tratamento de esgoto	99
Quadro 23: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento preliminar para sistemas de reúso.....	100
Quadro 24: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento primário para sistemas de reúso.....	101
Quadro 25: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento secundário para sistemas de reúso.....	102
Quadro 26: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento avançado para sistemas de reúso.....	104
Quadro 27: Disponibilidade Hídrica das Bacias do Rio Jucu e do Rio Santa Maria da Vitória.....	118

Quadro 28: Classificação hidrogeológica encontrados dentro dos limites das bacias de interesse (adaptado de Singhal e Gupta, 1999).....	119
Quadro 29: Dados de população dos Municípios da RMV para os anos de 1991 e 2000	122
Quadro 30: Cálculo das taxas geométrica de crescimento anual para a RMV	123
Quadro 31: Projeção da população da RMV	123
Quadro 32: Estimativa do consumo de água para abastecimento da RMV	124
Quadro 33: Cálculo da taxa de crescimento das lavouras da bacia do rio Jucu	125
Quadro 34: Projeção das lavouras irrigadas na bacia do Rio Jucu	125
Quadro 35: Cálculo da taxa de crescimento das lavouras da bacia do rio Santa Maria da Vitória	126
Quadro 36: Projeção das lavouras irrigadas na bacia do Rio Jucu	126
Quadro 37: Estações pluviométricas utilizadas	126
Quadro 38: Dados de ETP e P(CASTRO e SCÁRDUA (1985)).....	128
Quadro 39: Projeção da demanda para irrigação.....	128
Quadro 40: Projeção da população de bovinos.....	128
Quadro 41: Projeção da população de Suínos.....	129
Quadro 42: Projeção da população de Aves	130
Quadro 43: Projeção do consumo para dessedentação de animais	130
Quadro 44: Projeção da demanda causada pelos usos consultivos	131
Quadro 45: Resumo do projeto da adutora:	135
Quadro 46: estimativa do custo de construção da proposta de transposição do Rio Benevente	136
Quadro 47: Resumo do projeto da adutora:	139

Quadro 48: Estimativa de custo de construção da proposta de transposição do Rio Doce	139
Quadro 49: Parâmetros da classe 1 de águas superficiais (CONAMA 357/2005) ..	142
Quadro 50: Parâmetros de Dimensionamento:.....	143
Quadro 51: Resumo dos parâmetros de saída das unidades	147
Quadro 52: Parâmetros de Projeto do filtro lento.....	149
Quadro 53: Dados de projeto para unidade de UV + O3	151
Quadro 54: Especificações das membranas	153
Quadro 55: Resumo dos parâmetros de saída das unidades	153
Quadro 56: Parâmetros sugeridos para diretriz de reúso potável.....	163

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 PROBLEMÁTICA DA ÁGUA.....	5
3.2 Problemática do Saneamento.....	6
3.2.1 Panorama do Saneamento do Brasil.....	8
3.3 USO RACIONAL DA ÁGUA.....	13
3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE REÚSO	15
3.5 REÚSO NO BRASIL.....	19
3.6 RISCOS RELATIVOS AO REÚSO	21
3.6.1 RISCO MICROBIOLÓGICO.....	25
3.6.2 MICROCONTAMINANTES	36
3.6.3 Presença no Ambiente	54
3.7 REGULAMENTAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUA.....	62
3.7.1 Regulamentação internacional sobre reúso de água	62
3.7.2 Brasil	72
4.1 Abordagem do tema utilizando pensamento sistêmico.....	79

4.2 Avaliação das experiências de reúso potável	83
4.2.1 Estudos epidemiológicos	93
4.3 Avaliação das Tecnologias de tratamento.....	96
4.3.1 Classificação dos Processos	97
4.4 ANÁLISE QUANTO À ACEITAÇÃO PÚBLICA.....	106
4.5 O Caso Toowoomba, Austrália	108
4.6 Fatores religiosos	110
5 MATERIAL E MÉTODOS	113
Estudo de caso: Potencial da Região Metropolitana de Vitória para Reúso Potável Indireto.....	113
5.1 A Região Metropolitana de Vitória.....	113
5.2 Quantificação dos Recursos Hídricos	113
5.2.1 Águas Superficiais	113
5.2.2 Águas Subterrâneas.....	118
5.2.3 Águas Salinas.....	121
5.3 Estimativa dos Usos Consultivos	122
5.3.1 Consumo Humano.....	122
5.3.2 Irrigação.....	124
5.3.3 Dessedentação de Animais	128
5.3.4 Uso Industrial.....	131
5.4 Alternativas para incremento da disponibilidade hídrica	132
5.4.1 Transposição do Rio Benevente.....	132

5.4.2	Transposição do Rio Doce	137
5.4.3	Sistema de Reúso Potável Indireto	140
6	Verificação da aceitação da população	155
7	Discussões	160
7.1	Avaliação das tecnologias disponíveis.....	160
7.2	Poluentes emergentes	160
7.3	Microrganismos	161
7.4	Legislação e critérios de reúso	162
7.5	Avaliação das alternativas propostas do estudo de caso	163
7.6	Transposição do rio Benevente	163
7.7	Transposição do Rio Doce.....	163
7.8	Dessalinização.....	164
7.9	Águas subterrâneas.....	165
7.10	Proposta de sistema de reúso potável indireto para RMV	165
7.11	Avaliação da aceitação	166
8	Conclusões e Recomendações.....	169
8.1	Introdução	169
8.2	Conclusões sobre reúso potável	169
8.3	Conclusões sobre o sistema de reúso potável indireto para RMV.....	170
8.4	Conclusões sobre a avaliação da aceitação da população	171
8.5	Sugestões para trabalhos futuros	171

9 Referência Bibliográficas	173
ANEXO A.....	183
ANEXO B.....	199
ANEXO C.....	205
Apêndice I.....	211

1 INTRODUÇÃO

A relação entre saneamento e desenvolvimento é bastante clara. Em geral, países com grau de desenvolvimento mais elevado apresentam menores carências de atendimento de suas populações por serviços de saneamento. Ao mesmo tempo, países com melhores coberturas por saneamento têm populações mais saudáveis, o que por si só constitui um indicador de nível de desenvolvimento. (HELLER,1998)

A água é uma substância que propicia a vida na Terra. O aumento da população e o conseqüente aumento da pressão sobre os recursos naturais motivam a busca por alternativas de desenvolvimento sustentável. Em diversos centros de pesquisa são estudadas soluções para produção de água de reúso com qualidades próprias para diversas atividades como agrícolas, urbanas ou industriais, incentivadas pelos benefícios econômicos, sociais e ambientais dessa prática que também faz parte de um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (lei 9433/97) que é o uso racional da água.

Não há ainda lei federal que regulamenta a produção e a utilização de água de reúso no Brasil. Existem apenas algumas iniciativas legais estaduais e municipais, e a Política Nacional de Saneamento Ambiental não contempla de forma clara a modalidade de reúso de água. Portanto, serão seguidas recomendações e normas nacionais e internacionais para atender aos parâmetros de potabilidade da Portaria 518 do Ministério da Saúde e a de uso irrestrito do estado da Califórnia (Tittle 22).

Alguns fatores que motivam a atividade de reúso de água são:

- Escassez de água: apenas 0,3% de toda a água no mundo está prontamente disponível para captação, e sua distribuição é bem heterogênea, com locais com alta densidade populacional e pouca disponibilidade de água.
- Aumento do consumo de água: Com o crescimento da população e das atividades agrícolas e industriais o consumo de água tem um aumento significativo. Na região metropolitana de São Paulo, abastecida por vários sistemas de captação e tratamento de água, o maior deles é o sistema Cantareira, responsável pela captação de 33 m³/seg, valor muitas vezes maior que a vazão de referência de muitos rios brasileiros.
- Degradação do Meio ambiente: 500 anos de descaso com o meio ambiente no Brasil associado à falta investimentos na proteção, fizeram com que a quantidade e qualidade dos recursos hídricos fossem afetadas de maneira intensa, obrigando a busca por pontos de captação cada vez mais longe das grandes cidades, aumentando cada vez mais os custos e conseqüentemente as tarifas.
- Recurso com valor econômico: Com a política nacional de recursos hídricos instituído pela lei 9433 de 1997, a água passa a ser um recurso natural dotado de valor econômico, tornando necessária a racionalização do seu uso.
- Sustentabilidade: A busca pelo desenvolvimento sustentável é a solução para manutenção do modo de vida atual, isso quer dizer ter um ambiente vivível, economicamente viável e socialmente justo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade do reúso para fins potáveis, considerando principalmente os aspectos tecnológicos e os riscos associados a essa modalidade.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar uma revisão bibliográfica atualizada contendo as recentes aplicações do reúso de água em especial as experiências com reúso potável;
- Analisar o atual quadro no que se refere ao reúso potável de água no Brasil;
- Analisar teoricamente as técnicas disponíveis de tratamento de esgoto e de água verificando a possibilidade de eficiência para produção de água de reúso de qualidade potável;
- Verificar a aceitação da população quanto ao reúso de água

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROBLEMÁTICA DA ÁGUA

A água atualmente é considerada um bem finito, precioso, de valor inestimável, que deve ser conservada e protegida. Já a consideram como a causa de conflitos futuros internacionais em razão da sua disputa. (VIVARO, 2007)

O Ciclo hidrológico é capaz de transferir aproximadamente 40.000.000 m³ de água dos oceanos para a terra por ano, renovando o suprimento de água doce do mundo, quantidade muitas vezes superior à necessária para atender a população mundial, porém a escassez é causada devido à distribuição desigual da precipitação e do mau uso dos recursos hídricos. (MANCUSO, 2003)

Apesar da abundância de água no mundo, apenas 2,5% é de água doce e desses apenas 0,3% estão prontamente disponíveis para captação direta, ou seja, no estado líquido em rios e lagos. O Brasil tem uma posição privilegiada perante a maioria dos países quanto ao seu volume de recursos hídricos. Porém mais de 73% da água doce disponível no país encontram-se na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população e, apenas 27% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 95% da população (Setti et al, 2001 citado por Vivaro, 2007).

À medida que a relação entre a disponibilidade hídrica e demanda vai diminuindo, a probabilidade do surgimento de conflitos entre os diversos usuários dos recursos hídricos, bem como o surgimento de estresse ambiental, vai se tornando mais acentuada. (MIERZWA, 2002).

Para aumentar a disponibilidade hídrica, o reúso de água constitui uma importante ferramenta de gestão. No entanto, representa um desafio atual e futuro por envolver a convergência de várias áreas tais como o governo, sociedade (risco a saúde) e órgãos ambientais (regulamentações) (Maron, 2006). Para confirmar esse desafio e a necessidade de coesão entre os envolvidos, acrescenta-se a afirmativa de Asano (2002), o qual define como base para a implantação do reúso de água o tratamento seguro da água residuária, de acordo com normas de qualidade para a finalidade estipulada e a aceitação pública garantindo a sua saúde.

O reúso de águas residuárias atua como medida mitigadora da contaminação das águas subterrâneas e superficiais, por meio da redução da demanda por água dos mananciais tanto para as finalidades de captação, quanto para diluição de efluentes. O efeito da diminuição da água captada deve ser avaliado por seu principal impacto agregado, que é a redução no consumo de energia elétrica necessário para recalque e transporte da água (FELIZATTO, 2001).

Apesar da ocorrência de riscos, não se pode evitar o reúso, bem como aproveitar as oportunidades de aplicá-lo, pois devido ao crescente consumo, tornou-se uma parte importante do uso racional da água.

3.2 Problemática do Saneamento

Segundo a Organização mundial de saúde, saneamento constitui o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu estado de bem estar físico, mental ou social.

Para efeito de padronização, a tendência predominante no Brasil tem sido a de considerar como integrantes do saneamento as ações de:

- Abastecimento de água, caracterizado como o fornecimento às populações de água em quantidade suficiente e com qualidade que a enquadre nos padrões de potabilidade;
- Esgotamento sanitário, compreendendo a coleta dos esgotos gerados pelas populações e sua disposição de forma compatível com a capacidade do meio ambiente em assimilá-los;
- Limpeza pública, incluindo todas as fases de manejo dos resíduos sólidos domésticos, até sua disposição final, compatível com as potencialidades ambientais;
- Drenagem pluvial, significando a condução das águas pluviais, de forma a minimizar seus efeitos deletérios sazonais sobre as populações e as propriedades;
- Controle de vetores de doenças transmissíveis, especialmente artrópodes e roedores.

As regiões em desenvolvimento apresentam quase sempre carência na cobertura de serviços de saneamento. O quadro 1 ilustra tal fato, onde se verifica carência no abastecimento de água potável e principalmente rede de coleta de esgoto nas regiões em desenvolvimento no mundo.

QUADRO 1: COBERTURA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E COLETA DE ESGOTO POR REGIÃO NO MUNDO (OMS, 2004)

Região	Cobertura (%)	
	Água	Esgoto
África	62	60
Ásia	81	48
América Latina e Caribe	85	78
Oceania	88	93
Europa	96	92
América do Norte	100	100

3.2.1 Panorama do Saneamento do Brasil

De acordo com dados do Sistema Nacional de informações sobre Saneamento (SNIS), para o ano de 2007 o índice médio de atendimento em relação à população total dos prestadores de serviços participantes do SNIS foi de 80,9% para água, 42,0% para coleta de esgoto e 32,5% para tratamento dos esgotos. Já o índice médio de atendimento urbano foi de 94,2% para água e 49,1% para coleta de esgotos. Os dados por região de abastecimento de água, coleta de esgotos e tratamento de esgoto estão apresentados no quadro 2 e os dados por estado estão ilustrados nas figuras 1 e 2

Quadro 2: Níveis de atendimento com água e esgotos dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2007, segundo a região geográfica (SNIS, 2007)

Região	Índice de atendimento				
	Água		Esgotos		Tratamento dos esgotos gerados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	52,9	64,2	5,1	6,2	9,6
Nordeste	68,7	90,1	18,9	25,4	29,8
Sudeste	90,9	98,2	65,3	70,8	33,8
Sul	86,2	99,5	31,5	37,2	29,5
Centro-oeste	87,7	98,3	43,9	48,4	41,8
Brasil	80,9	94,2	42	49,1	32,5

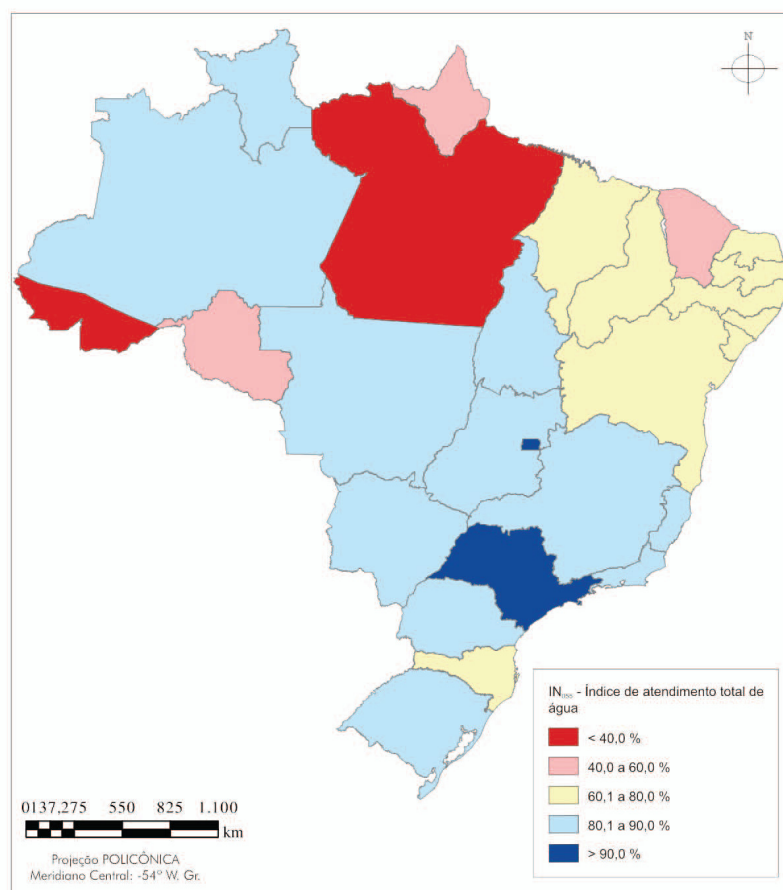
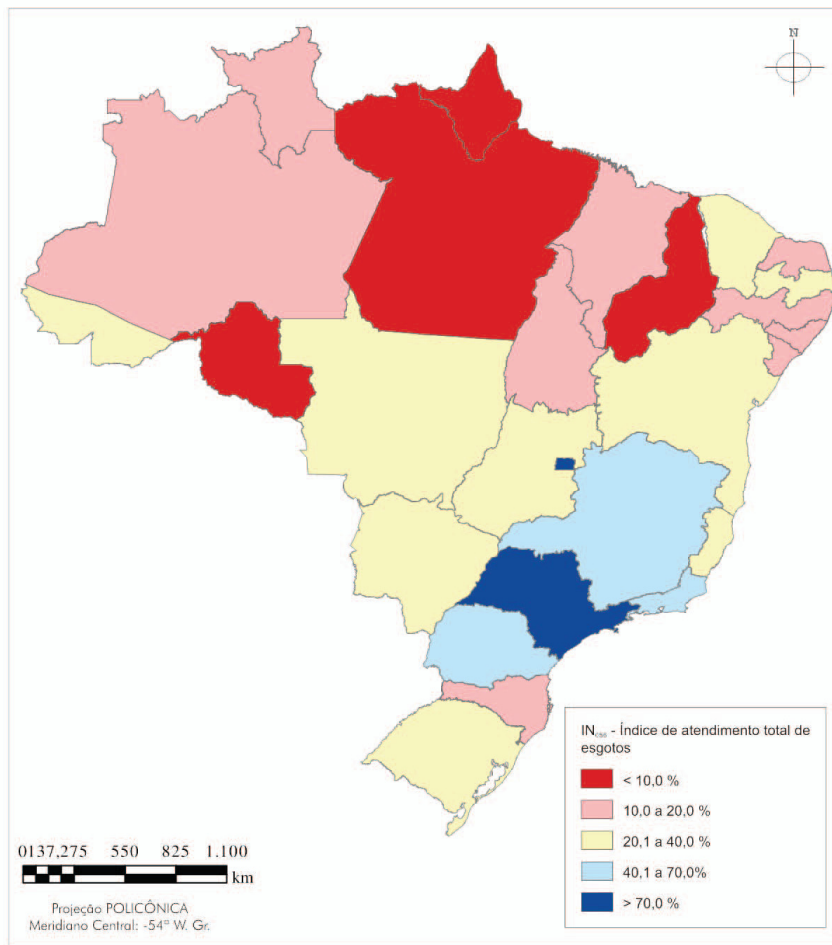


Figura 1: Representação espacial do índice de atendimento total de água dos participantes do SNIS em 2007 (indicador IN055), distribuído por faixas percentuais, segundo os estados brasileiros



Fonte: Malha municipal digital do Brasil, Base de Informações Municipais 4. IBGE, 2003.

Figura 2: Representação espacial do índice de atendimento total de coleta de esgotos dos participantes do SNIS em 2007 (indicador IN056), distribuído por faixas percentuais, segundo os estados brasileiros

Em Estudo realizado pelo Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS, no ano de 2007, fez-se uma análise da probabilidade do Brasil cumprir as metas estabelecidas pelas Nações Unidas, das quais o Brasil é signatário, relativas ao atendimento com serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, no caso a “ODM 7 – Garantir a sustentabilidade ambiental“. Essa meta tem como alvo “Reduzir pela metade, até 2015, a proporção de população de 1990 sem acesso permanente à água potável segura (ao abastecimento de água) e ao esgotamento sanitário”.

Ou seja:

- 84,88% da população de 2015 deve ter acesso ao abastecimento de água (171.475.634 pessoas, segundo projeção feita no Estudo);
- 69,71% da população de 2015 deve ter acesso ao esgotamento sanitário (140.829.011 pessoas, segundo projeção feita no Estudo).

De acordo com o mesmo estudo a situação concernente ao abastecimento de água é a seguinte:

- índice de atendimento em 2000: 77,8%;
- índice de atendimento em 2007: 80,9%;
- média de crescimento anual: 0,44%;
- índice para atender o ODM: 84,88%;
- déficit em 2007 para atingir o ODM: 3,98%;

Portanto para se atingir as metas para abastecimento de água o crescimento médio deve se repetir **9 vezes**.

Em relação ao esgotamento sanitário a situação é a seguinte:

- índice de atendimento em 2000: 37,1%;
- índice de atendimento em 2007: 42,0%;
- média de crescimento anual: 0,70%;

- índice para atender o ODM: 69,71%;
- déficit em 2007 para atingir o ODM: 27,71%;

Portanto para se atingir as metas para esgotamento sanitário o crescimento médio deve se repetir **40 vezes**.

Com posse desses dados, conclui-se que ainda faltam muitos investimentos para atingir as metas do milênio no que se refere ao esgotamento sanitário, em contra partida para o abastecimento de água a meta está em vias de ser cumprida.

De acordo com a OMS (2006), o reúso de água se relaciona com as metas do milênio nos seguintes aspectos:

- A utilização segura das águas residuais, dejetos e águas cinzas contribui para menor pressão sobre os recursos de água doce e reduz os riscos de saúde para as comunidades a jusante.
- Melhoria do saneamento em apoio à utilização segura de efluente sanitário reduz os fluxos de resíduos humanos em cursos de água, ajudando a proteger a saúde humana e ambiental.
- Melhoria da gestão dos recursos hídricos, incluindo o controle da poluição e conservação da água, é um fator chave na manutenção da integridade do ecossistema.

- Dependendo do contexto local, desenvolver a agricultura perto dos centros urbanos utilizando resíduos como adubos, pode contribuir de forma importante para melhorar a subsistência dos moradores de favelas.

3.3 USO RACIONAL DA ÁGUA

Na Conferência Internacional de Água e Meio Ambientes (ICWE) realizada nos dias 26 a 31 de janeiro de 1992 em Dublin, Irlanda, especialistas diagnosticaram que a situação futura dos recursos hídricos no mundo é crítica. Na conclusão do evento, foram elaborados a Declaração de Dublin e o Relatório da conferência, estabelecendo quatro princípios para gestão sustentável das águas:

- A água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o meio ambiente;
- Gerenciamento e desenvolvimento da água deverão ser baseados numa abordagem participativa, envolvendo usuários, planejadores legisladores em todos os níveis;
- As mulheres formam papel principal na provisão, gerenciamento e proteção da água;

- A água tem valor econômico em todos os usos competitivos e deve ser reconhecida como um bem econômico.

Na ECO 92', realizada no Rio de Janeiro, foram discutidos os resultados da conferência de Dublin, que foram utilizados na elaboração do capítulo 18 da Agenda 21 que trata da proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos. Nesse documento foram propostos os seguintes programas para o setor de água doce:

- Desenvolvimento e manejo integrado dos recursos hídricos;
- Avaliação dos recursos hídricos;
- Proteção dos recursos hídricos, da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos;
- Abastecimento de água potável e saneamento;
- Água e desenvolvimento urbano sustentável;
- Água para produção sustentável de alimentos e desenvolvimento rural sustentável;
- Impactos da mudança do clima sobre os recursos hídricos.

Assim, a Conferência de Dublin, a ECO 92' e a Agenda 21, além da necessidade de se regulamentar o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal de 1988, culminaram na Política Nacional de Recursos Hídricos, lei 9433 de 1997.

A política nacional dos recursos hídricos instituída pela Lei federal 9433 de 1997 tem como um dos seus objetivos a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável, incentivada pelo instrumento cobrança pelo uso da água. Desta forma, o reúso é uma alternativa eficaz, pois além de diminuir a captação de água, também reduz a geração de efluentes.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE REÚSO

A terminologia usada para o reúso de água é muito ampla e por isso, podem ocorrer distorções na sua definição, bem como na caracterização de cada categoria do reúso. (VIVARO, 2007)

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (1973), tem-se:

Reúso Indireto: 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: trata-se do uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.

Reciclagem interna: é o reúso da água internamente em instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Lavrador Filho (1987), citado por MANCUSO (2003), sugere a seguinte terminologia em relação às categorias de reúso de água:

Reúso de 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. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas.

Reúso indireto não planejado de água: ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Trata-se de um subproduto não intencional da descarga de montante.

Reúso indireto planejado de água: ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.

Reúso planejado de água: ocorre quando o reúso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) adotou a classificação proposta por Westerhoff (1984) citado por MANCUSO (2003) que classifica o reúso de água em dois grupos: potável e não potável.

Reúso potável direto: quando o esgoto através de tratamento avançado pode ser diretamente aplicado no sistema de água potável.

Reúso potável indireto: caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.

Reúso não potável: Este tipo de reúso apresenta um potencial muito amplo e diversificado. Por não exigir níveis elevados de tratamento, vem se tornando um processo viável economicamente e, conseqüentemente, com rápido desenvolvimento.

Segundo Okun, (1996) o reúso de água para fins não potáveis podem ser uma opção vantajosa em comunidades onde:

- Suprimentos de água doce são limitados em quantidade;

- Novas fontes de água de qualidade satisfatória só podem ser obtidas a alto custo;
- Um grande usuário ou uma classe de usuários pode seguramente utilizar água de qualidade inferior a que é requerida para consumo humano ou
- O tratamento para lançamento em corpo receptor necessite de tratamento avançado e o tratamento para uso não potável seja menos dispendioso.

Reúso não potável para fins agrícolas: embora quando se pratica essa modalidade de reúso via de regra haja, como subproduto, recarga do lençol subterrâneo, o objetivo principal dessa prática é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais, etc., e plantas não alimentícias tais como pastagens e forrageiras, além de ser aplicável para dessedentação de animais. É uma modalidade em que a remoção de nutrientes é contraindicada, porque a adição de fertilizantes artificiais pode ser reduzida ou completamente eliminada.

Reúso não potável para fins industriais: abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo para utilização em caldeiras, etc.

Reúso não potável para fins recreacionais: classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e também para enchimento de lagoas ornamentais, recreacionais, etc.

Reúso não potável para fins domésticos: são considerados aqui os casos de reúso de água para rega de jardins residenciais, para descargas sanitárias e utilização desse tipo de água em grandes edifícios.

Reúso para manutenção de vazões: a manutenção de vazões de cursos de água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carregadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem.

Aquacultura ou aqüicultura: consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando à obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados.

Reúso para recarga de aquíferos subterrâneos: é a recarga dos aquíferos subterrâneos com efluentes tratados, podendo se dar de forma direta através de injeção sob pressão, ou de forma indireta utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

3.5 REÚSO NO BRASIL

O reúso potável indireto não planejado é uma realidade, uma vez que os efluentes gerados por uma cidade será o afluente da estação de tratamento de água de outra cidade a jusante como pode ser observados como ilustrado na figura 3. Em

muitos casos, os efluentes são tratados objetivando remover apenas matéria orgânica.



Figura 3: Reúso Potável indireto não Planejado

Além dessa modalidade, o reúso não potável também já é utilizado em grande escala. A Sabesp, já reaproveita 780 mil metros cúbicos de água por mês proveniente de estações de tratamento de esgotos, volume suficiente para abastecer toda a população de um município como Taubaté. (MORELLI, 2005)

Para ilustrar o reúso não-potável (em larga escala) no Brasil, o efluente tratado da ETE ABC é vendido em caminhões pipa para fins não potáveis. Parte do

efluente gerado pela ETE ABC passa por um filtro aerado biológico e tratamento físico-químico (floculação, decantação), com a adição de policloreto de alumínio como coagulante, seguido por filtração e desinfecção por cloro, Os resíduos gerados no tratamento são retornados à ETE ABC.

O Projeto Aquapolo, que visa à produção de água de reúso para abastecimento industrial com capacidade de produção de 1000 l/s, prevê a construção de uma estação de tratamento terciário em uma área de 15 mil m² dentro da ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) ABC, da Sabesp, localizada na divisa entre os municípios de São Paulo e São Caetano do Sul. Para levar a água de reúso gerada para o Pólo Petroquímico, será construída uma adutora de aço com 17 km de extensão, que passará pelos municípios de São Caetano do Sul e Santo André até chegar ao Pólo em Mauá. (<http://www.anpei.org.br> – acesso 06/06/2010)

O reúso não potável em instalações prediais está em franca expansão, principalmente o reúso de águas cinza tratadas para descarga de lavatórios, motivados pela economia de água para esse fim.

3.6 RISCOS RELATIVOS AO REÚSO

Segundo Hepanhol (2001), a presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reúso, principalmente naqueles oriundos de estações de tratamento de esgotos de grandes conurbações com pólos industriais expressivos, classifica o reúso potável

como uma alternativa associada a riscos muito elevados, tornando-o praticamente inaceitável. Porém ele é possível se forem seguidos os seguintes critérios básicos:

- **Utilizar apenas sistemas de reúso indireto:** a Organização Mundial da Saúde não recomenda o reúso direto, visualizado como a conexão direta dos efluentes de uma estação de tratamento de esgoto a uma estação de tratamento de água e, em seguida, ao sistema de distribuição;
- **Utilizar exclusivamente esgoto doméstico:** devido à impossibilidade de identificar adequadamente a enorme quantidade de compostos de alto risco, particularmente micro-poluente orgânicos, presentes em efluentes líquidos industriais, mananciais que recebem, ou receberam, durante períodos prolongados, esses efluentes, são, "a priori", desqualificados para a prática de reúso para fins potáveis. O reúso, para fins potáveis, só pode ser praticado, tendo como matéria prima básica esgoto exclusivamente doméstico.
- **Empregar barreiras múltiplas nos sistemas de tratamento:** os elevados riscos associados à utilização de esgotos, mesmo domésticos, para fins potáveis, exigem cuidados extremos para assegurar proteção efetiva e permanente dos consumidores. Os sistemas de tratamento a serem implementados devem ter unidades de tratamento suplementares, além daquelas teoricamente necessárias. É recomendável, quando possível, reter o esgoto já tratado, em aquíferos subterrâneos, por períodos prolongados, antes de se encaminhar a água para abastecimento público.

- **Adquirir aceitação pública e assumir as responsabilidades pelo empreendimento:** os programas de reúso para fins potáveis devem ser, desde a fase de planejamento, motivo de ampla divulgação e discussão com todos os setores da população concernente. Para a implementação, deve haver aceitação pública da proposta de reúso. Por outro lado, as responsabilidades técnica, financeira e moral, que cabem às entidades encarregadas do planejamento, implementação e gestão do sistema de reúso, devem ser explicitamente reconhecidas e assumidas.

Os riscos de saúde pública estão diretamente associados às diferentes aplicações possíveis do reúso, que podem implicar, de alguma forma, a exposição do homem aos contaminantes presentes na água recuperada.

Estes são decorrentes da presença nos esgotos de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas e de microorganismos patogênicos, que quando encontrados acima de determinadas concentrações, são prejudiciais ao homem. (Rodrigues, 2005).

Os principais riscos associados ao homem em função do tipo de reúso estão ilustrados no quadro 3.

Quadro 3: Riscos à Saúde relacionados ao tipo de Reúso (adaptado Rodrigues, 2005)

Tipo de Reúso	Risco à Saúde
Agrícola	Contaminação de consumidores de alimentos contaminados com organismos patogênicos e/ou substâncias químicas tóxicas; Contaminação direta dos trabalhadores; Contaminação do público por aerossóis; Contaminação de consumidores de animais que se alimentam de pastagens irrigadas, ou que sejam criados em lagoas contaminadas.
Industrial	Conexão cruzada entre sistemas de água potável e de reúso; Se utilizada como água de processo, pode haver contaminação de produtos comestíveis; Contaminação direta dos trabalhadores.
Recreacional	Doenças de veiculação hídrica, infecção nos olhos, ouvidos e nariz; Ingestão de contaminantes químicos ou irritação dos olhos e mucosas, devido aos efluentes industriais; Contaminação direta dos trabalhadores.
Recarga de Aqüífero	Contaminação de aqüíferos utilizados como fonte de água potável. Contaminação direta dos trabalhadores.
Reúso Urbano Não Potável	Conexão cruzada entre sistemas de água potável e de reúso; Contado coma água recuperada utilizada para irrigação de parques e jardins ou lavagem de ruas; Contaminação direta dos trabalhadores.
Reúso Potável	Ingestão de contaminantes biológicos e químicos; Contaminação direta dos trabalhadores.

3.6.1 RISCO MICROBIOLÓGICO

Desde a década de 1840, havia referências que as epidemias de febre tifóide e de cólera em Londres estavam relacionadas com águas de má qualidade.

Estudos do médico John Snow sobre epidemias anteriores, como a epidemia de cólera de 1854 na mesma cidade, que levou ao óbito mais de 600 pessoas em menos de uma semana, foram decisivos para finalmente demonstrar a veiculação de doenças pela água. O estudo culminou com a segunda publicação do livro desse autor, *On the Mode of Communication of Cholera*, no qual são relatadas evidências da relação entre a contaminação da água com a transmissão da doença e que é considerado o primeiro tratado de Epidemiologia (PADUA, 2005).

3.6.1.1 Microrganismos Indicadores de contaminação fecal

Devido à inviabilidade técnica e econômica de se avaliar e quantificar a existência de todos os organismos patogênicos é comum a adoção de indicadores de contaminação fecal.

Um indicador ideal deve apresentar as seguintes características:

- Ser um constituinte normal da flora intestinal de indivíduos sãos;
- Estar presente, de forma exclusiva, nas fezes de animais homeotérmicos;

- Estar presente quando os microrganismos patogênicos também estão;
- Apresentar-se em número elevado, facilitando sua identificação e quantificação;
- Deve ser incapaz de se reproduzir fora do intestino dos animais homeotérmicos;
- Seu tempo de sobrevivência deve ser igual ou superior ao das bactérias patogênicas (sua resistência aos fatores ambientais deve ser igual ou maior a dos organismos patogênicos de origem fecal);
- Deve ser fácil de analisar e quantificar e
- Não ser patogênico

Tradicionalmente, a qualidade microbiológica da água era aferida por meio da verificação da presença/ausência de organismos indicadores de contaminação, mais especificamente as bactérias do grupo coliforme. Entretanto, essa abordagem é hoje reconhecidamente insuficiente.

Nesse sentido, para que um organismo cumpra o papel de indicador da eficiência do tratamento, torna-se necessário que além de ser mais resistente aos processos de tratamento que os patógenos, que o mecanismo de remoção de ambos seja similar. Em linhas gerais, bactérias e vírus são inativados por desinfecção, enquanto (oo) cistos de protozoários são, preponderantemente,

removidos por processos de separação (decantação e filtração). Quanto à resistência aos agentes desinfetantes, também em linhas gerais, em ordem crescente apresentam-se as bactérias, os vírus, os protozoários e os helmintos, estes praticamente imunes. Assim sendo, rigorosamente, os coliformes só se prestam como indicadores da desinfecção e inativação de bactérias patogênicas. No que toca à avaliação da qualidade virológica e parasitológica da água tratada, torna-se necessário o emprego de indicadores complementares não-biológicos, a exemplo dos parâmetros de controle da desinfecção (tempo de contato x cloro residual) e da turbidez (BASTOS et al., 2001).

3.6.1.2 Protozoários

Protozoários são organismos unicelulares sem parede celular. Em linhas gerais são aeróbios ou facultativos. São de maioria heterótrofa, embora existam algumas espécies autótrofas, se alimentam de bactérias, algas e outros microrganismos. A maioria é vida livre, no entanto alguns são patogênicos como mostra o Quadro 4.

Quadro 4: Doenças de veiculação hídrica causadas por protozoários

Doença	Agente etiológico	Sintomas
Amebíase	Protozoário (<i>Entamoeba histolytica</i>)	Desconforto abdominal, fadiga, perda de peso, diarreia, flatulência, febre
Criptosporidiose	Protozoário (<i>Cryptosporidium parvum</i>)	Sintomas semelhantes ao resfriado, diarreia aquosa, perda de apetite, perda substancial de peso, flatulência, náusea
Ciclosporidíase	Protozoário (<i>Cyclospora cayetanensis</i>)	Cólica, náusea, vômito, dor muscular, febre e fadiga
Giardíase	Protozoário (<i>Giardia lamblia</i>) Parasita intestinal mais comum	Diarreia, desconforto abdominal, inchaço abdominal e flatulência
Microsporidiose	Protozoário (<i>Microsporidia</i>)	Diarreia e morte de indivíduos imunossuprimidos

3.6.1.3 Helmintos

Helminto é um termo genérico utilizado para se referir a animais invertebrados superiores dos filos platelmintos e nematelmintos muitas vezes causadores de doenças apresentadas no quadro 5.

Quadro 5: Doenças de veiculação hídrica causadas por protozoários

Doença	Agente etiológico	Sintomas
Esquistossomose	Membros do gênero <i>Schistosoma</i>	febre, mal estar, cefaléias, astenia, dor abdominal, diarreia sanguinolenta, dispnéia, hemoptise, artralgias, linfonomegalia e esplenomegalia, um conjunto de sintomas conhecido por síndrome de Katayama
Dracunculose (Doença do verme da Guiné)	<i>Dracunculus medinensis</i>	Reações alérgicas, prurido urticante, náusea, vômito, diarreia e ataque asmático
Cisticercose	Ovos de vermes do gênero <i>Taenia</i>	Um cisticerco localizado no cérebro, por exemplo, pode causar dores de cabeça, convulsões, confusão mental e até morte Alojada na coluna e região muscular, causa dor e dificuldades de locomoção e na região ocular, distúrbios visuais e até cegueira.
Fasciolopsíase	<i>Fasciolopsis buski</i>	Distúrbio gastrointestinal, diarreia, hepatomegalia, inflamação da visícula,
Himenolepsíase	<i>Hymenolepis nana</i>	Dor abdominal, anorexia, prurido anal, manifestação nervosa

Quadro 5: Doenças de veiculação hídrica causadas por protozoários (continuação)

Doença	Agente etiológico	Sintomas
Echinococcosis	<i>Echinococcus granulosus</i>	Hepatomegalia, cisto hidátil pressionando duto biliar e vasos sanguíneos, caso ocorra rompimento do cisto pode causar choque anafilático.
Coenurose	<i>Taenia multiceps</i>	Aumento da tensão intracraniana
Ascaridíase	<i>Ascaris lumbricoides</i>	A maioria assintomática ou acompanhada de inflamação, febre e diarreia. Casos severos envolvem síndrome de Löffler nos pulmões, náusea, vômito, subnutrição e subdesenvolvimento.
Enterobiosis	<i>Enterobius vermicularis</i>	Prurido perianal, irritabilidade nervosa, hiperatividade e insônia

3.6.1.4 Bactérias

São os principais microrganismos responsáveis pela conversão de matéria orgânica nos sistemas de tratamento biológico e no meio ambiente e também são os principais causadores de doenças intestinais e outras doenças (Quadro 6).

Quadro 6: Doenças de veiculação hídrica causadas por bactérias

Doença	Agente Etiológico	Sintomas
Botulismo	<i>Clostridium botulinum</i>	Boca seca, visão turva e/ou dupla, dificuldade de engolir, fraqueza muscular, dificuldade de respirar, vômito e algumas vezes diarreia. Óbito é causado por falência respiratória
Campilobacteriose	Mais comum ser causada por <i>Campylobacter jejuni</i>	Produz sintomas tipo disenteria com febre alta. Usualmente dura de 2 a 10 dias
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Em formas severas é conhecida por ser uma das doenças fatais mais rápidas. Sintomas incluem diarreia muito aquosa, náusea, cólicas, sangramento do nariz, pulso rápido, vômito e hipovolemia (em casos severos), a certo ponto morte pode ocorrer em 12 a 18 horas.
Infecção por <i>E. coli</i>	Certas cepas de <i>Escherichia coli</i>	Basicamente diarreia. Pode causar morte em indivíduos imunodeprimidos, muito jovens e velhos devido à desidratação

Quadro 6: Doenças de veiculação hídrica causadas por bactérias (continuação)

Doença	Agente Etiológico	Sintomas
Infecção por <i>M. marinum</i>	<i>Mycobacterium marinum</i>	Doenças causadas por contato externo primário Sintomas incluem lesões tipicamente localizadas nos cotovelos, joelhos e pés (em piscinas) ou lesões nas mãos (aquário), podendo ser indolores ou dolorosas. Infecções em indivíduos imunosuprimidos.
Disenteria	Causada por espécies do gênero <i>Shigella</i> e <i>Salmonella</i> com a mais comum <i>Shigella dysenteriae</i>	Fezes com sangue e/ou muco e em alguns casos vômito de sangue
Legionelose (duas formas distintas: doença do Legionário e Febre de Pontiac)	Causada por bactérias do gênero <i>Legionella</i> (90% dos casos causadas por <i>Legionella pneumophila</i>)	A Febre de Pontiac é uma legionelose não pneumônica. A doença do Legionário tem sintomas severos como febre, calafrios, pneumonia, ataxia, anorexia, fraqueza muscular, diarreia e vômito
Leptospirose	Causada por bactéria do gênero <i>Leptospira</i>	Começa com sintomas parecidos com resfriado que passa. O segundo estágio ocorre envolvendo meningite, danos no fígado (causando icterícia) e falência renal.
Otite externa	Causada por um grande número de espécies de fungos e bactérias.	Corrimento no canal auditivo, causando dor e desconforto ao toque.
Salmonelose	Causada por várias bactérias do gênero <i>Salmonella</i>	Sintomas incluem diarreia, febre, vômito e cólicas abdominais.

Quadro 6: Doenças de veiculação hídrica causadas por bactérias (continuação)

Doença	Agente Etiológico	Sintomas
Febre Tifóide	<i>Salmonella typhi</i>	Caracterizada por febre até 40°C, sudorese intensa, diarreia, menos comum: erupções cutâneas. Sintomas podem evoluir para delírio e esplenomegalia se não tratada. Nesse caso, pode durar até 4 semanas e causar morte.
Septicemia primária	<i>Vibrio vulnificus</i> , <i>Vibrio alginolyticus</i> , e <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Sintomas incluem diarreia explosiva e aquosa, náusea, vômito, cólicas abdominais e ocasionalmente febre. Também pode ser contraída consumindo ostras cruas.

3.6.1.5 Vírus

Vírus são organismos essencialmente parasitas, de constituição simples. São formados por material genético (DNA ou RNA) envolto por carapaça protéica denominada capsídeo. São causadores de doença (Quadro 7) e são dificilmente removidos no sistema de tratamento convencional de água. Por esse motivo os vírus apresentam uma preocupação para o planejamento de sistemas de tratamento de água para reúso. Os processos de desinfecção que envolvem agentes físicos, como a luz ultravioleta (UV), apresentam grande eficiência na inativação de vírus (Daniel, 2001).

Quadro 7: Doenças causadas por vírus

Doença	Agente etiológico	Sintomas
Infecção por Adenovirus	Adenovirus	Sintomas incluem sintomas do resfriado comum, pneumonia, inflamação na garganta e bronquite
Gastroenterite	Astrovirus, Calicivirus, Adenovirus entérico, Parvovirus	Sintomas incluem diarreia, náusea, vômito, febre, indisposição e dor abdominal.
SARS (Síndrome aguda severa do sistema respiratório)	Coronavirus	Sintomas incluem febre, dor muscular, letargia, sintomas gastrointestinais, tosse e garganta seca.
Hepatite A	Hepatitis A virus (HAV)	Sintomas apenas agudos incluindo fadiga, febre, dor abdominal, náusea, diarreia, perda de peso, coceira, icterícia e depressão

Quadro 7: Doenças causadas por vírus (continuação)

Doença	Agente etiológico	Sintomas
Poliomelite (Pólio)	Poliovirus	90 a 90% dos pacientes não apresentam sintomas, 4 a 8 % apresentam sintomas menos intensos como delírio, dor de cabeça, febre e ocasionalmente epilepsia e paralisia, 1% tem sintomas de poliomielite não-paralítica com meningite asséptica. O resto sérios sintomas resultantes em paralisia ou morte
Infecção por Polyomavirus	Dois tipos de Polyomavirus: JC virus e BK virus	BK virus causa infecção respiratória mediana, e pode infectar os rins de pacientes transplantados. JC vírus infecta o sistema respiratório, rins ou podem causar progressiva multifocal leucoencefalopatia no cérebro que é fatal

3.6.2 MICROCONTAMINANTES

Nas áreas urbanas a qualidade e quantidade dos recursos hídricos estão constantemente reduzindo em razão do aumento das captações de água potável e dos lançamentos de efluentes. À medida que a população cresce, ocorre um aumento do uso de produtos de higiene, produtos químicos e farmacêuticos que eventualmente serão lançados no ambiente. Muitos desses produtos não são biodegradáveis ou não são removidos nos sistemas convencionais de tratamento de esgoto causando incerteza quanto aos efeitos, principalmente em longo prazo, dessas substâncias no ambiente.

Uma crescente preocupação tem gerado diversos trabalhos a respeito de microcontaminantes, sendo também denominados poluentes emergentes, sejam eles orgânicos como fármacos, pesticidas, hormônios, toxinas, e inorgânicos como os íons, pois estes estão presentes em esgotos domésticos, que são considerados seguros para a prática de reúso em comparação com outros efluentes.

PADUA (2009) apresenta resultados de vários trabalhos com boas eficiências de remoção de diversos microcontaminantes utilizando carvão ativado, processos oxidativos e separação por membranas.

3.6.2.1 Perturbadores Endócrinos

Os perturbadores endócrinos ou EDCs (do inglês Endocrine Disruptor Compounds) são substâncias exógenas que agem como hormônios no sistema endócrino e podem perturbar o funcionamento fisiológico de hormônios endógenos causando efeitos adversos na saúde de organismos ou em sua prole ou em populações (OMS, 2002).

De acordo com a OMS, a preocupação acerca desse assunto se deve a:

- Efeitos adversos observados em animais selvagens, peixes e ecossistemas;
- A crescente incidência de certas doenças endócrinas em humanos e
- Perturbação hormonal em animais resultante da exposição a certos químicos observada em experiências laboratoriais.

No quadro 8 está apresentado a relação das classes de perturbadores do sistema endócrino humano e alguns exemplos. Commission of the European Communities (2001) em seu anexo 1 elaborou uma lista identificando 553 substâncias produzidas pelo homem e 9 hormônios sintéticos ou naturais que são avaliados seus efeitos como perturbadores do sistema endócrino.

Quadro 8: Classes de EDCs (adaptado de Esplugas et al (2007))

Classe de EDC	Composto detectado	Uso/Origem
Ftalatos	Butilbenzilftalato, di-(2- etilhexil) ftalato e di- <i>n</i> -butilftalato	São encontrados em detergentes, resinas e alguns aditivos e monômeros usados na produção de plásticos
Pesticidas	DDT, DDE, deltamethrin, carbofurano, atrazine, lindano, vinclozolina, carbendazim e tributilin	Amplamente usados na agricultura. Inseticidas, herbicidas e fungicidas estão inclusos nessa classe
Compostos orgânicos com estanho	Tributilestanho (TBT) e trifenilestanho	Compostos usados na pintura de cascos de navios para reduzir o crescimento de cracas
Alquilfenóis (Surfactantes)	Nonilfenol, nonilfenol etoxylato, octilfenol, octilfenol etoxylato	São usados durante a produção de resinas fenólicas, aditivos plásticos, emulsificantes, e aplicações na agricultura e na indústria
Dioxinas e Furanos	Dibenzo- <i>p</i> -dioxina, 2,3,7,8- tetraclorodibenzo- <i>p</i> -dioxina e 2,3,7,8- tetraclorodibenzofurano	Produzidos durante a incineração de compostos clorados aromáticos, papel e na produção de PVC
Bisfenóis	Bisfenol A	Bisphenol A é usado na manufatura de polímeros (policarbonados e resinas epoxy), retardante de chamas e borrachas sintéticas
Parabenos	Metil, etil, propil e butilparabenos	Composto usado como conservante em muitos cosméticos e produtos de higiene pessoal

Quadro 8: Classes de EDCs (continuação)

Classe de EDC	Composto detectado	Uso/Origem
Policloretos bifenílicos (PCBs)	2,2_,4,4_-Tetrabromado difenil éter, 2,5-dicloro-4, hidroxibifenil	PCB's foram usadas como fluido de arrefecimento e lubrificantes em transformadores, capacitores, e outros equipamentos elétricos. No entanto não são mais usados, estão presentes em instalações antigas
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)	Fluoreno, phenantreno, fluoranteno, antraceno, pireno, and naftaleno	Compostos gerados durante combustão incompleta de processamento de carvão, petróleo e madeira
Retardante de chamas bromados	Hexabromocyclododecano, poly-bromado difenil éters e tetrabromobisfenol A	Compostos usados em muitos produtos incluindo móveis, têxteis, equipamentos eletrônicos
Esteróides sintéticos	Dietilstilbestrol e 17_- etinilestradiol	Fármacos considerando principalmente contraceptivos orais bem como esteróides usados por terapias de reposição durante a menopausa
Fitoestrógenos	Daidzeno e genisteina, matairesol, enterodiol e Enterolactona	Substâncias naturalmente encontradas em muitos vegetais comestíveis como grãos, cereais, vegetais e outros
Hormônios naturais	Estrona, 17_-estradiol	Estrógenos naturalmente e diariamente excretados na urina de humana e animais
Metais pesados	Cádmio, Mercúrio e chumbo	Mineração industrial e metalurgia

3.6.2.1.1 Efeitos dos EDC's à vida selvagem

Muitos estudos de campo e de laboratório têm mostrado que a exposição a certos EDCs tem contribuído para efeitos adversos em algumas espécies selvagens e populações (OMS, 2002).

Para ilustrar as adversidades causadas à vida selvagem serão mostrados exemplos no Quadro 9.

Quadro 9: Exemplos de efeitos causados por EDCs à vida selvagem (adaptado de OMS, 2002)

Classe	EDC	Impacto associado ao EDC
Mamíferos	PCB's, DDE	Impactos no sistema reprodutor e imunológico de Focas do Báltico resultando em significativo declínio populacional
Aves	DDT	Diminuição da espessura da casca dos ovos e alteração do desenvolvimento das gônadas resultando em reduções severas da população das aves expostas
	PCB	Síndrome de abnormalidades embrionárias em aves pesqueiras. (GLEMEDS)
Répteis	Pesticidas	Lançamento de pesticidas no lago Apopka (Flórida, EUA) causou declínio na população de crocodilos do local
	Organoclorados	Abnormalidades nas gônadas e no desenvolvimento foram observadas e atribuídas a várias contaminações por organoclorados que perturbam a homeostase do sistema endócrino

Quadro 9: Exemplos de efeitos causados por EDCs à vida selvagem (continuação)

Classe	EDC	Impacto associado ao EDC
Anfíbios	Dados insuficientes para identificar o agente causador	Declínio na população de anfíbios observados em ambos os ambientes virgens e povoados no mundo todo
Peixes	Químicos presentes em efluentes da indústria de papel e celulose	Efeitos nas funções endócrinas reprodutivas e contribuição para alteração no desenvolvimento reprodutivo.
Invertebrados	TBT	Masculinização de gastrópodes marinhos causando declínio na população

3.6.2.1.2 Efeitos à saúde humana

A análise de dados em humanos, ao passo que geram preocupações, não tem se mostrado eficazes em confirmar evidência direta associando exposição à EDCs a efeitos adversos. É difícil comparar e integrar resultados de diversos estudos, porque os dados são geralmente coletados em diferentes períodos de tempo, usando experimentos delineados diferentemente e sobre condições de exposição diferentes. Mesmo nesse cenário de dificuldades, vários efeitos à saúde humana foram sugeridos à exposição à EDCs. No Quadro 10 serão ilustrados alguns exemplos de efeitos à saúde humana que podem estar associados à exposição à EDCs

Quadro 10: Efeitos à saúde humana que podem estar relacionadas à exposição à EDCs (adaptado de OMS, 2002)

Efeito à saúde humana	Evidência
Efeitos reprodutivos	Declínio da qualidade do esperma humano (analisado desde os anos 30) observada em vários países. Aumento na taxa de abortos espontâneos Declínio da taxa dos sexos (menos homens) observado em várias regiões e países e associadas a agentes externos
Endometriose	Exposição a certos EDCs estão associadas à ocorrência de endometriose, sendo necessários mais estudos para comprovação
Puberdade precoce	A preocupação com a influência dos EDCs na diminuição do tempo de puberdade aumentou, no entanto outros fatores como nutrição ainda precisam ser esclarecidos

Quadro 10: Efeitos à saúde humana que podem estar relacionadas à exposição à EDCs (continuação)

Efeito à saúde humana	Evidência
Funções neurais	Exposição (particularmente pré-natal) a certos químicos em especial EDCs como as PCBs tem mostrado efeitos adversos no desenvolvimento neurológico, nas funções neuroendócrinas e comportamento
Funções imunológicas	Ainda não está clara a relação entre mecanismos mediados pelo sistema endócrino, no entanto a exposição a certos EDCs tem mostrado alterações nas funções imunológicas de humanos e animais.
Câncer	Aumento temporal na incidência de alguns tipos de cânceres em tecidos sensíveis a hormônios estão relacionados à exposição aos EDCs
Câncer de Mama	Numerosos estudos epidemiológicos e experimentais têm levado à determinação de qual EDC pode contribuir para o aumento ao risco de câncer de mama. No entanto ainda faltam estudos avaliando a exposição à EDCs em fases críticas do desenvolvimento (uterina, infância, adolescência, adulta).
Câncer endometrial	Poucos dados para avaliar a relação de EDCs a essa enfermidade
Câncer nos testículos	Aumento temporal na incidência de câncer nos testículos tem sido reportado em certos países. A incidência de Criptorquidia e hipospadia está relacionada geograficamente com a incidência de câncer nos testículos e podendo estar relacionadas aos EDCs
Câncer de próstata	Exposição a certos pesticidas e organoclorados estão relacionados à incidência de câncer de próstata
Câncer de tireóide	Associação direta entre EDCs e câncer de tireóide ainda não foram demonstradas

3.6.2.2 Fármacos e produtos de cuidados pessoais (PPCP)

Os PPCPs, do inglês *pharmacs and personal care products*, da mesma forma que os EDCs têm gerado muitas preocupações sobre seus efeitos no meio ambiente, uma vez que a sua concentração no ambiente está aumentando.

Nos rios da região de South East Queensland, Australia, foram detectadas baixas concentrações de antibióticos, em comparação com as concentrações afluentes às estações de tratamento de esgoto. As concentrações de antibióticos detectadas (na ordem de $\mu\text{g/l}$) estão bem abaixo das doses que causam efeito clínico em humanos (geralmente, mg/l), no entanto a preocupação maior é com o grande aumento na detecção de bactérias resistentes a antibióticos nas águas superficiais nos rios, que foi associada à descarga dessas drogas no ambiente (WQRA, 2006).

No quadro 11 está apresentado a relação das classes de PPCP e alguns exemplos de compostos.

Quadro 11: Classes de PPCP (adaptado de Esplugas et al (2007))

Classe PPCP	Composto detectado	Uso/Origem
Analgésicos/não-esteróidal antiinflamatórios (NSAIDs)	Acetaminophen (analgésico), diclofenaco, ibuprofeno, ketoprofeno, naproxeno, phenazone, indomethacine	NSAIDs são as mais usadas e abusadas drogas no mundo hoje. Todos NSAIDs apresentam efeitos analgésico, antipirético e anti-inflamatório

Quadro 11: Classes de PPCP (continuação)

Classe PPCP	Composto detectado	Uso/Origem
Antibióticos	Sulfonamidas, fluoroquinolonas, trimetoprim, chlortetracyclina, erythromycina, lincomycina, oxytetracyclina, tetracycline, roxithromycina, tylosina	Antibióticos são remédios de importância vital para o tratamento de infecções bacterianas em ambos os animais e humanos
Antiepilépticos	Carbamazepine	Anti-epilépticos são comumente usados na medicina para parar, prevenir e controlar apoplexias (convulsões, apoplexias parciais, apoplexia generalizada)
Anti-hipertensivos	Bisoprolol, metoprolol, propranolol	Anti-hipertensivos são usados para reduzir pressão sanguínea das artérias. É difícil prevenir a hipertensão, porque pressão sanguínea alta usualmente não dá sinais ou sintomas
Antineoplásicos	Cyclophosphamide, ifosfamide	Antineoplásicos são comumente usados no tratamento de vários tumores sólidos, linfomas, leucemias e algumas desordens anti-imúnicas como artrite reumatóide

Quadro 11: Classes de PPCP (continuação)

Classe PPCP	Composto detectado	Uso/Origem
Anti-sépticos	Triclosan	Anticépticos são agentes químicos que reduzem ou param o crescimento de microrganismos em superfícies externas do corpo. Anticépticos se diferenciam dos antibióticos porque destroem microrganismos encontrados em objetos inanimados (fômites)
Contraceptivos	7 α -Ethinylestradiol	Contraceptivos são produtos químicos tomados oralmente para inibir a fertilidade normal por ação no sistema hormonal
Broncodilatadores (Simpatomiméticos)	Albuterol	Broncodilatadores são remédios que ajudam abrir os tubos branquiais dos pulmões, permitindo mais ar flua para dentro deles
Reguladores lipídicos	Clofibrate, bezafibrate	Reguladores lipídicos podem ser usados para diminuir níveis de colesterol e triglicerídeos no sangue
Essências de almíscar sintéticas	Nitromusks, galaxoline, tonalide, polycyclic musks, Metabolites reduzidos de nitromusks	Essências sintéticas são comumente usadas em perfumes
Anti ansiedade / agentes hipnóticos	Diazepam	Anti-ansiedade/ hipnóticos são usados para controlar a ansiedade, nervosismo, e tensão associada a desordens de ansiedade

Quadro 11: Classes de PPCP (continuação)

Classe PPCP	Composto detectado	Uso/Origem
Filtro solares	Benzophenone, methylbenzylidene camphor, octylmethoxycinnamate	Filtro solares proporcionam proteção contra os efeitos danosos dos raios ultravioletas vindas do sol
Agentes de contraste de raio-x	Diatrizoate, iopamidol, iopromide, iomepol	Agentes de contraste radioativos (ou agente de contraste) são compostos usados para aumentar a visibilidade interna de estruturas corpóreas em imagens de raio-X

3.6.2.3 Microcontaminantes Inorgânicos

Uma grande parte dos micropoluentes inorgânicos é tóxica, em especial os metais. (Von Sperling, 2005). Os riscos relacionados à contaminação por micropoluentes inorgânicos são semelhantes para o reúso potável quanto para o abastecimento público. O quadro 12 apresenta uma lista contendo os principais contaminantes inorgânicos seus efeitos à saúde.

Quadro 12: Principais contaminantes inorgânicos e seus efeitos à saúde humana e possíveis fontes de contaminação USEPA(2009).

Contaminante inorgânico	Concentração máxima do Contaminante CMC (mg/l)	Efeitos potenciais à saúde para exposição a longo termo acima da concentração máxima do contaminante	Fonte de contaminação
Antimônio	0,006	Aumento do colesterol sanguíneo e diminuição de açúcar no sangue	Descarga de refinaria de petróleo, retardantes de chama, cerâmicas, eletrônicos e solda.
Arsênico	0,010	Danos à pele ou problemas no sistema circulatório e aumento no risco de câncer.	Erosão de depósitos naturais, escoamento superficial de pomares, escoamento superficial de resíduos de vidro e eletrônicos

Quadro 12: Principais contaminantes inorgânicos e seus efeitos à saúde humana e possíveis fontes de contaminação (continuação)

Contaminante inorgânico	Concentração máxima do Contaminante (CMC)	Efeitos potenciais à saúde para exposição a longo termo acima da concentração máxima do contaminante	Fonte de contaminação
Asbestos (fibra >10 micrômetros)	7 (Milhões de fibras por litro)	Risco aumentado de desenvolver pólipos intestinais, grande suspeita de estar relacionada à mesotelioma de pleura e peritônio.	Decomposição de cimento amianto, erosão de depósitos naturais.
Bário	2	Aumento da pressão sanguínea.	Descarga de resíduos de perfuração de poços, descarga de refinarias, erosão de depósitos naturais.
Berílio	0,004	Lesões no intestino	Descarga de metalúrgicas e fábricas que queimam carvão e descarga de indústrias militares e eletrônicas
Cádmio	0,005	Danos nos rins	Corrosão de tubulações galvanizadas, erosão de depósitos naturais, descarga de metalúrgicas, lixiviados de resíduos de baterias e tintas
Cromo (total)	0,1	Dermatite alérgica	Descarga de siderúrgicas e indústrias de celulose, erosão de depósitos naturais

Quadro 12: Principais contaminantes inorgânicos e seus efeitos à saúde humana e possíveis fontes de contaminação (continuação)

Contaminante inorgânico	Concentração máxima do Contaminante (CMC)	Efeitos potenciais à saúde para exposição a longo termo acima da concentração máxima do contaminante	Fonte de contaminação
Cobre	1,3	Curto tempo de exposição: desconforto gastrointestinal Longo tempo de exposição: Danos ao fígado ou rins	Corrosão de tubulações domésticas, erosão de depósitos naturais
Cianeto	0,2	Danos aos nervos, ou problemas na tireóide	Descarga de indústrias siderúrgicas ou metalúrgicas, descarga de fábricas de plástico e fertilizante
Fluoreto	4,0	Doença nos ossos (dor ou sensibilidade dos ossos) Crianças podem apresentar fluoretose	Adicionado à água de abastecimento para fortalecimento dos dentes; erosão de depósitos naturais; descarga de fábricas de fertilizantes e alumínio.
Chumbo	0,015	Bebês e crianças: Atrasos no desenvolvimento físico ou mental, as crianças podem apresentar ligeiro déficit de atenção e habilidades de aprendizagem. Adultos: Problemas nos rins e aumento da pressão sanguínea	Corrosão de tubulações residenciais; erosão de depósitos naturais

Quadro 12: Principais contaminantes inorgânicos e seus efeitos à saúde humana e possíveis fontes de contaminação (continuação)

Contaminante inorgânico	Concentração máxima do Contaminante (CMC)	Efeitos potenciais à saúde para exposição a longo termo acima da concentração máxima do contaminante	Fonte de contaminação
Mercúrio (inorgânico)	0,002	Danos aos rins	Erosão de depósitos naturais; descarga de refinarias e fábricas; escoamento superficial de aterros e terras de cultivo
Nitrato	10	Metaemoglobinemia em bebês ou síndrome do bebê azul.	Escoamento superficial de terras adubadas quimicamente, esgoto, erosão de depósitos naturais
Nitrito	1	Metaemoglobinemia em bebês ou síndrome do bebê azul.	Escoamento superficial de terras adubadas quimicamente, esgoto, erosão de depósitos naturais
Selênio	0.05	Perda de cabelos ou unhas, dormência nos dedos; problemas circulatórios	Descarga de refinarias de petróleo, erosão de depósitos naturais, descarga de minas
Tálio	0,002	Perda de Cabelo, alterações no sangue, problemas nos rins, intestino ou fígado	Lixiviado de processamento de minérios, descarga de fábricas de eletrônicos, vidro, e drogas

3.6.2.4 Drogas Ilícitas

O Uso de drogas como cocaína, crack, maconha, opiáceos, anfetamínicos, solventes e outros tem aumentado no mundo todo. Segundo dados do Observatório Brasileiro de informações sobre Drogas (OBID), no Brasil, o uso de cocaína aumentou de 0,4% em 2001 para 0,7% da população entre 15 e 64 anos em 2005. (Folha de São Paulo, 2005)

A prevalência de uso na vida de qualquer droga, exceto tabaco e álcool, teve a maior porcentagem na região Nordeste, onde 27,6% dos entrevistados já fizeram uso de alguma droga. A região com menor uso na vida foi a Norte com 14,4%. No Brasil, o uso na vida para qualquer droga (exceto tabaco e álcool) foi de 22,8%. Esta porcentagem é, por exemplo, próxima ao Chile (23,4%) e quase metade dos EUA (45,8%) (OBID, 2005).

Estudar a presença de drogas em águas residuárias apresenta basicamente dois interesses principais:

- As drogas ilícitas são consideradas poluentes emergentes ambientais;
- O conhecimento de sua concentração no esgoto bruto pode ser valiosa na estimativa do uso de drogas ilícitas nas comunidades locais (Zuccato et al., 2005).

A presença de Drogas ilícitas no ambiente se deve basicamente ao seu uso, uma vez que são excretadas em sua forma pura ou na forma de metabólitos, este em maior parte.

Kasprzyk-Hordern et al (2009) estudaram a ocorrência de duas drogas ilícitas, anfetamina e cocaína e seu principal metabólito benzoilecgonina em dois rios no País de Gales, além de duas estações de tratamento de esgoto, identificando a presença em 100% das amostras coletadas nos afluentes das estações de tratamento de esgoto na ordem até de micrograma e outra conclusão interessante foi a que o sistema de lodos ativados removeu 100% das drogas estudadas.

Recentemente a Polícia Federal do Brasil apresentou o projeto piloto “QuAnTox”, que pretende monitorar o consumo de drogas a partir das redes de esgoto das cidades com o objetivo de aperfeiçoar o combate ao tráfico no país.

Folha de São Paulo, São Paulo, 5 agosto. 2010. p. C7.

3.6.3 Presença no Ambiente

RAIMUNDO (2007) estudou a presença de vários EDCs e fármacos na Bacia do Rio Atibaia, onde se encontra a Região Metropolitana de Campinas (RMC), área com alta densidade populacional e industrial. Concluiu que o Brasil se encontra em um nível inferior com relação aos países europeus e os EUA no que se refere ao controle destes compostos e também concluiu que as concentrações dos compostos estudados encontrados nas águas superficiais da RMC são semelhantes às aquelas presentes em efluentes de ETE destes países, reflexo da precariedade em que se encontra sistema de saneamento básico no país.

3.6.3.1 Fontes de contaminação

As Fontes de Contaminação podem ser classificadas em fontes pontuais ou difusas. As fontes pontuais são classificadas como entrada direta dos poluentes no ambiente, podendo ser facilmente identificadas e diagnosticadas, ao contrário das fontes difusas cuja origem não pode ser facilmente identificada. No quadro 13 são apresentadas as principais fontes de contaminação dos corpos de água superficiais assim como os contaminantes geralmente associados ao tipo de poluição

Quadro 13: Principais fontes dos contaminantes emergentes nas águas superficiais (RAIMUNDO, 2007)

Fontes	Tipo de Fontes	Compostos emergentes provavelmente presentes
Esgoto doméstico	Pontual	Hormônios naturais e sintéticos, alquilfenóis, ftalatos, bisfenol A, fármacos, cafeína, drogas ilícitas
Esgoto industrial	Pontual	Alquilfenóis, ftalatos, bisfenol A, pesticidas, PCB, HPA, retardantes de chama
Efluente industrial	Pontual	Ftalatos, bisfenol A, pesticidas, PCB, HPA, retardantes de chama, dioxinas
Deflúvio agrícola	Difusa	Pesticidas, HPA
Deflúvio pecuário	Difusa	Hormônios naturais e sintéticos, antibióticos, fármacos veterinários
Deflúvio urbano	Difusa	Pesticidas e HPA, retardantes de chama
Deposição atmosférica	Difusa	HPA, BPC, pesticidas, dioxinas, furanos, retardantes de chama
Natural	Difusa	HPA, estrogênios naturais e fitoestrogênios

3.6.3.2 Vias de exposição

Hormônios naturais e sintéticos são excretados diariamente pela urina e em menor proporção pelas fezes. Apesar de possuírem meia vida relativamente curta (cerca de 2 a 6 dias), os estrógenos naturais são continuamente lançados no ambiente, o que lhes concede um caráter de persistência. A figura 4 ilustra as possíveis rotas de exposição de hormônios ao ambiente (RAIMUNDO, 2007)

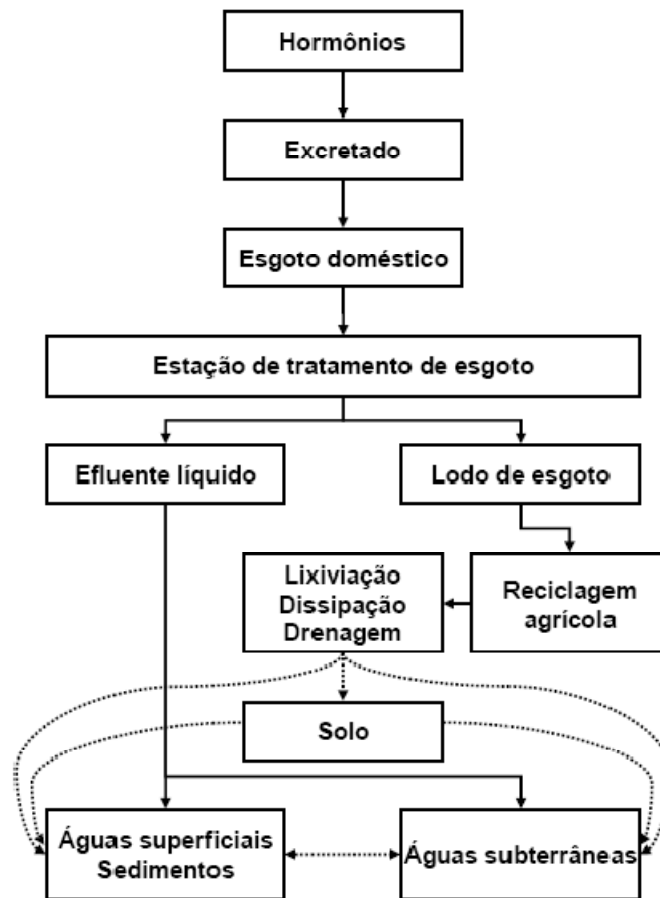


Figura 4: Rotas potenciais de exposição de hormônios humanos no ambiente (Raimundo, 2007)

3.6.3.3 Remoção de poluentes emergentes

O processo de adsorção é uma alternativa com eficiência reconhecida na remoção de microcontaminantes orgânicos, como fármacos, organoclorados e cianotoxinas. Fernandes (2007) usando um tratamento composto de pré-oxidação com hipoclorito de sódio, adsorção em carvão ativado em pó e tratamento físico-químico (coagulação, floculação, sedimentação e filtração rápida) alcançou eficiências de remoção superiores a 97,5% de 17 α -Ethinilestradiol que é um princípio ativo sintético presente na formulação dos contraceptivos utilizados por parcela expressiva da população feminina.

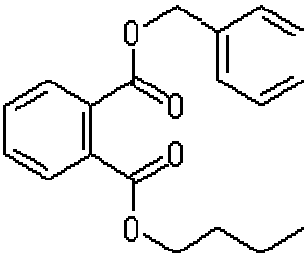
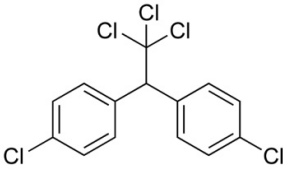
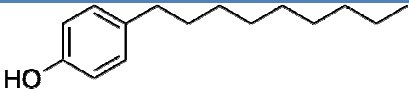
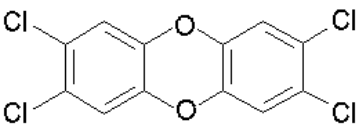
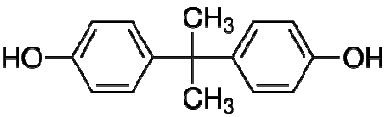
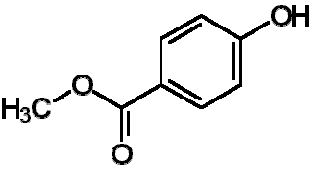
A ozonização é um processo muito interessante para remoção de moléculas orgânicas, uma vez que anéis aromáticos e ligações C=C são vulneráveis. Como pode ser ilustra o quadro 14, grande parte dos poluentes emergentes contém muitas ligações desses tipos.

Flyborg et al (2009a) avaliaram o potencial da ozonização seguido de ultrafiltração considerando o reúso potável indireto. Estudaram, em escala piloto, a eficiência de remoção de 95 fármacos normalmente encontrados no esgoto sanitário e apenas três não foram removidos até o limite de detecção, obtendo eficiências de remoção da ordem de 99% e concluíram que a combinação utilizada apresenta duas vantagens: fluxo específico 35% maior quando comparado com ultrafiltração simples e possibilidade de remoção dos subprodutos da ozonização.

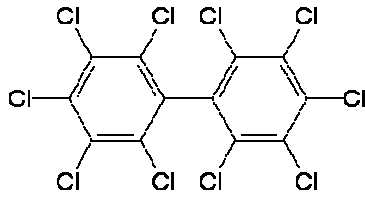
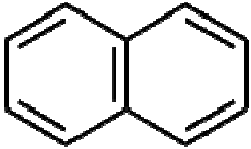
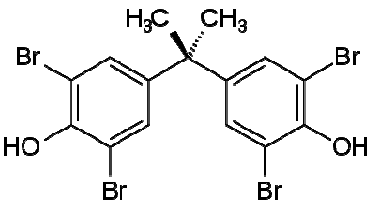
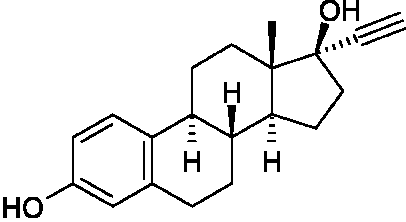
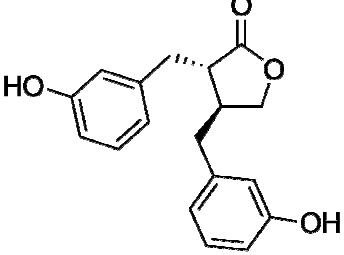
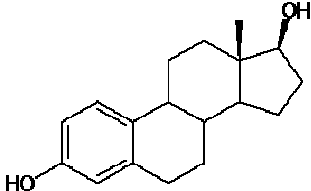
Flyborg et al (2009b) concluíram que a combinação de ozonização com nanofiltração é eficiente na remoção de fármacos sendo reduzidos no mínimo 99% e mesmo aqueles com baixo peso molecular (menor que 200g/mol) são removidos.

Ainda são necessários estudos a respeito desse tema, no entanto verifica-se que as tecnologias disponíveis de tratamento avançado de água podem ser suficientes para remoção desses contaminantes.

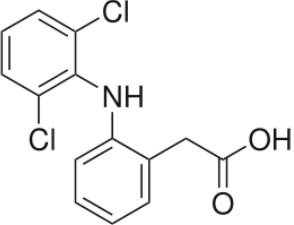
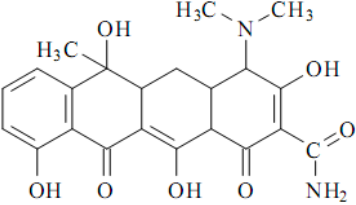
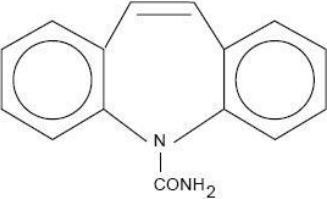
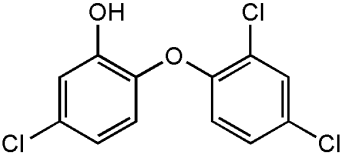
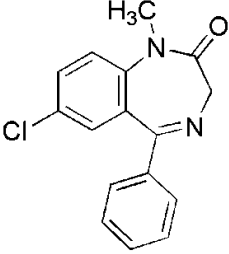
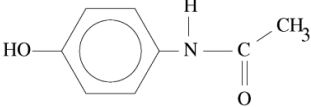
Quadro 14: Estruturas moleculares de alguns poluentes emergentes

Classe de Poluentes emergentes	Estrutura molecular	Exemplo
Ftalatos		Butilbenzilftalato
Pesticidas		DDT
Surfactantes		Nonilfenol
Dioxinas e Furanos		p-dioxina
Bisfenóis		Bisfenol-A
Parabenos		Metilparabeno

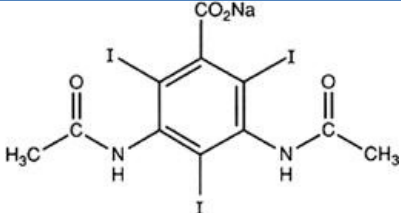
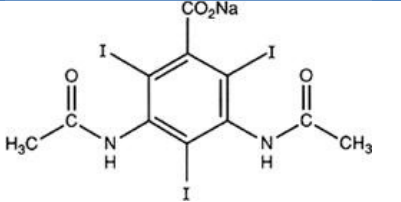
Quadro 14: Estruturas moleculares de alguns poluentes emergentes (Continuação)

Classe de Poluentes emergentes	Estrutura molecular	Exemplo
Policloreto s bifenílicos		
Aromáticos policíclicos		Naftaleno
Retardante de chamas		Tetrabromobisfenol
Esteróides sintéticos		17α-etinilestradiol
Fito-estrógenos		Enterolactona
Hormônios Naturais		17β-Estradiol

Quadro 14: Estruturas moleculares de alguns poluentes emergentes (Continuação)

Classe de Poluentes emergentes	Estrutura molecular	Exemplo
Antiinflamatório		Diclofenaco
Antibióticos		Tetraciclina
Antiepiléptico		Carbamazepina
Anticéptico		Triclosan
Tranquilizante		Diazepan
Analgésico		Paracetamol

Quadro 14: Estruturas moleculares de alguns poluentes emergentes (Continuação)

Classe de Poluentes emergentes	Estrutura molecular	Exemplo
Contraste de Raio-X		Diatrizoato
Drogas Ilícitas		Cocaína

3.7 REGULAMENTAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUA

Em geral, as regulamentações e as diretrizes sobre o reúso, surgem com a necessidade de adequar as práticas que já ocorrem, ou ainda prevendo a sua ocorrência em um futuro próximo. Os regulamentos e as diretrizes se diferenciam, pois os primeiros têm força de lei, e as diretrizes não, podendo ser adotadas voluntariamente. Algumas vezes os regulamentos incluem as diretrizes quando estas também passam a ser obrigatórias. (RODRIGUES, 2005)

Os critérios de qualidade para reúso de água são baseados em requisitos de usos específicos, em considerações estéticas e ambientais e na proteção da saúde pública.

Os critérios de qualidade diferem bastante quando se comparam países industrializados com países em desenvolvimento, diferença que pode ser parcialmente atribuída a fatores como viabilidade econômica, tecnologia disponível, nível geral da saúde das populações e características políticas sociais. (CROOK, 1998)

3.7.1 Regulamentação internacional sobre reúso de água

O texto a seguir é parte de um estudo sobre regulamentação internacional acerca do tema reúso de água. As principais referências foram Rodrigues (2005), USEPA (2004) e WHO (1989)

3.7.1.1 Estados Unidos

Atualmente, não existe regulamentação federal legislando diretamente as práticas de reutilização de água nos EUA. No entanto vários estados estão desenvolvendo suas regulamentações individualmente. Em novembro de 2002, 25 estados haviam adotado normas relativas à reutilização da água, 16 estados adotaram orientações ou padrões de projeto e 9 estados não tinham regulamentos ou orientações. Em estados sem regulamentação específica, ou orientações sobre a recuperação e reutilização da água, os programas podem ser permitidos desde que baseados em estudo caso a caso. (EPA, 2004)

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US Environmental Protection Agency – USEPA), publicou, em 1992, suas diretrizes a fim de propiciar um direcionamento adequado aos Estados que não possuíam regulamentação. Este documento foi revisado e a versão mais recente é de 2004 (USEPA, 2004), que apresenta, também, uma compilação de dados, referentes às legislações dos diferentes Estados. (RODRIGUES, 2005)

Os critérios variam entre os Estados. Há aqueles que desenvolveram seus próprios regulamentos, e outros que não têm nenhum regulamento ou qualquer diretriz relacionada diretamente ao reúso. Em nenhum deles há a previsão, em regulamento, de todos os potenciais usos das águas de reúso, e poucos apresentam regulamentação para o reúso potável (CROOK, 1998).

Os critérios de reúso são separados de acordo com seu tipo previsto, entre eles:

- **Reúso Urbano Irrestrito:** trata-se da irrigação das zonas nas quais o acesso do público não é restrito, como parques, playgrounds, pátios de escolas e residências; descarga do banheiro, ar condicionado, proteção contra incêndio, construção, fontes ornamentais, e represamentos estéticos.
- **Reúso Urbano Restrito:** é a irrigação de áreas nas quais o acesso do público pode ser controlado, como campos de golfe, cemitérios, e canteiros centrais de rodovias
- **Reuso agrícola para produção de alimentos:** é a irrigação das culturas alimentares destinadas ao consumo humano direto, muitas vezes ainda classificados quanto ao fato do alimento ser processado ou consumido cru.
- **Reuso agrícola de culturas não alimentares:** trata-se da irrigação de forrageiras, fibras, sementes, pastagens, viveiros comerciais e gramados.
- **Reúso recreacional irrestrito:** represamento de água onde é permitido o contato primário.
- **Reúso recreacional restrito:** trata-se do represamento de água recuperada em que a recreação é limitada à pesca, passeios de barco, e outros tipos de recreação de contato secundário

- **Reúso Ambiental:** a água de reúso é usada para criar zonas úmidas artificiais, melhorar as zonas úmidas naturais, e manter ou aumentar as vazões dos rios.
- **Reúso Industrial:** a água recuperada é usada principalmente em instalações industriais para arrefecimento, alimentação de caldeiras, água de processo, e lavagem em geral.
- **Recarga de aquíferos:** utilização de bacias de infiltração, lagoas de infiltração, poços de injeção para recarga de aquíferos.
- **Reúso potável indireto:** é a descarga intencional de água altamente tratada em águas superficiais ou subterrâneas que sejam ou venham a ser usadas como fonte de água potável

O Quadro 15 apresenta o resumo das diretrizes e regulamentos por estado

Quadro 15: Diretrizes/Regulamentações de reúso de água por estado americano

Estado	Regulamentos	Diretrizes	Reúso Urbano Irrestrito	Reúso Urbano restrito	Agrícola alimentares	Agrícola não alimentares	Reúso recreacional irrestrito	Reúso recreacional restrito	Reúso Ambiental	Reúso Industrial	Recarga de aquíferos	Reúso potável indireto
Alabama		X		X		X						
Alaska	X					X						
Arizona	X		X	X	X	X		X				
Arkansas		X	X	X	X	X						
Califórnia	X				X	X	X	X		X	X	X
Connecticut												
Delaware	X		X	X		X						
Florida	X		X	X	X	X			X	X	X	X
Georgia		X	X	X		X						
Hawaii		X	X	X	X	X		X		X	X	X
Idaho	X		X	X	X	X						
Illinois	X		X	X		X						
Indiana	X		X	X	X	X						
Iowa	X			X		X						
Kansas		X	X	X	X	X						
Kentucky												
Louisiana												
Maine												
Maryland		X		X		X						
Massachusetts		X	X	X		X					X	X
Michigan	X				X	X						
Minnesota												
Mississippi												
Missouri	X			X		X						
Montana	X		X	X	X	X						
Nebraska	X			X		X						
Nevada	X		X	X	X	X	X	X				
New Hampshire												
New Jersey		X	X	X	X	X				X		
New Mexico		X	X	X	X	X						
New York		X				X						
North Carolina	X		X	X						X		
North Dakota		X	X	X		X						
Ohio		X	X	X		X						
Oklahoma	X			X	X	X						
Oregon	X		X	X	X	X	X	X		X		
Pennsylvania		X										
Rhode Island												
South Carolina	X		X	X		X						
South Dakota		X	X	X		X			X			
Tennessee	X		X	X		X						
Texas	X		X	X	X	X	X	X		X		
Utah	X		X	X	X	X	X	X		X		
Vermont	X											
Virginia												
Washington		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
West Virginia	X				X	X						
Wisconsin	X					X						
Wyoming	X		X	X	X	X						

De acordo com o Quadro 15, poucos Estados legislaram para usos de maior risco à saúde pública e ao meio ambiente, apenas cinco estados apresentam diretrizes para Recarga de aquífero e Reúso potável indireto, enquanto que para usos de menor risco como irrigação de culturas não alimentares e reúso urbano irrestrito, vários estados apresentam regulamentação específica.

3.7.1.2 Itália

Como a maioria das regiões do Mediterrâneo, o sul da Itália (especialmente Sicília, Sardenha e Puglia) sofre de escassez de água e da falta de qualidade da água devido às secas recorrentes. Além disso, descarga de águas residuais, nos rios ou no mar tem levado a problemas ambientais significativos e eutrofização.

Os recursos hídricos disponíveis são estimados em 2.700 m³/capita/ano, com um volume de água de cerca de 155 bilhões de m³. De acordo com estimativas recentes, o potencial de recursos hídricos na Itália é menos de 50 bilhões de m³ quando se considera a atual infra-estrutura hidráulica com a disponibilidade de água relativamente baixos de cerca de 930 m³/capita/ano.

A legislação italiana inclui padrões de qualidade para a água residuária que freqüentemente são desconsideradas no caso de água superficial usada para a agricultura e recreação.

3.7.1.3 Tunísia

Situada em uma região árida e semi-árida, a Tunísia está enfrentando problemas cada vez mais graves de escassez de água. Em 2000, a disponibilidade de água foi de 440 m³/habitante/ano, com comprometimento de 78 por cento dos recursos renováveis. (USEPA, 2004)

Os programas de reúso na Tunísia começaram na década de sessenta. Está entre as poucas nações do mediterrâneo que têm uma política federal de reúso, elaborada e implementada. (RODRIGUES, 2005)

A água de reúso é principalmente utilizada para irrigação restrita. Os efluentes com tratamento secundário são aplicados em uma série de culturas, exceto em vegetais que são consumidos crus ou cozidos, pois a legislação que rege o reúso proíbe irrigação de qualquer cultura que possa ser ingerida. Esta lei estipula que a qualidade das águas de reúso deve ser suficiente para evitar a transmissão de doenças.

3.7.1.4 África do Sul

Recursos hídricos escassos com distribuição desigual, precipitação altamente variável, severa escassez de água recorrente e desenvolvimento industrial e urbano intenso são os principais fatores que impactam a necessidade de reutilização da água no sul da África.

Em 1996, a população era de 38.000.000, dos quais 55,4 por cento viviam em zonas urbanas. A taxa de crescimento da população é estimada em 2,4 por cento por ano. Com base nesses números da população, a demanda de água deverá duplicar nos próximos 30 anos. De fato, as projeções indicam que a demanda de água excederão os recursos hídricos disponíveis logo após o ano de 2020. (USEPA, 2004)

A implementação do reúso no país obteve um grande avanço quando este foi reconhecido pelo Ato das Águas (Water Act), em 1956, que se tornou uma ferramenta poderosa para a implementação das políticas de reúso. O Ato das Águas prevê o reúso das águas, de acordo com suas diversas modalidades, dividindo-as em: (RODRIGUES, 2005)

- Reúso indireto planejado;
- Reúso direto;
- Reciclagem interna na indústria.

3.7.1.5 França

A França possui uma localização geográfica privilegiada em relação aos recursos hídricos. A disponibilidade de água é de cerca de 3047 m³/habitante/ano e, portanto, é considerado auto-suficiente. No entanto, uma distribuição desigual dos recursos hídricos e demanda de água cada vez mais global, levaram ao déficit sazonal em algumas partes do país.

As indústrias, forçadas principalmente pelos aumentos dos custos decorrentes de sua poluição, empregados pelas Agências de Água (Agences de l'Eau), têm feito grandes esforços na direção de reduzir os seus consumos, promovendo a reciclagem da água por elas utilizada.

Em 1991 foi publicado "Recomendações Sanitárias para o Uso, após Tratamento, dos Efluentes Municipais para a Irrigação de Plantações e de Áreas Verdes", levando em conta as seguintes premissas:

- A proteção das águas subterrâneas e superficiais;
- A restrição do uso em função da qualidade do efluente tratado;
- A construção de redes de distribuição específicas para os efluentes tratados;
- A qualidade química dos efluentes tratados;
- O controle dos regulamentos sanitários aplicados a irrigação;
- O treinamento dos operadores e supervisores.

Para os contaminantes biológicos, as recomendações adotadas pela França são as propostas pela OMS (RODRIGUES, 2005).

3.7.2 Brasil

3.7.2.1 LEGISLAÇÃO REFERENTE À USO RACIONAL

Segundo a Resolução nº 707, de 21 de dezembro de 2004 da ANA entende-se por uso racional de água o uso da água provido de eficiência, caracterizada pelo emprego da água em níveis tecnicamente reconhecidos como razoáveis, no contexto da finalidade a que se destina ou definidos como apropriados para a bacia, com observância do enquadramento do corpo hídrico e os aspectos tecnológicos, econômicos e sociais;

O incentivo legal das práticas de uso racional são de extrema importância para os aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, e o estabelecimento de critérios de uso racional é um importante instrumento utilizado pelos gestores de recursos hídricos.

O quadro 16 ilustra algumas iniciativas legais municipais e estaduais relativas ao uso racional de água

Quadro 16: legislação referente a uso racional

Local	Dispositivo Legal	Caput
Estado de São Paulo	Decreto nº 48.138, de 7 de outubro de 2003	Institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água no âmbito do Estado de São Paulo
Estado de São Paulo	DECRETO Nº 45805/2001	institui o programa estadual de uso racional da água potável e dá providências correlatas.
São Paulo – SP	LEI Nº 13.276/2002	Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m ² .

Quadro 16: legislação referente a uso racional (continuação)

Local	Dispositivo Legal	Caput
São Paulo - SP	DECRETO Nº 41814/2002	Regulamenta a lei Nº 13.276, de 4 de janeiro de 2002, que torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500,00 m ² .
Curitiba-PR	Lei nº 10.785	Cria no município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações - PURAE;
Maringá-PR	LEI Nº 6339/2003	Dispõe sobre a instalação de dispositivos hidráulicos destinados ao controle e à redução do consumo de água e dá outras providências.
Itajaí-SC	LEI Nº 3429/1999	Institui a semana da água, e dá outras providências.
Blumenal-SC	LEI Nº 5935/2002	Dispõe sobre o consumo de água em novos prédios públicos e privados.
Passo Fundo-RS	LEI COMPLEMENTAR Nº 110/2003	Regulamenta a medição individual nas instalações hidráulicas das edificações residenciais multifamiliares e comerciais no município de passo fundo, conforme especifica.
Estado do Rio De Janeiro	Decreto nº 23.940 de 30 de janeiro de 2004	Dispõe sobre a obrigatoriedade de imóveis com mais de 500 m ² de possuírem reservatórios para o recolhimento das águas de chuva com o objetivo de retardar temporariamente o escoamento para a rede de drenagem, além de servir de estímulo para a prática do reúso
Estado do Rio De Janeiro	LEI Nº 3915/2002	Obriga as concessionárias de serviços públicos a instalarem medidores na forma que menciona

Quadro 16: legislação referente a uso racional (continuação)

Local	Dispositivo Legal	Caput
Brasília-DF	Lei nº 2.978/2002 de 29 de maio de 2002	Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de recarga artificial de aquíferos nas propriedades rurais e lotes em condomínios atendidos por poços tubulares para abastecimento de água
Distrito Federal	Lei nº 616/2000	Dispõe sobre a utilização de equipamentos economizadores de água nas instalações hidráulicas e sanitárias dos edifícios públicos e privados destinados a uso não residencial no âmbito do distrito federal.
Rio Grande Do Sul	LEI Nº 11575/2001	Institui a "semana estadual da água" no estado do rio grande do sul e dá outras providências.
Recife-PE	LEI Nº 16759/2002	Institui a obrigatoriedade da instalação de hidrômetros individuais nos edifícios.
Palmas - TO	LEI Nº 1085/2002	Institui a cartilha da economia da água e da energia elétrica na rede municipal de ensino.
Viçosa - MG	LEI N.º 14401/2001	Dispõe sobre normas de controle de excesso de consumo de água distribuída para uso humano.

3.7.2.2 LEGISLAÇÃO REFERENTE AO REÚSO DE ÁGUA

No Brasil ainda não existe lei federal referente ao tema, apenas algumas poucas iniciativas estaduais e municipais que podem ser encontradas no Quadro 17.

Na Lei 9433 de 1997 o conceito de reúso não é explicitado, porém são encontrados dispositivos que o permitem, como a racionalização do uso de água. O reúso ainda não é objeto da Política Nacional de Saneamento Ambiental (lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007)

Quadro 17: Dispositivos legais estaduais e municipais referentes ao reúso de água

Local	Dispositivo Legal	Caput
São Paulo – SP	LEI Nº 13309/2002	Dispõe sobre o reuso de água não potável e dá outras providências.
São Paulo – SP	DECRETO Nº 44128/2003	Regulamenta a utilização, pela prefeitura do município de São Paulo, de água de reúso, não potável, a que se refere a lei Nº 13.309, de 31 de janeiro de 2002.
Maringá –PR	Projeto de Lei nº 6.076	Dispõe sobre o reúso de água não potável e dá outras providências
Maringá – PR	LEI Nº 6345/2003	Institui o programa de reaproveitamento de águas de maringá.
Vitória - ES	LEI Nº 6259/2004	Dispõe sobre o reuso de água não potável e dá outras providências.

3.7.2.3 Critérios de Qualidade da água.

Na norma brasileira NBR 13969 de 1997 referente a Tanques Sépticos, são encontrados padrões para reúsos não potáveis urbanos como irrigação de áreas sem finalidade de produzir alimentos (Quadro 18).

No Anexo A são encontradas algumas diretrizes para diversas modalidades de reúso de água seguidas em alguns países.

Quadro 18: NBR 13969 destinação e parâmetros de reúso

	Casse 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Destinação	Lavagem de carros, usos com contato direto	Lavagem de pisos, calçadas, irrigação de jardins, harmonia paisagística	Descargas vasos sanitários	Irrigação de forrageiras, pomares, pastagens, até 10 dias antes da colheita
Parâmetros				
Turbidez	<5	<5	<10	-
C.F.	<200 NMP/100 ml	<500NMP/ 100 ml	<500NMP/ 100 ml	<5000NMP/ 100 ml
SDT	<200mg/L	-	-	-
pH	6 – 8	-	-	-
Cl residual	0,5 – 1,5 mg/L	>0,5 mg/L	-	-
OD	-	-	-	>2mg/L

Um dado curioso é a exigência de oxigênio dissolvido maior que 2mg/L na irrigação, dado que não é encontrado em nenhum outro documento regulamentador de água de reúso, provavelmente apenas para garantir a não anaerobiose do efluente.

É importante verificar que todas as leis citadas se referem a usos não-potáveis, o que pode ser um obstáculo numa possível implantação futura de um sistema de reuso potável.

4.1 Abordagem do tema utilizando pensamento sistêmico

Durante a organização do trabalho foram encontradas diversas dificuldades, pois o número de variáveis que compõe o objeto do trabalho é grande e com fortes ligações entre si. Portanto para auxiliar a compreensão da complexidade dos fatores que afetam da problemática, foi utilizado como modelagem teórica o pensamento sistêmico e como ferramenta o diagrama de círculo de causalidade.

No pensamento sistêmico, o princípio da interdependência postula que mudanças em qualquer um dos componentes do sistema estão associadas ou irão afetar os demais componentes. Quando uma informação flui através de um sistema, ela provoca "feedback" ou retroalimentação no seu estado interno e nas suas relações com o meio. Esta retroalimentação pode tanto alcançar os níveis desejáveis, e assim confirmar a aceitabilidade das ações, como revelar lacunas entre as condições esperada e atual (Harrison & Shirom, 1999).

O "círculo de causalidade" consiste em um arranjo circular de variáveis conectadas por suas relações causais, no qual uma causa inicial propaga-se ao longo das ligações do círculo, de modo que cada variável tem um efeito na próxima, até que a última retroalimentação afete a primeira variável. (NARDELLI, A. M. B. e GRIFFITH, J. J.)

Os elementos, ou as variáveis, são expressos por palavras ou frases curtas e são interligados por arcos as conexões. As setas, presentes nos círculos, indicam a direção de causalidade entre duas variáveis. Já os sinais indicam se o efeito da relação é no mesmo sentido da influência original (sinal positivo) ou no sentido oposto (sinal negativo). Os processos de retroalimentação podem ser de reforço (R)

ou de balanceamento (B), representados pela letra no centro de cada círculo. Os círculos de reforço são propulsores de crescimento ou de declínio, já os de balanceamento buscam o equilíbrio, que é alcançado quando o comportamento tem um objetivo definido. O esquema básico do diagrama está representado na Figura 5.

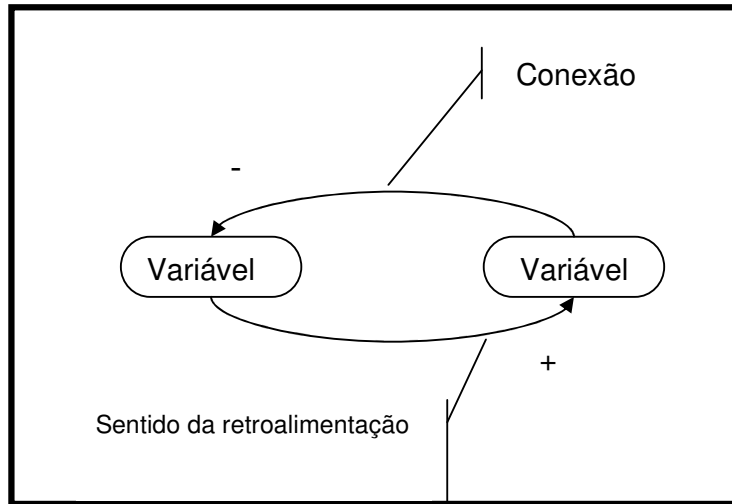


Figura 5: Círculo de causalidade e seus componentes

A Figura 6 mostra a aplicação da ferramenta do ciclo de causalidade para a modelagem teórica do problema.

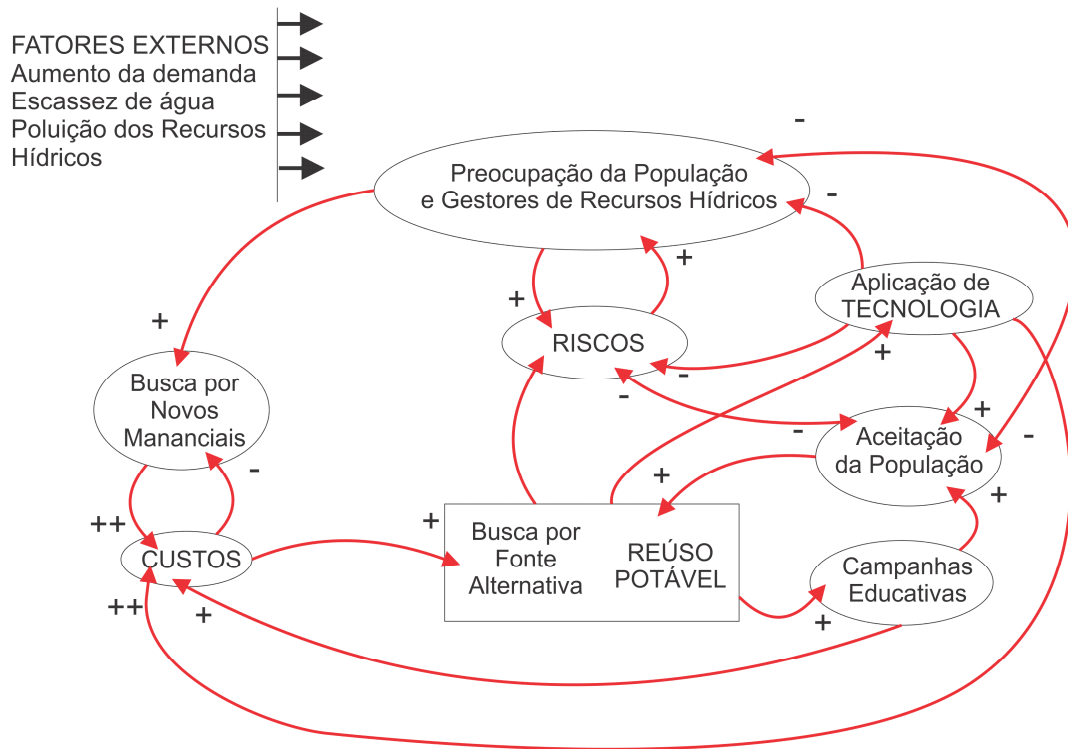


Figura 6: Círculo de Causalidade para a temática Reúso potável de Água

A Escassez de água e fatores ambientais como a poluição dos corpos de água associado ao aumento da pressão sobre o recurso geram preocupações entre a população e órgãos gestores sobre a disponibilidade hídrica, que buscam novas fontes em outros mananciais, geralmente mais distantes, com qualidade própria para abastecimento humano para suprir a demanda, conseqüentemente, aumentando os custos de produção e adução de água diminuindo o interesse por essas fontes, por outro lado, despertando o interesse por fontes alternativas, como o Reúso Potável, objeto do trabalho.

A opção pelo Reúso potável gera uma série de implicações, uma delas é o aumento dos riscos à saúde humana, que diminui a aceitação da população implicando de forma negativa sobre esta fonte alternativa. Por outro lado, valendo-se

da aplicação de tecnologia confiável e campanhas de educação, é possível mitigar os riscos e aumentar a aceitação da população a essa prática de reúso, porém com aumento dos custos, podendo até mesmo inviabilizar a prática.

Diante da modelagem teórica o trabalho se apoiará em três pilares:

- Escassez hídrica;
- Tecnologia de tratamento; e
- Aceitação da População

4.2 Avaliação das experiências de reúso potável

Atualmente, o principal motivo para a reciclagem de água, para qualquer uso, é reduzir a dependência de fontes de água importados, ou para corrigir o equilíbrio entre as fontes de água disponível e as projeções de crescimento. Uma meta relevante é eliminar melhorias caras de infra-estrutura para tratamento de esgotos, substituindo a descarga de efluentes no ambiente pela reutilização de efluentes também para reduzir os valores gastos cobrados pelo lançamento de efluentes impostos pelas autoridades reguladoras (Marks, 2006).

Quadro 19: Marcos histórico do reúso de água nos Estados Unidos (adaptado de Jiménez, B. e Asano, T., 2008)

Ano	Local	Tipo de projeto
1906	Califórnia	Reúso de água para irrigação (primeira referência na literatura)
1912	Parque Golden Gate, San Francisco, Califórnia	Irrigação de gramados e abastecimento de lagos
1926	Parque nacional do Grad Canyon, Arizona	Descarga sanitária, irrigação de gramados, sistemas de refrigeração e aquecimento
1929	Pomona, Califórnia	Irrigação de gramados e jardins
1942	Baltimore, Maryland	Reúso de efluente clorado no resfriamento de metais e processamento de aço na Companhia Siderúrgica de Bethlehem
1960	Sacramento, Califórnia	Legislação da Califórnia incentiva o reúso pelo código de águas estadual
1961	Irvine Ranch Water District, Califórnia	Projeto de reúso de água para irrigação, indústria e doméstico começa. Depois o projeto incluiu descargas de banheiro em prédios, distribuição de água de reúso em sistema de distribuição duplo.

Quadro 19: Marcos histórico do reúso de água nos Estados Unidos (adaptado de Jiménez, B. e Asano, T., 2008) (continuação)

Ano	Local	Tipo de projeto
1962	County Sanitation Districts de Los Angeles, Califórnia	O Efluente da indústria Whittier Narrows é usado para recarregar o aquífero através da bacia de recarga em Montebello
1965	San Diego, Califórnia	Lagos de recreação de Santee, supridos com águas de reúso, são abertas para nado e pesca esportiva
1976	Orange County Water District, Califórnia	Fábrica de água 21 é o primeiro projeto a estudar a viabilidade de transformar o esgoto em água potável
1976	Monterey, Califórnia	Foi o primeiro estudo em larga escala projetado para investigar os riscos e efeitos da irrigação com água de reúso em colheitas de alimentos, incluindo vegetais consumidos cru. O projeto começou em 1976 e os resultados publicados em 1987
1977	Sant Petersburg, Florida	Um dos mais antigos sistemas duais de distribuição de água municipal e o maior sistema de reúso urbano de água dos Estados Unidos. A água tratada é destinada aos gramados das residências, regiões comerciais, parques industriais, usina de energia, campo de golfe, estádio de baseball e escolas. Em 2007 água de reúso de alta qualidade é usada para irrigação de 9992 gramados residenciais, 61 escolas, 111 parques e 6 campos de golfe.

Todos os sistemas citados no quadro 19 foram introduzidos num tempo quando o mínimo de consulta pública era requerida e efetuada. Recentes tentativas de introdução de reúso potável nos Estados Unidos e Austrália tiveram de alguma forma engajamento da população conforme quadro 20 (Marks, 2006).

Quadro 20: Propostas recentes de reúso potável nos EUA (adaptado de Marks, 2006)

Local	Projeto de educação	Avaliação
San Diego 1993–99	Durante um período de seis meses, 1800 pacotes educacionais foram distribuídos além de 60 apresentações a grupos.	1993 – 59% beberiam 1998 – 60 % consideraram “boa idéia”
San Gabriel Valley, LA 1993–2001	Processo mínimo.	Anterior a audiência pública, um grupo opositor publicou “toilet to tap” (do toaleta a torneira). A cervejaria Miller retirou seu patrocínio, mas concordaram com a versão modificada
Dublin San Ramon District 1993–98	Apesar de “ampla campanha de educação”, tribunal decidiu em 2002 que a consulta foi inadequada	Grande aceitação em Dublin (85%), oposição registrada em outras cidades (72%).
East Valley, LA 1990s	Processo mínimo. Em 2002 os Vereadores alegaram que as autoridades “falharam em informar adequadamente os moradores”	2000: 65% concordam com a política, 38% com a idéia de beber da água. Manchetes do “Toilet to Tap” foram publicada dias antes do projeto. Associação dos residentes/moradores se opôs ao projeto.
Denver, Col. 1990s	Grupo Foco no início dos anos 1990: “Eles queriam que nós só começássemos com isso.	1973: 49% aprovaram beber 1983: 32% aprovaram 1985: 29% aprovaram
Tampa, Florida 1996–97	Objetivo: “Desenvolver a opção de purificação, ao invés de compará-lo com fontes alternativas”.	1995: 51% “atraente”, 62% “seguro” 1996: 46% de apoio à política, 42% beberiam. No entanto, 75% apoiavam dessalinização

Quadro 20: Propostas recentes de reúso potável nos EUA (adaptado de Marks, 2006)

Local	Projeto de educação	Avaliação
Noosa, Qld. 1993–94	Grupo Stakeholder representaram 30 grupos de “Formadores de Opinião”; Conselho de pesquisa/boletim a todos os municípios; 2 workshops	Cerca de 45% de apoio para alguma forma de reutilização potável. Pesquisa (taxa de resposta de 10%) foi a única informação recebido por muitos dos inquiridos; Os excluídos do processo ficaram insatisfeitos.
Orange County, LA 2000–present	Processo “de cima para baixo”: 23 da cidade conselhos mais grupos da comunidade. Informações para 80.000 famílias; Quatro workshops.	1997: descrições curtas e longas de divisão da amostra: 51% e 65% concordam. 2000: 51% e 67% de acordo. Nenhuma pergunta direta sobre se os respondentes que beber a água.

Rodriguez et al (2009) apresentou um estudo abrangendo as experiências de reúso potável em quase sua totalidade. A grande maioria das experiências é de reúso potável indireto, e apenas uma reúso potável direto. Os autores concluíram baseados nos estudos das experiências que estão apresentadas no quadro 21 que o reúso potável indireto é uma solução viável para suprir déficit hídrico de regiões urbanas com altas demandas ou ausência de outras fontes de água, e o reúso potável indireto será um instrumento essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos em muitas cidades no futuro.

Quadro 21: Experiências de reúso potável, adaptado de Rodriguez et al, 2009

Projeto	Local	Ano	Tratamento utilizado	Tampão (barreira múltipla)	População atendida	% Mistura	Comentário
Orange County Water District (OCWD).	Califórnia (EUA)	1975–2004	Clarificação com cal, recarbonatação, filtração múltipla, carvão ativado granular, filtração e cloração.	Aqüífero	cerca de 2 milhões	3,2% da água de OC	O Projeto em escala plena Water Factory 21 foi construído em 1975 e desligado em 2004.
OCWD Sistema de Recarga de aquífero continuação da Water Factory 21	Califórnia (EUA)	Planta piloto de 2004 a 2007 Escala real a partir de 2007	MF/RO e POA (UV e peróxido de hidrogênio)	Aqüífero	2,3 milhões (300,000 a 700,000 residentes adicionais projetado para 2020).	15–18%	A planta de escala plena produz cerca de 70 milhões de galões de água por dia (10% da água potável de OC)

Quadro 21: Experiências de reúso potável, adaptado de Rodriguez et al, 2009 (CONTINUAÇÃO)

Projeto	Local	Ano	Tratamento utilizado	Tampão (barreira múltipla)	População atendida	% Mistura	Comentário
Projeto Demonstrativo de água potável de Denver	Colorado (EUA)	1985–1992	Tratamentos testados incluem: clarificação com cal em ph alto, sedimentação, recarbonatação, filtração, troca iônica seletiva para remoção de amônia, Irradiação com UV, Adsorção com carbono ativado, RO, air stripping, ozonização, desinfecção com dióxido de cloro, ultrafiltração e cloraminação	NA	NA	NA	O projeto investigou diferentes opções para suprimento alternativo de água e concluíram que o reúso potável é uma solução viável.
West Basin Municipal Water District	Califórnia (EUA)	Desde 1995	MF/ RO UV e POA	Aqüífero	950	10–15%	Projeto em escala real água tratada para reúso industrial, irrigação, recarga de aqüífero, alimentação de boiler de baixa pressão e caldeira de alta pressão.

Quadro 21: Experiências de reúso potável, adaptado de Rodriguez et al, 2009 (CONTINUAÇÃO)

Projeto	Local	Ano	Tratamento utilizado	Tampão (barreira múltipla)	População atendida	% Mistura	Comentário
Upper Occoquan Sewage Authority (UOSA)	Virginia (EUA)	Desde 1978	Clarificação com cal, Recarbonatação em 2 estágios, tanque de equalização, filtro de areia, GAC, troca iônica, filtração, cloraminação	Reservatório	1,2 milhões	10–45 %	Projeto de escala plena. Supre cerca de 50% da água de abastecimento da população. Durante períodos de estiagem, a água de reúso representa quase 90% da vazão afluyente do reservatório
Montebello Forebay Projeto de recarga de aquífero	Califórnia (EUA)	desde 1962	Tratamento Secundário, cloração ao break point e injeção	Aquífero	1.28 milhões	18.7% a 35%	Projeto em escala plena compreendendo três plantas localizadas na bacia central da região de Los Angeles. Whittier Narrows WRP (construída em 1962) aproximadamente 150,000 pessoas. The San Jose Creek WRP (construída no início dos anos 70) atende 1 milhão e Pomona WRP (construída no início dos anos 70) atende 130,000 pessoas.

Quadro 21: Experiências de reúso potável, adaptado de Rodriguez et al, 2009 (CONTINUAÇÃO)

Projeto	Local	Ano	Tratamento utilizado	Tampão (barreira múltipla)	População atendida	% Mistura	Comentário
Tampa Water Resource Recovery Project	Florida (EUA)	1987– 1989	Pré-aeração, clarificação com cal, recarbonatação, filtração lenta e desinfecção por ozônio	Reservatório	NA	NA	Projeto demonstrativo para avaliar a eficiência de 4 processos avançados de tratamento
San Diego Water Repurification Project	Califórnia (EUA)	1981	Em 1985 Vários tratamentos foram testados incluindo RO e carvão ativado granular	Reservatório	NA	NA	Projeto demonstrativo entre 1985 e 1999 e desde 2002 projeto em escala plena para reúso somente não potável devido à oposição da comunidade
Potomac Estuary (EEWTP)	Washington D.C. (EUA)	1980– 1982	Floculação, Sedimentação, adsorção por carvão ativado e desinfecção	Estuário	NA	NA	Projeto demonstrativo de 2 anos
Hueco Bolson Recharge Project	Texas (EUA)	1985	Tratamento utilizando carvão ativado em pó em dois- estágios, tratamento com cal, recarbonatação, filtro de areia, ozonização, filtração em GAC, cloração e armazenamento	Aqüífero	250	40–100%	Projeto em escala plena

Quadro 21: Experiências de reúso potável, adaptado de Rodriguez et al, 2009 (CONTINUAÇÃO)

Projeto	Local	Ano	Tratamento utilizado	Tampão (barreira múltipla)	População atendida	% Mistura	Comentário
The Chelmer Augmentati on Wastewater Reuse Scheme (Water 2000)	Essex Inglaterra	1997	MF UV	Reservatório	1,7 milhões	8–12%	Descarga de água de reúso no rio Chelmer que é usado para incremento do reservatório Hanningfield. O tempo de residência do reservatório é de 214 dias.
Water Reclamatio n Study (NeWater)	Singapura	2000	Ultrafiltração, RO, UV, Cloração	Reservatório	4,4 milhões	Atualmente 1% e 2,5% para 2012	Inicialmente era uma planta demonstrativa, mas tem sido operada em escala plena desde 2002 quando a adoção de medidas de aumento da disponibilidade hídrica para água potável era recomendada

Quadro 21: Experiências de reúso potável, adaptado de Rodriguez et al, 2009 (CONTINUAÇÃO)

Projeto	Local	Ano	Tratamento utilizado	Tampão (barreira múltipla)	População atendida	% Mistura	Comentário
Goreangab Water Reclamation Plant	Windhoek Namibia	1968–2002	Flotação de algas, separação de espuma, clarificação química, filtro de areia, GAC filtração, Cloração	Reservatório		4%	Ocasionalmente utilizada como reúso potável direto
Torrele Reuse Plant	Wulpen Bélgica	2002	MF/RO + UV Desinfecção	Aqüífero	60	40%	O Projeto de escala plena supre entre 40 – 50 % da demanda de água potável. O tempo mínimo de retenção do aqüífero é de 40 dias.

4.2.1 Estudos epidemiológicos

Existem poucos estudos epidemiológicos publicados sobre a reutilização de água potável e um resumo é apresentado abaixo (adaptado de Rodriguez et al, 2009)

4.2.1.1 Projeto de recarga de aquífero em Montebelo Forebay.

Foram realizados 3 estudos epidemiológicos da população exposta ao projeto de recarga de aquífero na baía de Montebelo, Califórnia.

O primeiro estudo foi feito de 1969 a 1980, com o objetivo de avaliar as diferenças nos aspectos de saúde pública entre a área que foi exposta à água reciclada no seu abastecimento de água e uma superfície de controle.

As conclusões do primeiro estudo foram:

- A população exposta à água de reúso não demonstrou qualquer efeitos mensuráveis adversos à saúde.
- No entanto, o Scientific Advisory Panel, em 1986, concluiu que os resultados quanto ao efeito carcinogênico não foram conclusivos devido à alta mobilidade da população, pois o período de latência de câncer em humanos é longo.
- A pesquisa quanto à moradia não encontrou diferenças em doenças específicas ou de medidas de saúde geral entre as pessoas que vivem em

áreas de alto e baixo uso de água reciclada. Não foi constatada nenhuma relação com recém-nascidos de baixo peso, mortalidade infantil ou malformações congênitas.

O segundo estudo foi do tipo observacional ecológico, realizado de 1987 a 1991, da população exposta a uma mistura de 0 a 31% de água de reúso na água de abastecimento, durante um período de 30 anos, separadas em 5 categorias de exposição, 4 recebendo porcentagens gradativamente maiores de água de reúso e 1 grupo de controle . Os resultados do segundo estudo foram:

- Não há provas de que a água reciclada acarrete efeito adverso sobre a incidência de câncer, mortalidade e evolução das doenças infecciosas.
- Foi observada maior taxa de incidência de câncer de fígado na área com a maior porcentagem de água reciclada. No entanto, devido às limitações do estudo e da falta de tendência dose-resposta, os autores concluem que os resultados são mais provavelmente explicados pelo acaso ou por variáveis não identificadas.

O terceiro estudo teve como objetivo avaliar os efeitos adversos da saúde das crianças e recém nascidos, incluindo baixo peso ao nascer, nascimentos prematuros, mortalidade infantil e 19 categorias de problemas congênitos. As conclusões do estudo foram:

- O estudo não comprovou evidências da associação entre reúso de água e efeitos adversos no nascimento.

- Taxas de efeitos adversos foram similares nos grupos que recebem alta ou baixa porcentagem de água de reúso.

4.2.1.2 Projeto de Reúso Potável de Windhock (Namíbia)

Um estudo ecológico realizado de 1976 a 1983, com o objetivo de avaliar as causas de diarreia, icterícia e mortes em Windrock, onde 4% da água de abastecimento era proveniente de reúso potável. Foram estudadas 3000 mortes, excluindo-se as pré-natais e as não naturais. As mortes foram classificadas por causa e raça, por fim os dados obtidos do estudo foram comparados às estatísticas mundiais. As conclusões foram:

- Nenhuma associação entre os efeitos na saúde estudados e a fonte de água potável foi encontrada.
- Diarreia foi associada ao status sócio-econômico, e não ao reúso de água.

4.3 Avaliação das Tecnologias de tratamento

Com o constante avanço em tecnologias de tratamento de água, efluentes sanitários se tornaram uma fonte viável a partir da qual se pode produzir água de qualquer qualidade desejada (Elimelech, 2006).

Os sistemas de reciclagem de água mais recentes são todas baseadas no conceito de barreiras múltiplas. Essas barreiras múltiplas são operações do ponto de vista técnico redundantes, mas prudentes, concebidas para eliminar organismos patogênicos e remover substâncias nocivas para a proteção da saúde pública.

Entende-se por sistemas de tratamento a associação de métodos de tratamento e cada componente do sistema é considerada uma operação unitária.

O Texto a seguir tem como finalidade abordar, de forma objetiva, os processos de tratamento de efluentes e avaliar isoladamente o seu potencial para compor um sistema de tratamento voltado para o reúso.

Não foi objeto de análise o tratamento da fase sólida e gasosa, pois não influem diretamente na qualidade do efluente final. As técnicas que envolvem disposição controlada no solo não foram consideradas como tratamento, e sim como um tipo de reúso.

A descrição do funcionamento de cada unidade citada poderá ser encontrada facilmente na bibliografia, portanto as unidades não serão descritas nesse trabalho.

As principais referências foram: Jordão e Pessoa (2005), Von Sperling (1996), Von Sperling (2005), Metcalf and Eddy (2003), ABNT (1973, 1982, 1997), Van Haandel e Marais (1999), Mancuso (2003) e Paterniani (1991).

4.3.1 Classificação dos Processos

Os processos de tratamento podem ser classificados quanto à remoção, quanto à natureza do processo e quanto à eficiência de remoção

4.3.1.1 Classificação quanto à remoção

Método de classificação baseado no material removido onde já é especificado o dispositivo de tratamento. As classes de remoção são:

- Remoção de sólidos grosseiros em Suspensão;
- Remoção de Sólidos Sedimentáveis;
- Remoção de óleos, graxas e sólidos flutuantes;
- Remoção de material em suspensão e
- Remoção de substâncias orgânicas dissolvidas, semi-dissolvidas e finamente particuladas.

4.3.1.2 Classificação quanto à natureza do processo

Os métodos de remoção de poluentes apresentam mecanismos de natureza física, química, físico-química e biológica. Podem ser divididos em:

- Operações físicas unitárias: predominam mecanismos físicos de remoção onde forças físicas;
- Processos químicos unitários: predominam mecanismos químicos de remoção;
- Processos biológicos unitários: predominam mecanismos biológicos de remoção.
- Outros processos: resultado de pesquisas ou de implantação recente também denominado de tratamento avançado.

4.3.1.3 Classificação quanto à eficiência das unidades

Os processos são comumente classificados de acordo com seu nível de tratamento baseado na remoção de certo poluente, podendo ser: Preliminar, Primário, Secundário, Terciário e Avançado. No quadro 22 são descritos o tipo de poluente removido por nível de tratamento.

Quadro 22: Níveis de tratamento de esgoto

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos grosseiros
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis
Secundário	DBO em suspensão DBO solúvel
Terciário/ Avançado	Nutrientes Organismos patogênicos Compostos biodegradáveis Metais pesados Sólidos inorgânicos dissolvidos Sólidos em suspensão remanescentes Remoção de remanescente não removido nas etapas anteriores visando reuso

4.3.2.4 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar é destinado à remoção de sólidos grosseiros. É **indispensável**, pois garante maior vida útil dos dispositivos de transporte e dos dispositivos de tratamento, além de remover parcialmente a carga poluidora melhorando a eficiência das outras unidades de tratamento.

No quadro 23 está descrita a avaliação a aplicabilidade de algumas unidades de tratamento preliminar para compor um sistema de reúso.

Quadro 23: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento preliminar para sistemas de reúso

Operação Unitária	Remoção				Aplicabilidade Para reúso
	Matéria orgânica	Nutrientes	Microrganismos	Microcontaminantes	
Gradeamento	Baixa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	NÃO, pois a peneira é mais eficiente
Peneira	Baixa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	SIM
Caixa de areia	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	SIM, pois protege os outros equipamentos
Caixa de Gordura	Baixa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	SIM

4.3.1.5 Tratamento primário

Tem como objetivo a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e conseqüentemente a DBO associada a esses sólidos.

No quadro 24 está descrita a avaliação a aplicabilidade de algumas unidades de tratamento primário para compor um sistema de reúso.

Quadro 24: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento primário para sistemas de reúso.

Operação Unitária	Remoção				Aplicabilidade Para reúso
	Matéria orgânica	Nutrientes	Microorganismos	Microcontaminantes	
Decantador primário	Baixa 30-35%	Baixa <30%	Não se aplica	Não se aplica	Não. Técnica obsoleta caso exista tratamento anaeróbio associado
Decantação primária quimicamente assistida	Média 45-80%	Baixa <30%	Não se aplica	Não se aplica	Não. Técnica obsoleta caso exista tratamento anaeróbio associado
Tanque Séptico	Baixa 30 – 35 %	Baixa <30%	Não se aplica	Não se aplica	Não. Técnica obsoleta caso exista tratamento anaeróbio associado

4.3.1.6 Tratamento Biológico

O tratamento biológico de esgotos, como o próprio nome indica, ocorre integralmente por mecanismos biológicos. Esses mecanismos reproduzem em um ambiente controlado (com maior eficiência) e em taxas mais elevadas (requerendo menor área) o que ocorre na natureza no processo de autodepuração. (Von Sperling, 1996)

A avaliação preliminar das unidades para compor o tratamento biológico de um sistema de reúso está descrita no quadro 25.

Quadro 25: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento secundário para sistemas de reúso.

Operação Unitária	Remoção				Aplicabilidade Para reúso
	Matéria Orgânica	Nutrientes	microrganismos	Microcontaminantes	
Lagoa anaeróbia	Média 50-60%	Muito baixa	Não se aplica	Não se aplica	Não, devido à existência de sistemas anaeróbios mais eficientes
UASB	Média 60 - 75%	Muito baixa	Não se aplica	Não se aplica	Sim, sendo necessário tratamento posterior
Reator anaeróbio de leito expandido ou fluidificado	Média 60 – 75%	Muito Baixa	Não se aplica	Não se aplica	Sim, sendo necessário tratamento posterior
Lagoa facultativa	Média 75 – 85%	Média 50 – 60%	Não se aplica	Não se aplica	Não, devido à grande demanda de área

Quadro 25: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento secundário para sistemas de reúso. (continuação)

Operação Unitária	Remoção				Aplicabilidade Para reúso
	Matéria Orgânica	Nutrientes	microrganismos	Microcontaminantes	
Lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação	Média 80 - 85%	Baixa 30 – 35%	Não se aplica	Não se aplica	Não
Lodo Ativado	Alta 90-95%	Média ou Alta dependendo do sistema	Não se aplica	Não se aplica	Sim
BioFiltro Aerado Submerso	Alta 90 -95%	Alta >60%	Não se aplica	Não se aplica	Sim
Lagoa de maturação	Alta 80 – 85%	Média	Baixa	Não se aplica	Sim, como barreira múltipla, no entanto a possibilidade de produção de algas é um fator de preocupação.
Filtro Biológico Percolador	Alta 85 – 93%	Média	Baixa	Não se aplica	Não

4.3.1.7 Tratamento terciário / avançado

São técnicas de remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir à água características, tais como: cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica; (BRASIL, 2005)

A avaliação preliminar das unidades para compor o tratamento avançado de um sistema re reúso está descrita no quadro 26.

Quadro 26: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento avançado para sistemas de reúso.

Operação Unitária	Remoção				Aplicabilidade de Para reúso
	Matéria orgânica (MO)	Nutrientes	Microrganismos	microcontaminantes	
Físico-Químico (Coagulação, Floculação, Decantação)	Alta Remoção de MO sedimentável	Alta Remoção de Nutrientes suspensos	Baixa, no entanto auxilia a desinfecção por remover partículas que podem abrigar microrganismos	Não se aplica, pois a maioria encontra-se dissolvida	Sim
Filtro Lento	Média, pois se trata de unidade de polimento	Média, pois se trata de unidade de polimento	Baixa – 1 a 2 log. de remoção	Não se aplica	Sim, podendo atuar como barreira múltipla
Filtro Rápido	Não se Aplica	Não se Aplica	Alta remoção de ovos de helmintos	Não se aplica	Sim
Carvão Ativado	Remoção de matéria orgânica por adsorção	Não se aplica	Não se aplica	Alta remoção de microcontaminantes orgânicos por adsorção	Sim
Processos Oxidativos Avançados	Pode promover a biodegradabilidade de MO recalcitrante	Não se aplica	Ocorre, no entanto não é o objetivo principal	Alta destruição de microcontaminantes orgânicos	Sim
Cloração ao Breakpoint	Não é objeto, mas pode ser observado	Remoção de Nutrientes	Não é objeto, mas pode ser observado	Não é objeto, mas pode ser observado	Sim

Quadro 26: Avaliação da potencial aplicação das unidades de tratamento avançado para sistemas de reúso. (continuação)

Microfiltração	Não se aplica	Não se aplica	Alta remoção de ovos de helmintos	Não se aplica, pois a maioria apresenta diâmetro menor que os poros	Não, devido a problemas de "foaming"
Ultrafiltração	Alta remoção de MO suspensa	Não se aplica	Alta remoção de bactérias	Não se aplica, pois a maioria apresenta diâmetro menor que os poros	Sim, como pré-tratamento à RO
Nanofiltração	Alta remoção de MO suspensa e baixa remoção de MO dissolvida	Não se aplica	Alta remoção de Vírus	Não se aplica, pois a maioria apresenta diâmetro menor que os poros	Não, pois a RO apresenta mais vantagens a um custo semelhante
Osmose Inversa (RO)	Alta Remoção de matéria urgência Dissolvida	Não se aplica	Remoção praticamente total de microrganismos	Alta remoção de micro contaminantes	Sim

4.4 ANÁLISE QUANTO À ACEITAÇÃO PÚBLICA

Aceitação pública é um dos aspectos mais importantes para sucesso do sistema de reúso de água, considerando todas as modalidades, pois oposição pública já atrasou e inviabilizou alguns projetos de reúso de água.

Segundo DOLNICAR et AL (2010), muitos autores postularam que conhecimento/informação acerca do tema reúso de água aumenta a aceitação pública, entretanto existem apenas provas limitadas empíricas sobre esse efeito.

DOLNICAR, S., HURLIMANN, A., NGHIEM, L. D. (2010) investigaram a hipótese que prover informações sobre como água de reúso e água dessalinizada são produzidas aumentaria a aceitação pública dessas fontes alternativas de água. Nesse trabalho foi perguntado, por meio de questionários, a um total de 13884 pessoas escolhidas aleatoriamente, para quais usos (Dispostos na tabela 1) a água tratada pelo sistema esquematizado na figura 7 seria usado. Um grupo controle recebeu algumas horas de curso contendo informações referentes à tecnologias de tratamentos, escassez hídrica. Como resultado observou-se que o grupo treinado teve maior aceitação em quase todos os tipos de uso, os únicos que não tiveram ganho significativo eram os usos com alta aceitação, como irrigação de jardins, lavagem de carros e descarga de banheiros.

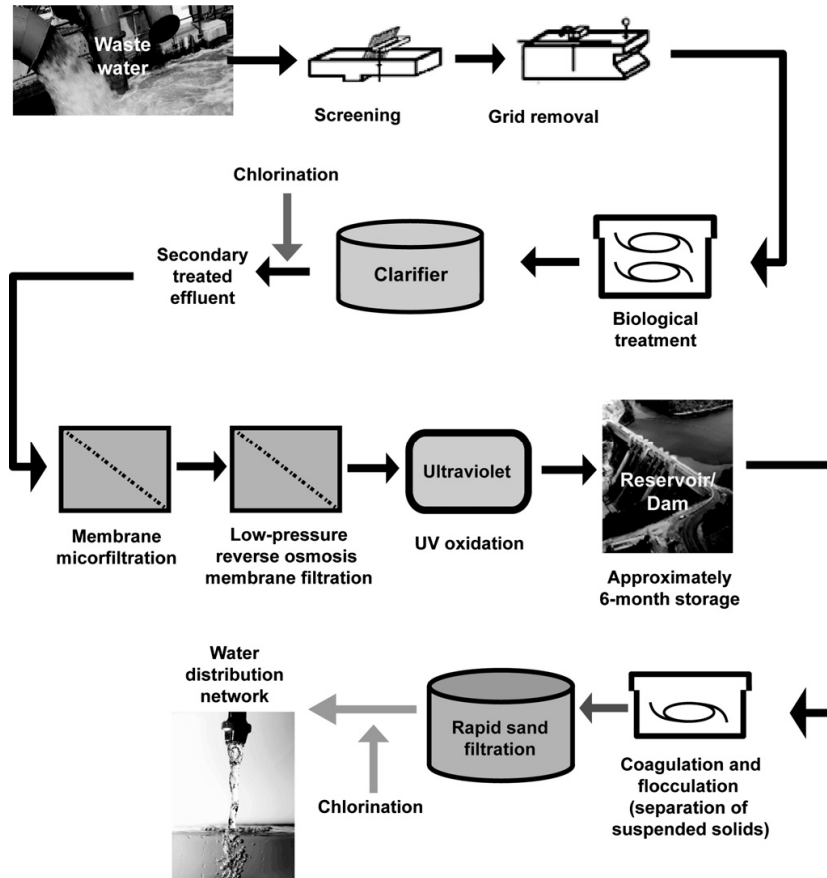


Figura 7: Diagrama esquemático ilustrando o processo de tratamento envolvendo um típico esquema de reúso potável indireto

Tabela 1: Mudança da opinião pública devido à informação (DOLNICAR et.al. 2010)

Uso	Sem informação	Com Informação	Diferença percentual	p valor
Alimentar animais de estimação	55	64	9	0,000
Encher/Completar volume de Piscina	63	71	8	0,000
Cozinhar	46	54	8	0,000
Encher Aquário ou lago	72	80	8	0,000
Escovar dentes	41	48	7	0,000
Beber	36	43	7	0,000
Dar banho em bebês	39	45	6	0,000
Irigar Jardins (horta, legumes)	67	73	6	0,000
Tomar banho	60	65	5	0,000
Lavar roupas	76	80	4	0,000
Lavar carro	85	89	4	0,000
Limpar a casa e janelas	86	89	3	0,005
Descarga de Banheiro	92	93	1	0,336
Irigar jardim (flores, árvores, arbustos)	87	88	1	0,678

Os resultados do estudo ainda mostram que mesmo com informação a aceitação para usos de maior risco como beber água tratada de reúso ou escovar os dentes ainda tem aceitação menor que 50%.

4.5 O Caso Toowoomba, Austrália

A Austrália está à beira de um colapso hídrico (HURLIMANN, A., DOLNICAR, S., 2010), cidades do interior quando comparadas às capitais estão em situação pior de disponibilidade hídrica. A cidade de Toowoomba localizada a 100 km a oeste de Brisbane apresenta sérios problemas de escassez, seus reservatórios estão em níveis cada vez mais baixos.

Foi proposto um sistema de reúso potável indireto e a fim de se avaliar a aceitação da proposta, os residentes de Toowoomba, em 2006, foram convidados a votar num referendo sobre a construção ou não de sistema de reúso potável indireto para suprir a demanda adicional de água. O resultado do referendo foi de não aceitação do sistema. HURLIMANN, A. e DOLNICAR, S., (2010) analisaram os fatores que levaram ao resultado do referendo, entre eles: fortes pressões de grupos populares contra e falta de informação a respeito do tema.

As principais razões dos grupos opositores foram:

- **Preocupação com a imagem de Toowoomba:** Os moradores temiam que a cidade conhecida como Garden City (Cidade Jardim) passasse a ser conhecida por nomes muito pejorativos como “Shit City” ou “Poo-woomba”.
- **Como consequência de tal degradação à sua imagem, a cidade ficaria menos atrativa à indústria, negócios e turismo:** Para ilustrar tal fato, uma fábrica de sorvete declarou que jamais usaria água proveniente do sistema, pois o mercado não aceitaria um produto com alguma dúvida sobre a qualidade dos insumos. O mesmo é válido para toda indústria alimentícia.
- **Preocupação com aspectos relacionados à saúde:** Os Moradores não tinham certeza se poderiam confiar na ciência e estavam irritados com o Conselho de Toowoomba que recusava a garantir que a água era 100% segura, fazendo com que os moradores se sentissem como cobaias.

Tendo em vista que o projeto foi vetado e que não é possível a captação em novas fontes de água, alternativas ou não, a única opção foi a restrição do uso, com a proibição do uso de água para qualquer fim externo (lavagem de carros, irrigação de jardins e enchimento de piscinas) e aumento das tarifas.

4.6 Fatores religiosos

Pouquíssimos estudos relacionam fatores de aceitação pública ao reúso de água a aspectos religiosos. Wilson e Pfaff (2008) estudaram a influência do extremismo religioso e das objeções filosóficas acerca do tema reúso de água na cidade de Durban, terceira maior cidade da África do Sul, que após o apartheid virou um “mosaico religioso”, e chegaram às seguintes conclusões:

- Não foram encontradas evidências para apoiar a proposição de que os aderentes ao Islão rejeitam a reutilização potável por motivos religiosos. Em nenhum outro grupo religioso foram encontradas restrições religiosas ou de senso comum sobre o consumo de água reciclada.
- Reúso Potável parece passível de politização em Durban. Em particular, a escassez de terreno do debate desloca facilmente para a água e de lá para a distribuição injusta.

- O processo de gestão de águas residuárias para reutilização potável pode exigir uma abordagem diferente do que os casos com de escassez imediata de água.
- Questões de justiça e equidade parecem ser altas em Durban. Com o compromisso de melhorar a distribuição dos recursos e da qualidade de serviço para os pobres.
- Os custos devem ser pagos por aqueles que se beneficiam. Os efeitos do reuso potável não pode ser visto para ser suportados desproporcionalmente pelos pobres ou desfavorecidos.
- As preocupações ambientais parecem ser altas em Durban.
- Fortes preocupações existem em torno das competências tecnológicas e de operação e manutenção ao longo do tempo. A falta de energia e a deterioração dos serviços municipais em algumas áreas podem estar contribuindo para a diminuição da confiança.
- As pessoas parecem estar mais confortáveis com a reutilização não planejada do que reuso planejado. Globalmente, a humanidade está trabalhando em uma série de suposições erradas sobre os recursos naturais que temos herdado de um passado menos informado. Estes são difíceis paradigmas de se mudar.

- As pessoas, em geral, não têm opinião formada. A comunidade deve ser informada e treinada.

Dado a falta de dados na literatura mais estudos destes casos podem ser úteis.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Estudo de caso: Potencial da Região Metropolitana de Vitória para Reúso Potável Indireto

5.1 A Região Metropolitana de Vitória

Esse estudo tem o objetivo de avaliar o potencial da Região Metropolitana de Vitória (RMV), formada pelos municípios de Cariacica, Serra, Vila Velha e Vitória para alternativa de reúso potável indireto para suprir eventual déficit hídrico em virtude da sua grande expansão econômica e das suas características de recursos hídricos.

Foram excluídos do estudo os municípios de Guarapari, Fundão e Viana, que junto com os citados anteriormente compõem a Região Metropolitana da Grande Vitória por apresentarem, do ponto de vista de recursos hídricos, características heterogêneas e seus sistemas de abastecimento de água são diferentes do sistema de abastecimento da RMV.

5.2 Quantificação dos Recursos Hídricos

5.2.1 Águas Superficiais

A Região Metropolitana de Vitória (RMV) é atualmente abastecida pelas bacias do Rio Santa Maria da Vitória e do Rio Jucu.

A Figura 8 mostra a localização das Bacias de estudo no mapa do Espírito Santo

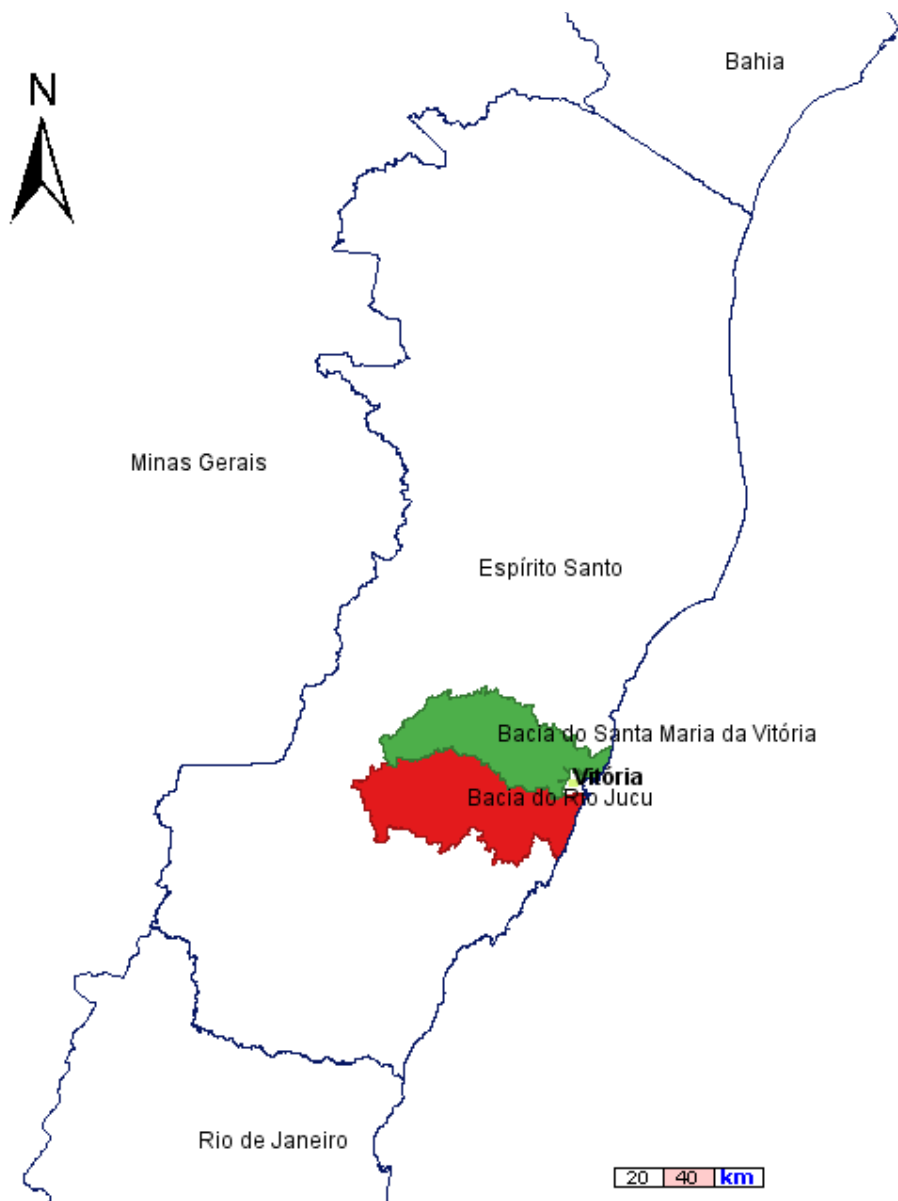


Figura 8: Mapa do Espírito Santo e bacia dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu

O rio Santa Maria da Vitória nasce na Região Serrana do Centro do Estado do Espírito Santo, no município de Santa Maria de Jetibá, percorre aproximadamente 47 Km até o Oceano Atlântico na Baía de Vitória, sua área é de aproximadamente 1864 Km² e engloba os municípios de Santa Maria do Jetibá, Santa Leopoldina, Cariacica, Serra e Vitória

As cabeceiras do rio Jucu situam-se na Serra do Castelo. Possui dois formadores principais: Braço Norte e Braço Sul, tendo áreas de drenagem de 920 Km² e 480 Km², respectivamente. Toda bacia possui uma área de aproximadamente 2200 Km² e engloba os municípios de Domingos Martins, Marechal Floriano, Viana, Vila Velha. O rio tem uma extensão de cerca de 80 km até a foz no Oceano Atlântico. (Guzzo et al, 1996)

Para se estimar a quantidade de água superficial e respeitar os critérios de outorga, serão estimadas as vazões de referência das bacias hidrográficas que abastecem a RMV.

A outorga é um dos instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos, que foi implementada pela Resolução nº 16 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), de 08 de maio de 2001. Esta é o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante faculta ao usuário o direito de uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo. (Fernandes et al, 2008)

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos foi implementada no Estado do Espírito Santo em 2005. A partir de então, foram publicadas Resoluções Normativas do Conselho Estadual do Espírito Santo (CERH) e Instruções Normativas do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA),

órgão gestor de recursos hídricos no Espírito Santo, com o intuito de disciplinar o uso das águas superficiais no Estado do Espírito Santo.

A avaliação dos pedidos de outorga no Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA requer a análise quanto à disponibilidade hídrica, que por sua vez deve conter a avaliação dos limites outorgáveis estabelecidos pela legislação de recursos hídricos vigente no Estado do Espírito Santo e a demanda de água existente na bacia hidrográfica.

Segundo a Instrução Normativa nº 19 de 2005 o IEMA adotará como vazão de referência a vazão de permanência de 90% (noventa por cento) - Q_{90} .

Na análise quanto à disponibilidade hídrica em cada seção na qual ocorre o uso e/ou interferência são realizadas as seguintes verificações:

(verificação 1)

$$\sum Q_{dem} \leq 0,5 \times Q_{ref}$$

Onde, Q_{dem} = somatório das demandas acumuladas de montante até o ponto em análise e Q_{ref} = vazão de referência;

(verificação 2)

$$Q_{usuário} \leq 0,25 \times Q_{ref}$$

Onde, $Q_{usuário}$ = vazão requerida pelo usuário no ponto em análise.

As vazões de referência são calculadas utilizando a metodologia da regionalização de vazões, e seus parâmetros foram calculados pelo Estudo de

Regionalização de Vazões e metodologia para Determinação de Vazões insignificantes para as 12 bacias hidrográficas do Estado do Espírito Santo (Projeto águas Limpas, 2009) e as equações de regionalização para as bacias do Santa Maria da Vitória e Jucu são:

(equação 1) Vazão de referência para a bacia do Rio Santa Maria da Vitória

$$Q_{90} = (8,69 \times 10^{-6} \times A^{0,7865} \times P^{1,2268} \times 0,34) \times 1000$$

(equação 2) Vazão de referência para a bacia do Rio Jucu

$$Q_{90} = (8,69 \times 10^{-6} \times A^{0,7865} \times P^{1,2268} \times 0,50) \times 1000$$

Onde, Q_{90} é a vazão com permanência de 90%, A é a área de drenagem relativa ao ponto de interferência [km^2] e P é a precipitação média da bacia [mm.ano^{-1}].

No quadro 27 serão estimadas as vazões de referência para as bacias do Rio Jucu e do Rio Santa Maria da Vitória. Nos cálculos foi considerada a área de drenagem imediatamente a montante da mancha urbana, próximo de onde já se encontram as captações de água.

Quadro 27: Disponibilidade Hídrica das Bacias do Rio Jucu e do Rio Santa Maria da Vitória

	Bacia do Rio Jucu	Bacia do Rio Santa Maria da Vitória
Área de Drenagem (km ²)	2200,55	1864,61
Precipitação média anual (mm/ano)	1379	1376
Vazão média (l/s)	26275	23004
Vazão de Referência Q ₉₀ (l/s)	13142	7824
Disponibilidade hídrica 50% Q ₉₀ (l/s)	6571	3912

Portanto baseado nos critérios de Outorga do estado do ES temos que a disponibilidade hídrica total é de 10483 l/s.

5.2.2 Águas Subterrâneas

O Subsolo pertencente aos limites geográficos das bacias dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu pertence aos domínios geológicos cristalino, metavulcânico e metasedimentar de acordo com a figura 9.

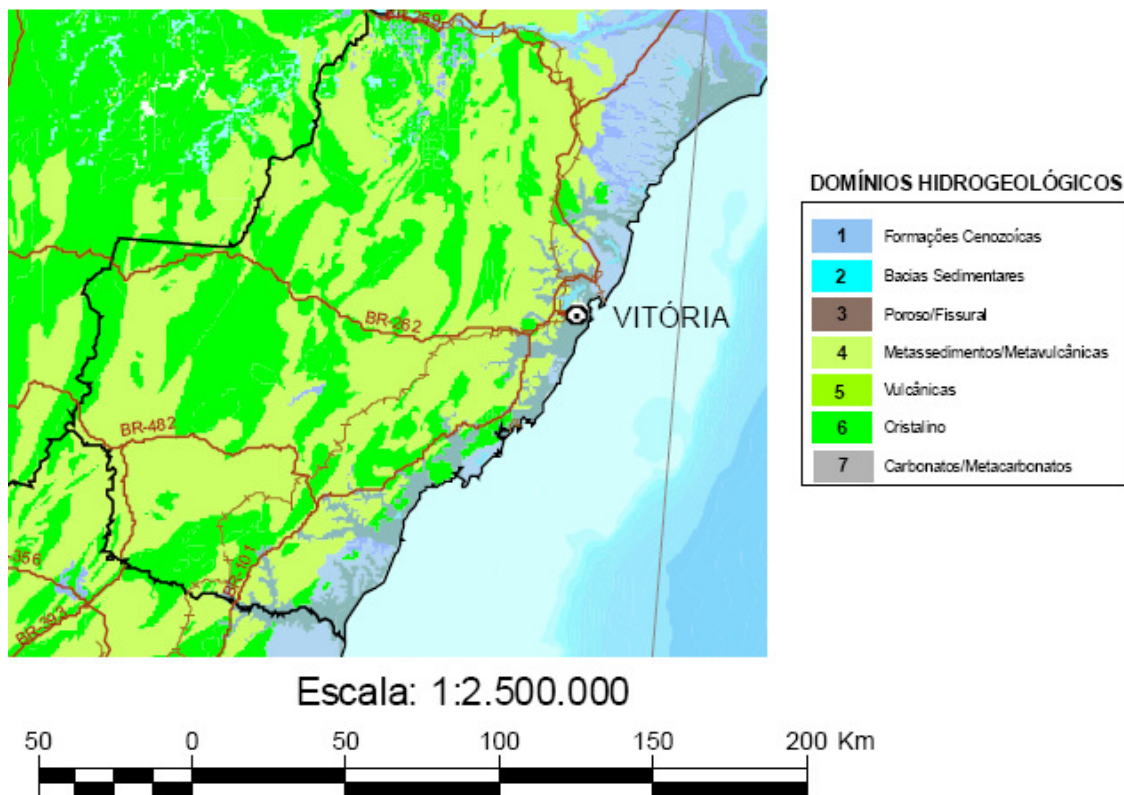


Figura 9: Mapa dos domínios hidrogeológicos do Espírito Santo. Adaptado de CPRM (2002)

A ocorrência de água no subsolo depende de uma série de fatores. Os principais tipos de ocorrência de água subterrânea são encontrados no quadro 28.

Quadro 28: Classificação hidrogeológica encontrados dentro dos limites das bacias de interesse (adaptado de Singhal e Gupta, 1999).

Grupos de rochas	Tipos de rocha e exemplos	Principais meios de ocorrência da água subterrânea
Cristalinas	Rochas ígneas não vulcânicas (granitos, dioritos, gabros etc) e rochas metamórficas (gnaisses, xistos, filitos etc)	Manto de intemperismo e descontinuidades (juntas, falhas, planos de foliação etc).

Quadro 28: Classificação hidrogeológica encontrados dentro dos limites das bacias de interesse (adaptado de Singhal e Gupta, 1999).(Continuação)

Grupos de rochas	Tipos de rocha e exemplos	Principais meios de ocorrência da água subterrânea
Vulcânicas	Rochas vulcânicas (basaltos, andesitos, riolitos etc)	Manto de intemperismo, descontinuidades (juntas, falhas, vesículas) e descontinuidades entre camadas.
Carbonáticas	Rochas carbonáticas (calcários e dolomitos)	Descontinuidades (juntas e falhas) e cavidades de dissolução.

De maneira geral, os aspectos quantitativos relacionados às águas subterrâneas que ocorrem em rochas fraturadas no ES são ainda pouco conhecidos, particularmente no que se refere à porosidade e à permeabilidade das rochas e às características dos fluxos. Devido à grande heterogeneidade das propriedades hidráulicas das rochas fraturadas, os valores de produtividade de água subterrânea em rochas cristalinas são significativamente variáveis.

A rocha cristalina não alterada e não fraturada apresenta baixa porosidade e a permeabilidade é tão pequena que pode ser considerada desprezível. A permeabilidade é determinada pela abertura da fratura, que, por sua vez, é governada pelas propriedades geomecânicas da rocha. (Neves, 2005)

Ainda não foi realizado estudo hidrogeológico na região Portanto a estimativa de disponibilidade hidrogeológica na região de interesse adquire caráter meramente especulativo, e a exploração de aquíferos subterrâneos próximos ao litoral pode ocasionar intrusão da cunha salina

Portanto, para este estudo, não será considerado a disponibilidade hídrica subterrânea.

5.2.3 Águas Salinas

A RMV está localizada próxima ao litoral, banhada pelo oceano atlântico, cuja disponibilidade hídrica quantitativa é praticamente infinita, no entanto o alto teor de sólidos dissolvidos apresenta um grande desafio para se atingir níveis de potabilidade.

Dessalinização trata-se dos processos de remoção dos sais dissolvidos da água salgada. Alguns processos que removem sal da água são: Dessalinização térmica; Congelamento; Destilação multiestágios; Destilação por forno solar e o mais difundido Osmose inversa.

Esse possível recurso hídrico não foi objeto de estudo, uma vez que se encontra muito deteriorado nas proximidades da RMV, além da sua potabilização ser especialmente onerosa e não apresentar nenhuma melhoria ambiental colateral, como despoluição dos recursos hídricos.

5.3 Estimativa dos Usos Consultivos

Para o cálculo da demanda dos recursos hídricos, serão estimados os seguintes usos consultivos: consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e abastecimento industrial.

5.3.1 Consumo Humano

Para se determinar a projeção da população foi calculada a Taxa de crescimento geométrica de crescimento anual, seguindo a metodologia descrita por Von Sperling (2005), utilizando os dados dos recenseamentos realizados em 1991 e 2000 (Quadro 29). As taxas de crescimento calculadas são descritas no quadro 30 e a projeção da população descrita no quadro 31.

Quadro 29: Dados de população dos Municípios da RMV para os anos de 1991 e 2000

	CENSO 1991		CENSO 2000	
	População Rural	População Urbana	População Rural	População Urbana
Vitória	-	258777	-	292304
Vila Velha	1350	264236	1340	344625
Cariacica	13448	261084	11305	312980
Serra	1543	220615	1560	319621

Quadro 30: Cálculo das taxas geométrica de crescimento anual para a RMV

	Taxa geométrica de crescimento anual % ⁽¹⁾	
	Rural	Urbana
Vitória	-	1,36
Vila Velha	-	3,00
Cariacica	-	2,03
Serra	0,12	4,21

⁽¹⁾ Foram desconsideradas as taxas negativas.

Quadro 31: Projeção da população da RMV

	2010		2015		2020		2030	
	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
Vitória	-	334675	-	358110	-	383187	-	438731
Vila Velha	1340	462934	1340	536543	1340	621857	1340	835339
Cariacica	11305	382826	11305	423393	11305	468259	11305	572758
Serra	1560	482530	1560	592883	1560	728473	1560	1099773
Total	14205	1662965	14205	1910929	14205	2201776	14205	2946601
	1677170		1925134		2215981		2960806	

Para se estimar a demanda de água para abastecimento humano foram feitas as seguintes considerações:

Consumo per capita (C): 180 l/hab dia

Coefficiente de dia de maior consumo (K1): 1,2

Perda média na distribuição (e) 40% (SNIS, 2008)

Para o cálculo da demanda de água para abastecimento humano foi utilizada a equação 3 e os resultados das demandas projetadas estão descritas no quadro 32.

(equação 3)

$$Q = \frac{C \times \text{Pop} \times K1 \times (1 + e)}{86400}$$

Quadro 32: Estimativa do consumo de água para abastecimento da RMV

ano	População da Região Metropolitana de Vitória	Demanda para abastecimento (l.s ¹)
2010	1677170	5870
2015	1925134	6738
2020	2215981	7756
2030	2960806	10363

5.3.2 Irrigação

Foi feita a estimativa de consumo de água para irrigação para as bacias do Rio Jucu e Santa Maria da Vitória. Foi utilizada a taxa geométrica de crescimento devido ao grande aumento das lavouras irrigadas observado nos últimos anos.

Os cálculos das taxas de crescimento das lavouras estão descritos no quadro 33 e a projeção da área de lavouras irrigadas está demonstrada no quadro 34 para bacia do rio Jucu. Para fins de simplificação, foi considerada a taxa de crescimento das lavouras irrigadas igual à taxa de crescimento das lavouras.

Quadro 33: Cálculo da taxa de crescimento das lavouras da bacia do rio Jucu

	Domingos Martins	Marechal Floriano	Viana	Vila Velha
Censo 1995 - Lavouras (ha):	20599,47	5649,56	2601,47	225,92
Censo 2006 - Lavouras (ha):	22380,00	6080,00	2579,00	784,00
Taxa Geométrica	0,76%	0,67%	-	11,98%
Censo 1995 - Área irrigada (ha):	2218,53	681,14	283,36	32,04

Quadro 34: Projeção das lavouras irrigadas na bacia do Rio Jucu

	Domingos Martins	Marechal Floriano	Viana	Vila Velha
Censo 1995 - Área irrigada (ha):	2218,53	681,14	283,36	32,04
Projeção 2010 (ha):	2484,05	752,87	283,36	174,80
Projeção 2015 (ha):	2579,45	778,42	283,36	307,73
Projeção 2020 - (ha):	2678,50	804,84	283,36	541,73
Projeção 2030 - (ha):	2888,17	860,40	283,36	1678,90

Da mesma forma, foram calculados das taxas de crescimento das lavouras na bacia do rio Santa Maria da Vitória (Quadro 35). A projeção da área de lavouras irrigadas para bacia do Rio Santa Maria da Vitória está demonstrada no quadro 36.

Quadro 35: Cálculo da taxa de crescimento das lavouras da bacia do rio Santa Maria da Vitória

	Santa Maria de Jetibá	Santa Leopoldina	Cariacica	Serra	Vitória
Censo 1995 - Lavouras (ha):	18988,10	12272,29	1908,10	1984,86	0,00
Censo 2006 - Lavouras (ha):	23201,00	8583,00	1500,00	2119,00	x
Taxa Geométrica	1,84%	-	-	0,60%	-

Quadro 36: Projeção das lavouras irrigadas na bacia do Rio Jucu

	Santa Maria de Jetibá	Santa Leopoldina	Cariacica	Serra	Vitória
Censo 1995 - (ha):	6426,23	914,91	172,27	937,51	0,00
Projeção 2010 (ha):	8445,53	914,91	172,27	1024,96	0,00
Projeção 2015 (ha):	9250,90	914,91	172,27	1055,89	0,00
Projeção 2020 - (ha):	10133,06	914,91	172,27	1087,75	0,00
Projeção 2030 - (ha):	12157,79	914,91	172,27	1154,38	0,00

Para se estimar o consumo de água foram utilizados dados do estudo de CASTRO e SCÁRDUA (1985) das estações descritas no quadro 37

Quadro 37: Estações pluviométricas utilizadas

Município	Estação pluviométrica
Santa Maria de Jetibá	Santa Maria de Jetibá - Rio das Pedras
Santa Leopoldina	Santa Leopoldina - Sede
Cariacica	Cariacica - Duas Bocas
Serra	Serra - Faz Fonte Limpa

Quadro 37: Estações pluviométricas utilizadas (continuação)

Município	Estação pluviométrica
Vitória	Vitória - Sede
Marechal Floriano	Domingos Martins - Sede
Domingos Martins	Domingos Martins - Sede
Viana	Viana, Fazenda Experimental de Jucuruaba
Vila Velha	Vila Velha - São Torquato

A Estimativa do volume necessário de água para suprir o déficit entre evapotranspiração e precipitação seguiu a metodologia de BERNARDO (1995) e para estimativa do volume anual necessário para irrigação foi utilizada a equação 4. (equação 4)

$$V = \frac{(ETP - P) \times kc \times A}{ef}$$

Em que:

- Volume necessário para irrigação por ano (V) [m³.ano⁻¹]
- Evapotranspiração de Referência anual (ETP) [mm.ano⁻¹]
- Precipitação média anual (P) [mm.ano⁻¹]
- Coeficiente da cultura adotado (kc) = 1
- Área Irrigada (A)
- Eficiência (ef): 75 %

Os dados de ETP e P para os municípios estão descrito no quadro 38 e os resultados da estimativa da projeção volumes anuais necessários para irrigação convertidos em termos de vazão são apresentados no quadro 39.

Quadro 38: Dados de ETP e P(CASTRO e SCÁRDUA (1985))

Município	ETP (mm/ano)	P (mm/ano)
Marechal Floriano	1143	1557
Domingos Martins	1143	1557
Viana	1378	859
Vila Velha	1527	837
Santa Maria do Jetibá	1096	798
Santa Leopoldina	1332	1160
Cariacica	1254	1061
Serra	1378	485
Vitória	1527	875

Quadro 39: Projeção da demanda para irrigação

	1995	2010	2015	2020	2030
Volume anual (10 ⁶ m ³ /ano)	54,26	67,22	74,64	88,14	125,76
Vazão (l/s)	1720,7	2131,7	2367,0	2795,0	3988,0

5.3.3 Dessedentação de Animais

A projeção da população de Bovinos, suínos e aves foi calculada de maneira semelhante à da população humana.

Quadro 40: Projeção da população de bovinos

Município	2010	2015	2020	2030
Domingos Martins	8893	8893	8893	8893
Marechal Floriano	11000	13608	16216	21432
Viana	20166	23947	27727	35288

Quadro 40: Projeção da população de bovinos (continuação)

Município	2010	2015	2020	2030
Cariacica	2634	2634	2634	2634
Santa Maria de Jetibá	6320	6320	6320	6320
Santa Leopoldina	8105	8105	8105	8105
Vila Velha	14211	18744	23278	32345
Vitória	224	224	224	224
Serra	11968	11968	11968	11968
Total	83521	94443	105365	127210

Quadro 41: Projeção da população de Suínos

Município	2010	2015	2020	2030
Domingos Martins	8346	8346	8346	8346
Marechal Floriano	1076	1076	1076	1076
Viana	24106	31215	38325	52544
Cariacica	646	646	646	646
Santa Maria de Jetibá	11482	11482	11482	11482
Santa Leopoldina	1475	1475	1475	1475
Vila Velha	4338	5824	7309	10280
Vitória	0	0	0	0
Serra	1660	1983	2307	2954
Total	53129	62047	70966	88803

Quadro 42: Projeção da população de Aves

Município	2010	2015	2020	2030
Domingos Martins	7088263	9111450	11134636	15181009
Marechal Floriano	21813821	28939789	36065758	50317696
Viana	3084	3084	3084	3084
Cariacica	3805	3805	3805	3805
Santa Maria de Jetibá	6724830	8609961	10495091	14265352
Santa Leopoldina	233401	233401	233401	233401
Vila Velha	6999	9326	11652	16305
Vitória	300	300	300	300
Serra	4331	4331	4331	4331
Total	35878834	46915447	57952059	80025284

No quadro 43 é apresentada a projeção do consumo convertido em vazão para dessedentação de animais

Quadro 43: Projeção do consumo para dessedentação de animais

		Consumo per capita l/cabeça/dia	2010	2015	2020	2030
Bovinos	50	Pop	83521	94443	105365	127210
		Consumo (l/s)	48	55	61	74
Suínos	12,5	Pop	53129	62047	70966	88803
		Consumo (l/s)	8	9	10	13
Aves	0,36	Pop	35878834	46915447	57952059	80025284
		Consumo (l/s)	149	195	241	333

5.3.4 Uso Industrial

Devido à ausência de dados confiáveis, o consumo industrial foi estimado em 1500 l/s levantamentos realizados nas outorgas pelo IEMA publicadas no site www.meioambiente.es.gov.br

O Resumo das estimativas de demanda hídrica num cenário onde a disponibilidade hídrica se mantenha constante está descrito no Quadro 44, e a figura 10 ilustra o crescimento da demanda hídrica.

Quadro 44: Projeção da demanda causada pelos usos consultivos

	2010	2015	2020	2030
Irrigação	2132	2367	2795	3988
Dessedentação de animais	205	259	312	420
Abastecimento Industrial	1500	1500	1500	1500
Abastecimento Humano	5870	6738	7756	10363
Total	9707	10864	12363	16271
Disponibilidade Hídrica	10483	10483	10483	10483
Déficit(1)	-776	381	1880	5788

(1)Valores negativos significam excedente de água

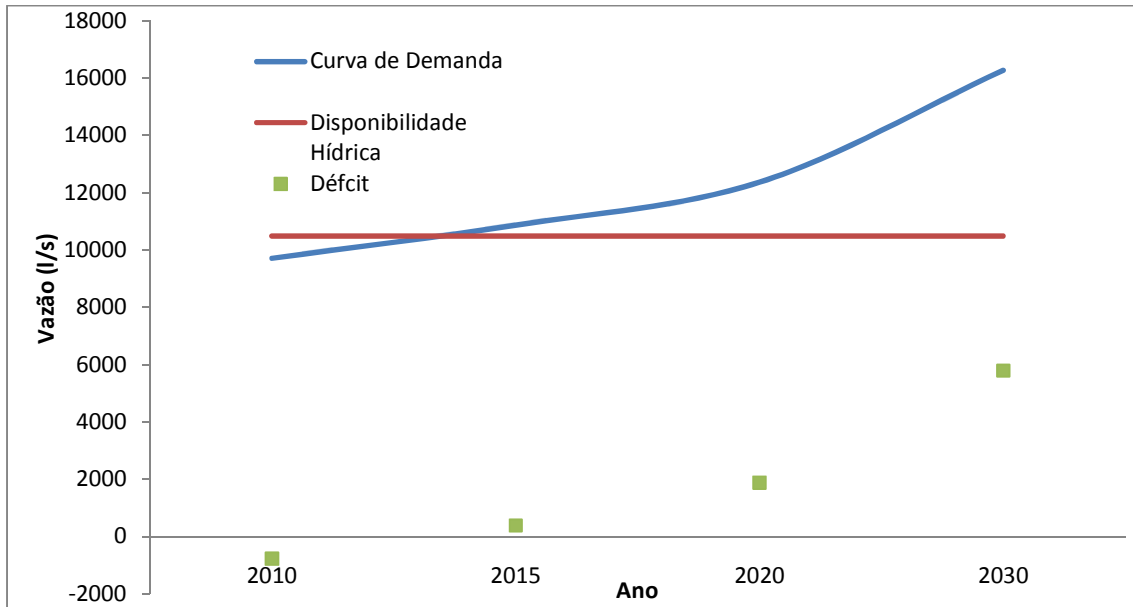


Figura 10: Curva de crescimento da demanda hídrica

Pela estimativa observa-se que próximo ao ano de 2015 a RMV enfrentará um cenário de escassez de recursos hídricos. Serão avaliadas algumas alternativas para suprir esse déficit hídrico.

5.4 Alternativas para incremento da disponibilidade hídrica

5.4.1 Transposição do Rio Benevente

A Bacia do Rio Benevente é a mais próxima e devido a sua alta precipitação média anual pode apresentar disponibilidade hídrica para suprir o déficit das outras bacias.

A título de exercício foi estudado a alternativa de transposição entra a bacia do Rio Benevente e Santa Maria da Vitória utilizando uma adutora.

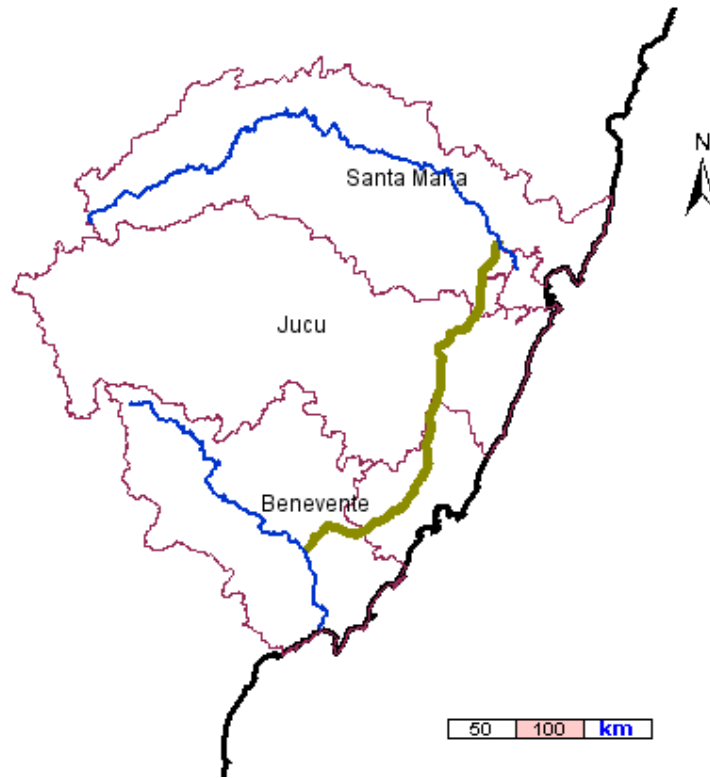


Figura 11: Detalhe da transposição entre as bacias do Rio Benevente e do Rio Santa Maria da Vitória

O Traçado da adutora seguiu o traçado da Rodovia BR-101 (figura 11) devido à menor diferença de cotas, melhor logística na construção e mitigação dos impactos ambientais. Devido ao perfil da rodovia ilustrado na figura 12, a construção de canais é inviável devido à freqüente variação da inclinação.

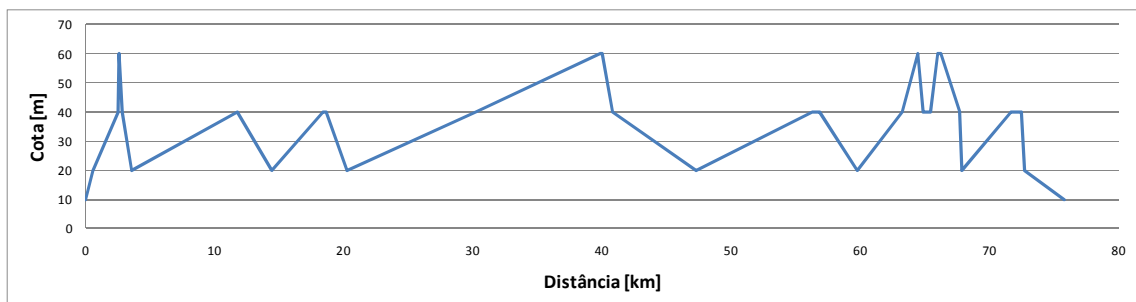


Figura 12: Perfil da adutora

5.4.1.1 Parâmetros de Projeto

Para o cálculo da disponibilidade hídrica no ponto de captação foi utilizada a equação 5 (Projeto águas Limpas, 2009).

(equação 5) Vazão de Referência para bacia do Rio Benevente

$$Q_{90} = (8,69 \times 10^{-6} \times A^{0,7865} \times P^{1,2268} \times 0,50) \times 1000$$

Área de Drenagem referente ao ponto de captação 825,31 km²

Precipitação média anual: 1587 mm/ano

Vazão de referência Q90 no ponto provável da captação: 7565 l/s

Disponibilidade hídrica 50% Q90: 3783 l/s

Disponibilidade hídrica individual 25% Q90: 1891 l/s

A Disponibilidade hídrica individual no ponto escolhido para a transposição atenderá o déficit hídrico até o ano de 2020 segundo a estimativa realizada anteriormente.

Os cálculos realizados para o dimensionamento da adutora são encontrados no apêndice 1 e o resumo do projeto está descrito no quadro 45. A avaliação do custo de construção está descrita no quadro 46.

Quadro 45: Resumo do projeto da adutora:

Parâmetro	Valor
Vazão de Projeto	1891 l/s
Comprimento da tubulação	75818 m
Diâmetro da Tubulação	1000 mm
Velocidade média	2,4 m/s
Viscosidade cinemática	1×10^{-6} s/m ²
Reynolds	2407696
Rugosidade absoluta ferro fundido (ϵ)	0,5 mm
Fator de atrito de Darcy-Weissbach (f)	0,009
Perda de carga Hm	212,5 m
Perda de carga localizada (10% Hm)	2,125 m
Desnível máximo	50 m
Perda de carga total	293,81 m
Potência necessária para bombeamento	10583 cv

Para estimativa dos custos de implantação de uma adutora desse porte, foram consultados editais de tomada de preço de obras de saneamento envolvendo Tubulação para água com diâmetro maior que 600 mm. Para estimativa do custo foram consideradas as seguintes atividades:

- Obras de Construção Civil: canteiro de obras, serviços técnicos, serviços preliminares, movimento de terra, fundações e estruturas, assentamento e serviços diversos
- Terraplenagem.
- Estrutura Em Concreto Armado.

- Pavimentação.
- Escoramento

O Custo unitário estimado dos serviços de construção de adutora foi de R\$ 860,00 por metro

O Custo da Tubulação de ferro fundido de diâmetro de 1000 foi cotado a R\$ 1000,00 por metro

O Custo do sistema motobomba foi cotado a R\$ 1600000,00 por bomba de 1000 cv.

Quadro 46: estimativa do custo de construção da proposta de transposição do Rio Benevente

Atividade	Custo unitário (R\$/m)	Unidade (m)	Custo (R\$)
Custos de serviço	860,00	75818	65.203.480,00
Tubulação FoFo DN 1000 K7	1000,00	75818 +10% (perdas + conexões)	83.399.800,00
Estrutura de recalque	1600000 / bomba de 1000 cv	12 (10 operantes e 2 de reserva)	19.200.000,00
TOTAL			167.803.280,00

5.4.2 Transposição do Rio Doce

O Rio Doce apresenta disponibilidade hídrica substancialmente maior que todos os outros rios do ES.

Por se tratar de um rio de domínio Federal a sua vazão de referência é a Q_{95} , que, baseado nos dados da estação 56994500, foi estimada em 2242,09 m^3/s . Vazão suficiente para atender a demanda da RMV. No Entanto é um recurso relativamente distante.

O extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) nos anos 70 e 80 construíram uma série de canais de drenagem na região da foz do Rio Doce, que era uma grande região alagada como pode se observar nas cartas do IBGE datadas de 1970.

Em 2001 foi criado um canal de tomada d'água derivando 10 m^3/s do Rio Doce para os canais de drenagem construídos pelo DNOS, que passou a funcionar como um canal de transporte d'água, com a principal finalidade de abastecimento industrial.

Desses 10 m^3/s apenas 3 m^3/s são para abastecimento industrial, o restante abastece comunidades indígenas do local e vilarejos, e uma pequena parte destinada a dessedentação de animais.

Em resumo, 5,8 m^3/s de água, que é o déficit hídrico para o ano de 2030 para RMV, podem ser retirados desse canal sem maiores conseqüências, uma vez que o excedente é lançado diretamente no oceano, assim gerando economias com bombeamento. Portanto, a adutora terá como ponto de captação o final do Canal, e se estenderá até a bacia do Rio Santa Maria da Vitória, passando às margens de

rodovias a fim de mitigar os impactos ambientais na sua construção, e aproveitando o caminho de menor gradiente de declividade, conforme figura 13.

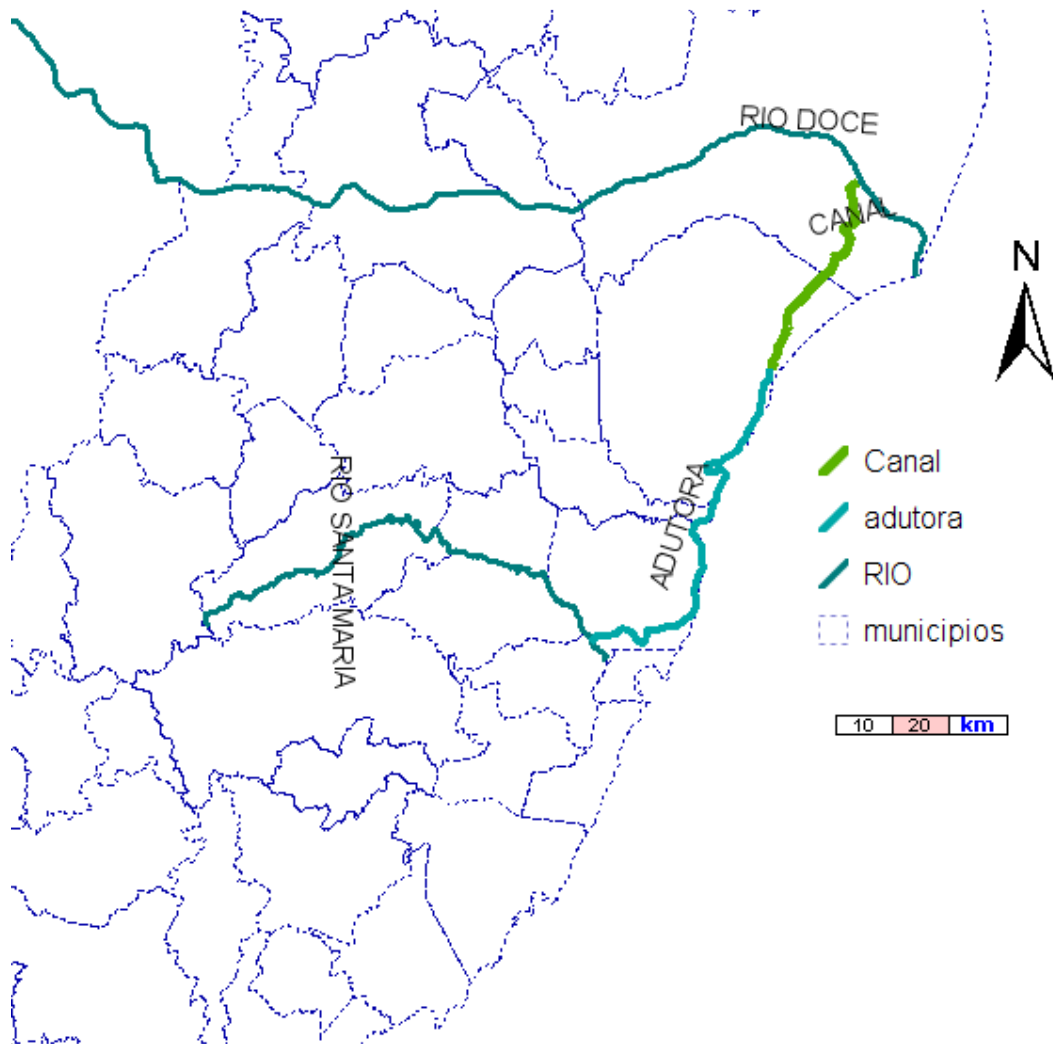


Figura 13: Detalhe da proposta transposição do Rio Doce para RMV

O resumo do projeto está apresentado no quadro 47.

Quadro 47: Resumo do projeto da adutora:

Parâmetro	Valor
Vazão de Projeto	5800 l/s
Comprimento da tubulação	80796 m
Diâmetro da Tubulação	1800 mm
Velocidade média	2,3 m/s
Viscosidade cinemática	1×10^{-6} s/m ²
Número de Reynolds	$4,1 \times 10^6$
Rugosidade absoluta ferro fundido (ϵ)	0,1 mm
Fator de atrito de Darcy-Weissbach (f)	0,009
Perda de carga distribuída Hm	110 m
Perda de carga localizada (10% Hm)	11 m
Desnível máximo	20 m
Perda de carga total	141 m
Potência necessária para bombeamento	16684 cv

Como não existe no mercado tubulação de ferro fundido com diâmetro nominal (DN) de 1800 mm será utilizada tubulação construída em aço carbono com costura helicoidal, os demais custos de serviço foram considerados os mesmos da transposição do rio Benevente. Os custos unitários foram extraídos de atas de prestação de contas do Tribunal de Contas da União (TCU). (Quadro 48)

Quadro 48: Estimativa de custo de construção da proposta de transposição do Rio Doce

Atividade	Custo unitário (R\$/m)	Unidade (m)	Custo (R\$)
Custos de serviço	860,00	80796	69484560,00
Assentamento de tubos de aço DN 1800 mm	570 reais/m	80796	46053720,00

Quadro 48: Estimativa de custo de construção da proposta de transposição do Rio Doce (continuação)

Atividade	Custo unitário (R\$/m)	Unidade (m)	Custo (R\$)
Tudo de Aço Carbono DN 1800 chapa de 3/8 in espessura	3057,90 R\$/m	80796 +10% (perdas + conexões)	271772697,00
Estrutura de recalque	1600000 / bomba de 1000 cv	20 (17 operantes e 3 de reserva)	32000000,00
TOTAL			419310977,00

5.4.3 Sistema de Reúso Potável Indireto

A título de exercício será dimensionado um sistema de reúso potável hipotético para abastecer a Região Metropolitana de Vitória (RMV). No corpo de texto será apresentado apenas o resumo das unidades dimensionadas, os cálculos realizados poderão ser encontrados no Apêndice I.

A diretriz utilizada para associação dos sistemas de tratamentos procurou seguir a atual tendência do saneamento no Brasil. Foram utilizadas bibliografias mais difundidas e recomendações conservadoras. Para elaboração desta proposta foram utilizadas as seguintes referências: CAMPOS (1999), Van Haandel e Marais (1999), CHERNICHARO (1999), AZEVEDO NETTO e BOTELHO (1991), JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A. (2005), GONÇALVES, R.F. (1996)

O esgoto sanitário gerado na RMV será, após tratamento avançado, considerado fonte de recurso hídrico para aumentar a disponibilidade hídrica da Bacia do Rio Santa Maria da Vitória, ao contrário de ser lançado no corpo receptor, conforme ilustra figura 14.

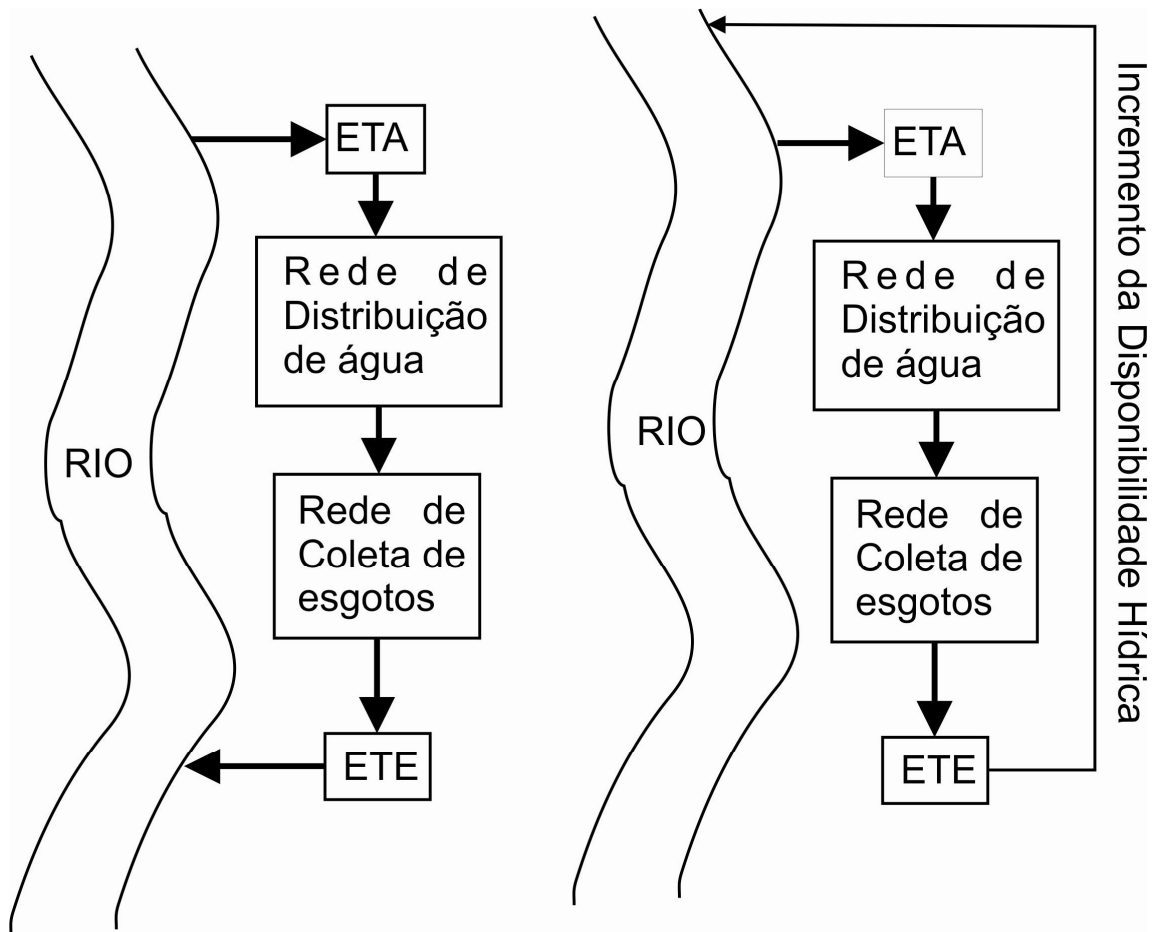


Figura 14: Proposta de reúso potável indireto para incremento da disponibilidade hídrica

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 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, águas destinadas a abastecimento para consumo humano devem ser de:

- Classe Especial - após tratamento simplificado;
- Classe 1 - após tratamento simplificado;

- Classe 2 - após tratamento convencional;
- Classe 3 - após tratamento convencional ou avançado.

Portanto para atender a resolução CONAMA 357/05 recurso hídrico deverá apresentar uma série de características que o enquadrem no mínimo na Classe 3. Foi adotado para o Projeto de Reúso Potável indireto que o efluente da Estação de Tratamento de Esgotos deva apresentar características que se enquadram na Classe 1. Os Parâmetros principais da Classe 1 estão descritas no quadro 49.

Quadro 49: Parâmetros da classe 1 de águas superficiais (CONAMA 357/2005)

Parâmetro	Valor Máximo
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
DBO	3 mg/L O ₂
Turbidez	40 UNT
Cloreto total	250 mg/L Cl
Nitrogênio amoniacal total	3,7mg/L N, para pH < 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH <= 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH <= 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
Coliformes Termotolerantes	200 UFC/100ml

Para determinação da vazão de Projeto foi adotado o valor de 1000 l/s como uma primeira etapa, o que garantiria disponibilidade hídrica até próximo ao ano de 2020 para RMV. O Valor de 1000 l/s é um valor aceitável de produção de efluente sanitário, uma vez que as Cidades da RMV planejam uma cobertura da rede de coleta de esgotos de 100%.

Foram adotados parâmetros usuais para o esgoto bruto conforme quadro 50.

Quadro 50: Parâmetros de Dimensionamento:

Parâmetro	Valor
Vazão	1000 l/s
DBO	400 mg/l
DQO	800 mg/l
NTK	40 mg/l
Coliformes termotolerantes	1×10^8 UFC/100 ml

5.4.3.1 Tratamento preliminar

Para o tratamento preliminar serão utilizadas as seguintes operações unitárias.

- Peneira estática
- Caixa de areia por ar dissolvido
- Caixa de gordura

Foi considerado que o Tratamento preliminar não apresenta eficiência de remoção de nenhum parâmetro.

5.4.3.2 Tratamento Biológico

O tratamento biológico de esgotos, como o próprio nome indica, ocorre integralmente por mecanismos biológicos. Esses mecanismos reproduzem em um ambiente controlado (com maior eficiência) e em taxas mais elevadas (requerendo

menor área) o que ocorre na natureza no processo de autodepuração. (Von Sperling, 1996)

Para o Tratamento biológico, foi proposta a associação de Reator do tipo UASB com Tanque Anóxico, e Biofiltro Aerado Submerso, a seqüência do tratamento está ilustrado na figura 15.

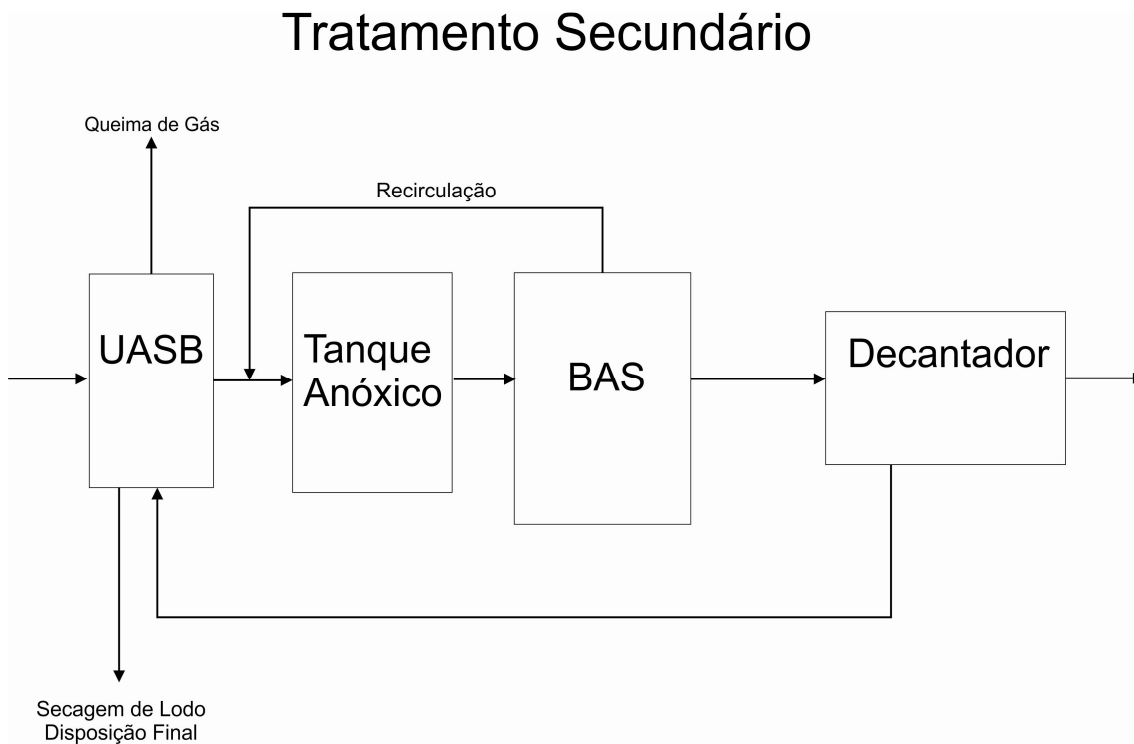


Figura 15: Esquema simplificado do tratamento biológico proposto

Tratamento Anaeróbio

O Reator UASB foi selecionado por apresentar várias vantagens, dentre elas podemos citar:

- Baixo Consumo de Energia

- Menor produção de lodo de excesso, e, portanto, economia considerável no manejo e destino final desse tipo de resíduo dos sistemas de tratamento.
- Possibilidade de recuperação e utilização do gás metano como combustível
- Possibilidade de funcionar bem mesmo após longos períodos de interrupção

Alguns aspectos negativos estão relacionados com:

- Longo período de partida do sistema sem não há disponibilidade de inoculo adequado
- Sensibilidade do processo a mudanças das condições ambientais (pH, temperatura, sobrecargas orgânicas e hidráulicas).
- Possível emissão de odores ofensivos

Tratamento Aeróbio/Anóxico

Tendo em vista que o Nitrogênio é um dos principais parâmetros de remoção, a associação de sistemas que promovam a nitrificação com desnitrificação é obrigatória.

Dentre as opções de operações unitárias que possam promover a uma eficiente nitrificação, temos, entre outros, os sistemas de Lodos Ativados e o Biofiltro Aerado Submerso (BAS).

O BAS foi escolhido, entre outros fatores, pelos seguintes motivos:

- Pela grande aceitação desse sistema inclusive em unidades compactas de tratamento;
- Por Atingir remoção satisfatória dos parâmetros analisados;
- Menor produção de Lodo quando comparado com o sistema de lodos Ativados;
- Pela facilidade de operação, e
- Pelo crescente número de pesquisas realizadas por instituições Brasileiras que comprovam a viabilidade do sistema.

Contudo, o BAS pode apresentar algumas desvantagens, as quais podem citar:

- Possibilidade de mau funcionamento por fluxo preferencial;
- Desprendimento de Biomassa;

- Alta perda de carga no meio filtrante;
- Incidência de insetos; e
- Emissão de Odores.

No entanto, as desvantagens citadas não justificam a não utilização do sistema, pois são compensadas pelos motivos de escolha citados.

A remoção completa de Nitrogênio se dá com o desprendimento de N₂ para o meio, realizada pelas bactérias desnitrificantes. As condições de desnitrificação serão estabelecidas no tanque anóxico previsto na composição do sistema.

O resumo da qualidade do efluente da saída de cada operação unitária está descrito no quadro 51.

Quadro 51: Resumo dos parâmetros de saída das unidades

Parâmetro	Efluente Bruto	Tratamento Preliminar	Tratamento Biológico		
			UASB	ANÓXICO	BAS/DECANTADOR
DBO	400	400	99	48	7
DQO	800	800	263	160	48
NTK	40	40	40	4	0
NO ₃ ⁻ /NO ₂ ⁻	-	-	-	0	40
<i>E.Coli</i>	1x10 ⁸	1X10 ⁸	1X10 ⁸	1X10 ⁸	1X10 ⁸

5.4.3.3 Tratamento Avançado

A seqüência sugerida para o Tratamento Avançado objetivou:

- Remoção de parâmetros não removidos no tratamento secundário;
- Atuar como barreira múltipla;
- Remoção de micropoluentes (EDCs, PPCP's, Pesticidas);
- Remoção de Microrganismos

A seqüência de operações unitárias está ilustrada na figura 16:

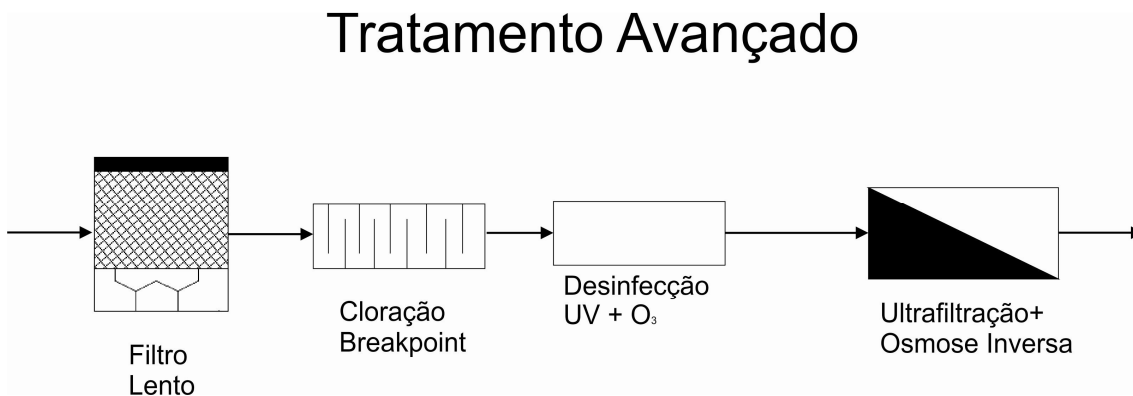


Figura 16: Tratamento avançado

Filtro Lento

Segundo Brito et al (2005). Diversos autores vêm relatando que, na remoção de microrganismos pelo filtro, atuam não apenas o processo natural de

peneiramento, mas uma conjunção de fatores físicos, químicos e, sobretudo, microbiológicos, tais como a predação, a competição, a morte natural e a necrofagia. O conhecimento desses mecanismos aponta para uma potencialmente satisfatória remoção de bactérias, vírus, além de cistos de Giardia e oocistos de Cryptosporidium. Uma das camadas do filtro lento será constituída de carvão ativado com o intuito de adsorver microcontaminantes orgânicos. Os parâmetros de projeto estão apresentados no quadro 52.

Quadro 52: Parâmetros de Projeto do filtro lento

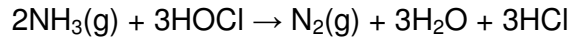
Parâmetros de Projeto	
Taxa de aplicação superficial	6 m/dia
Nº de filtros lentos	20
Área de cada filtro	720 m ²

Cloração Ao Breakpoint

A Cloração ao Breakpoint funciona como barreira na remoção de N-NH₃ que é um dos principais itens do Padrão de aceitação para consumo humano da portaria 518 do Ministério da Saúde.

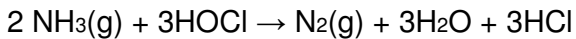
O cloro é uma substância largamente usada, face ao seu conhecido poder desinfetante, entretanto pode apresentar riscos de poder formar substâncias tóxicas (substâncias organocloradas, cloraminas) para os seres vivos. (Leytón Cerna, C.E., 2008)

A reação global da reação ao breakpoint pode ser expressa como:

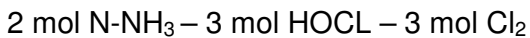


Para o cálculo foi assumido que ainda possa existir um residual de 1,5mg/l de N-NH₃ no efluente do tratamento secundário.

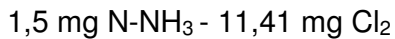
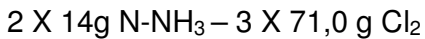
Pela equação global da cloração ao Breakpoint temos:



Ou seja:



Logo:



Para vazão de 1000 l/s e concentração de N-NH₃ de 1,5 mg/l temos que a carga diária de N-NH₃ é de 129,6 kg/dia, o que significa consumo de 985,8 kg Cl₂.dia⁻¹ a uma dosagem de 11,3 mg/l. Foi adotado um tempo de contato de 30 minutos, valor médio encontrado na literatura.

UV + Ozônio

Esse processo oxidativo avançado foi escolhido por apresentar as seguintes vantagens:

- Oxidação de microcontaminantes orgânicos;
- Alta capacidade de inativação de vírus;

- Grande poder desinfetante;
- Ausência de residual para não causar danos ao recuso hídrico tampão;
- Potencial de inativação de *Cryptosporidium*;
- Potencial de inativação de *Gyardia*;

Para o projeto foram utilizados dados de USEPA (2006), DANIEL (2001) e TAKADA et al (2007).

OBS: O Efeito sinérgico existente entre a radiação UV e o O₃ não foi considerado no parâmetro de projeto.

Quadro 53: Dados de projeto para unidade de UV + O₃

Parâmetro	Valor
Temperatura	20°C
Dose UV	186 mJ/cm ²
Inativação de Vírus por UV	4 log.
Inativação de <i>Cryptosporidium</i> por UV	4 log.
Inativação de <i>Gyardia</i> por UV	4 log.
CT Para O ₃	12 mg*min/l
Inativação de Vírus por O ₃	3 log.
Inativação de <i>Cryptosporidium</i> por O ₃	3 log.
Inativação de <i>Gyardia</i> por O ₃	3 log.
Tempo de contato para O ₃	30 minutos
Tempo de contato para UV	15 segundos

Quadro 53: Dados de projeto para unidade de UV + O₃ (continuação)

Parâmetro	Valor
Volume total do tanque de contato	1800 m ³
Potência das lâmpadas UV	40 W
Nº de lâmpadas	137
Dose O ₃	3 mg/l

Separação por membranas

Para a unidade de separação por membranas foi utilizada a ultrafiltração como “pré-tratamento” para osmose inversa que é atualmente um dos sistemas mais avançados de tratamento de água. Esta tecnologia apresenta ótimos resultados de qualidade de efluente tratado, no que tange a remoção de sólidos dissolvidos. O esquema de uma separação por membranas está ilustrado na figura 17.

A Microfiltração não foi utilizada devido à recentes relatos de susceptibilidade muito maior ao “foaming” em relação à ultrafiltração. Foi utilizado para estimativa do sistema o aplicativo ROSA 7.2.1 (Reverse Osmosis System Analysis) disponível em http://www.dowwaterandprocess.com/support_training/design_tools/rosa.htm

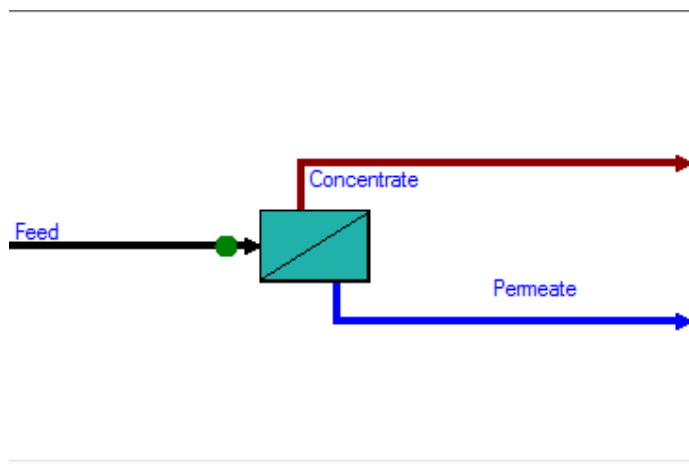


Figura 17: Esquema de um modelo de separação por membranas (Gerada pelo programa rosa 7.1)

Ultrafiltração (UF) seguida por Osmose inversa (RO)

Foi selecionado o modelo de membrana de UF “GM8040F” da General Electric e para RO foi selecionado o modelo RO-390-FF da Lenntech, pois ambas apresentam boa tolerância à íons cloreto que estão presentes no efluente. As especificações das membranas estão descritas no quadro 54.

Quadro 54: Especificações das membranas

Modelo	UF (GM8040F)	RO (RO 390 FF)
Comprimento	1,016 m	1,016 m
Diâmetro	20 cm	20 cm
Corte	8 KD	95,5 de rejeição de NaCl
Área ativa	34,4 m ²	36
Vazão específica	40 l/m ² /hora	39 l/m ² /hora
Pressão de serviço	276 KPa	560 KPa
Nº total de unidades	2616	2564

O resumo da qualidade do efluente da saída de cada operação unitária está descrito no quadro 55.

Quadro 55: Resumo dos parâmetros de saída das unidades

Parâmetro	Efluente do Tratamento Secundário	Tratamento Avançado			
		Filtro lento	Cloração ao BreakPoint	UV + O ₃	Ultrafiltração + Osmose Inversa
DBO	7	1	1	1	<L.D
DQO	48	5	5	5	<L.D
NTK	1,5	1,5	<L.D	<L.D	<L.D
NO₃- /NO₂-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D
E.Coli	1x10 ⁸	1X10 ⁴	1X10 ³	<L.D	<L.D

L.D. Limite de detecção

No final do tratamento, o efluente será lançado no Rio Santa Maria da Vitória 2000m à montante do ponto de captação da ETA composta de tratamento convencional e ser distribuído pela rede de distribuição de água potável.

6 Verificação da aceitação da população

Um importante aspecto envolvido no reúso de água é a aceitação da população. Foi realizado um estudo preliminar para avaliar a aceitação de pessoas treinadas em saneamento, a várias finalidades utilizando água de reúso.

A literatura aponta os seguintes fatores que influenciam na aceitação da população ao reúso de água (WILSON; PFAFF, 2008)

- Fatores emocionais;
- Percepção do risco;
- Tipo de uso da água reciclada;
- Fontes de água reciclada;
- Percepção da escolha;
- Confiança nas autoridades e no conhecimento científico;
- Atitudes ambientalistas;
- Justiça/Equidade;
- Relação custo/benefício e
- Fatores sócio-demográficos.

Em linhas gerais, as pessoas não têm predisposição a aprovar o reúso. A aceitação é muito maior quando ocorre conhecimento de crises de escassez hídrica quantitativa ou qualitativa.

Para tal verificação foi realizado entrevistas direcionadas por questionários seguindo basicamente metodologia de DOLNICAR et al (2010). O modelo do questionário aplicado está descrito no anexo B.

Foram selecionadas para responder o questionário pessoas ligadas ao saneamento, como profissionais, pesquisadores, estudantes e demais que se declararam conhecedores da área. A escolha desse público alvo foi proposital, uma vez que não fornecido treinamento, e o objetivo principal foi avaliar a aceitação do público formador de opinião. Os respondentes não receberam gratificação de nenhum tipo, inclusive financeira.

O questionário sócio-econômico foi simplificado, por não ser objeto de estudo uma vez que o público alvo apresentar características sócio-econômicas semelhantes.

Foi perguntada qual a fonte de água potável os respondentes utilizavam para beber, com a finalidade de se avaliar a confiança desse público no sistema de distribuição de água potável. Os resultados estão descritos na figura 18.

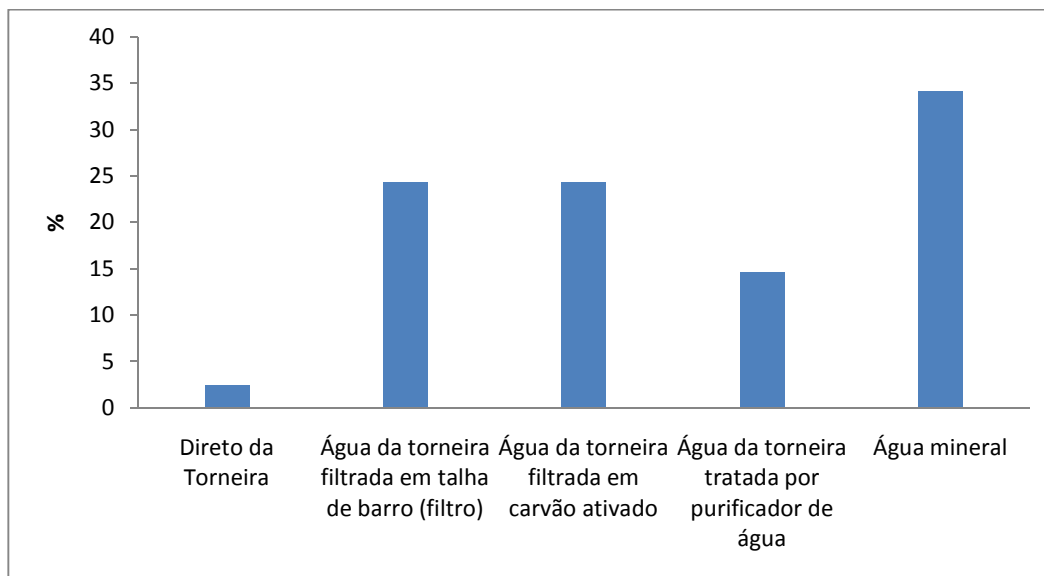


Figura 18: Resultado da avaliação da fonte de água para consumo

Foi apresentada uma proposta de sistema de reúso potável e perguntado a avaliação para os seguintes usos de contatos indiretos e diretos:

Usos de contato indireto

- Alimentar animais de estimação;
- Encher/Completar volume de Piscina;
- Encher Aquário ou lago;
- Irrigar Jardins (gramados, arbustos e árvores);
- Lavar roupas;
- Lavar carro;
- Limpar a casa e janelas;
- Descarga de Banheiro;

Usos de contato direto

- Irrigar jardim (pomares, legumes, plantas consumidas cruas);
- Cozinhar;
- Escovar dentes;
- Beber;
- Dar banho em bebês;
- Tomar banho;

Para cada tipo de uso foi preenchido de 0 a 5, onde 0 é “não aprovo” e 5 é “aprovo totalmente”. O resultado foi transformado em porcentagem e seus valores médios estão descritos na figura 19.

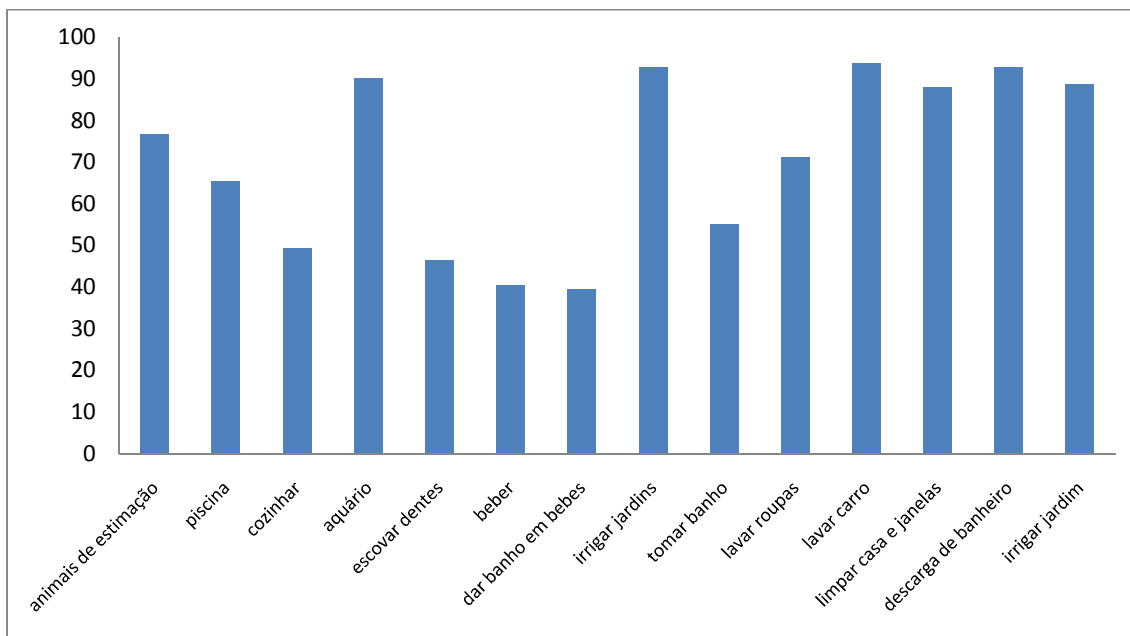


Figura 19: Avaliação da aceitação para os usos do sistema

Em virtude da existência de poucos dados (41 questionários) não foi realizado estudo estatístico mais aprofundado. A tabulação dos dados e a estatística descritiva estão descritas no anexo C.

Com base nos resultados do questionário foram feitas as seguintes observações:

- Usos de contato indireto apresentam grande aceitação pelo público alvo;
- Os usos com contato indireto apresentaram aceitação maior do que os usos de contato direto
- Os resultados da avaliação da aceitação foram semelhantes aos resultados de para população treinada apresentada por DOLNICAR et al, 2010;
- Para fins pouco nobres ocorreram alguns casos de rejeição sob a justificativa de que a qualidade da água tratada era muito superior a necessária para o fim;

- A maior causa de rejeição relatada para o uso “beber” foram motivos “psicológicos”;
- Foram identificadas duas tendências distintas para o uso “beber”, uma mais conservadora, que atribuiu nota “0” e outra mais menos conservadora que atribuiu o valor máximo “5”, no entanto o número de notas “0” foi maior que o de notas “5” (ANEXO C).
- O layout do tratamento apresentado teve boa aceitação por parte dos entrevistados;
- A Osmose inversa foi a unidade que gerou mais comentários positivos;
- A maior fonte de água para consumo do público alvo foi água mineral;
- Foi observado baixo consumo direto de água distribuída pela rede de distribuição, sendo somente usada com algum pós-tratamento.

7 Discussões

7.1 Avaliação das tecnologias disponíveis

Pela revisão de literatura, as tecnologias disponíveis para tratamento de esgoto sanitário apresentam grande potencial de remoção de praticamente todos os contaminantes, presentes nesse tipo de efluente, podendo atingir níveis de qualidade considerados seguros para usos muito restritivos como consumo humano. No entanto, os custos agregados tornam a prática desses usos demasiadamente onerosa.

No decorrer da pesquisa de mestrado, observou-se que o Brasil apresenta domínio pleno das técnicas de tratamento de esgoto sanitário incluindo as mais avançadas. Contudo, o foco da maioria dos sistemas de tratamento implantados visa apenas à remoção de matéria orgânica e em alguns casos nutrientes.

Avaliando o atual quadro do saneamento do Brasil, pode-se concluir que ainda faltam muitos investimentos em infra-estrutura de saneamento nos aspectos de coleta e tratamento de esgotos.

7.2 Poluentes emergentes

Os poluentes emergentes, que vem causando crescentes preocupações à população, podem ser removidos com grande eficiência por processos oxidativos avançados como a ozonização. No entanto, restam algumas dúvidas quanto aos efeitos dos subprodutos gerados, pois podem ocorrer transformações das moléculas

gerando outras com efeitos piores do que as originais. A adsorção por carvão ativado e a Osmose inversa são tecnologias com enorme potencial de remoção desses poluentes, embora os custos das membranas ainda estejam abaixando, são altos.

Pelos trabalhos avaliados, observa-se que a maior preocupação acerca dos poluentes emergentes se deve, principalmente, ao aumento das suas concentrações no ambiente e pela necessidade de tratamento complementar para sua remoção, pois as técnicas convencionais não apresentam bons mecanismos de remoção dos mesmos. Em contrapartida, observa-se que já existem técnicas, que estão cada vez mais utilizadas, com que utilizam mecanismos com boa eficiência de remoção desses poluentes.

7.3 Microrganismos

As atuais tecnologias de desinfecção removem com grande eficiência os indicadores *CT* e *E. Coli*, no entanto para usos de maior risco, como reúso potável, observa-se a necessidade de indicadores adicionais, a fim de se garantir segurança para um espectro maior de espécies patogênicas, como protozoários e vírus. O *Clostridium Perfringes* pode ser um bom candidato a indicador adicional. Medeiros (2010) constatou que o *C. Perfringes* apresenta correlação, em termos de remoção, à *Giardia* spp., espécies que tem gerado grandes preocupações devido à sua resistência à desinfetantes.

A desinfecção utilizando radiação UV apresenta ótima eficiência de remoção de vírus, no entanto um indicador adicional deve ser utilizado para um melhor controle. Segundo DANIEL (2001) os Colifagos são bons indicadores de vírus entéricos com a vantagem de apresentar resultados rápidos, de 4 a 6 horas.

7.4 Legislação e critérios de reúso

De acordo com RODRIGUES (2005), É fundamental um direcionamento legal e institucional para a regulamentação desta prática no país, para a maximização de seus benefícios, e a minimização dos prejuízos que poderiam decorrer de uma implementação desordenada, devendo considerar os aspectos legais e institucionais existentes dos assuntos relacionados ao reúso, tais como o gerenciamento dos recursos hídricos, o saneamento ambiental, a proteção à saúde pública e ao meio ambiente, visto que só desta forma, poderá ter validade e ser mais facilmente implementado.

O desenvolvimento de diretrizes para reúso potável é difícil (USEPA, 2004). Para elaboração de uma diretriz de reúso potável no Brasil podem ser feitas as seguintes sugestões com base nas constatações observadas neste trabalho e principalmente no sistema de reúso potável direto em Windhoek, Namíbia (PISANI, 2006):

- Utilização apenas de efluente sanitário;
- Exigência de barreiras múltiplas;
- Uso de indicadores adicionais;

- Monitoramento dos parâmetros descritos no quadro

Quadro 56: Parâmetros sugeridos para diretriz de reúso potável

Parâmetro	Valor sugerido
Turbidez	< 0,2 UNT
Carbono Orgânico Total	< 20 mg/l
Coliformes Totais	Ausência em 100 ml
<i>Clostridium Perfringens</i>	Ausência em 100 ml
Colifagos	Ausência em 100 ml

7.5 Avaliação das alternativas propostas do estudo de caso

7.6 Transposição do rio Benevente

Esta proposta apresenta as seguintes características que conferem caráter proibitivo à alternativa:

- Disponibilidade hídrica insuficiente para atender demandas futuras;
- Geração de conflitos em virtude do crescimento da região;
- Custos proibitivos de implantação e operação;
- Nenhum impacto ambiental positivo colateral.

7.7 Transposição do Rio Doce

Esta alternativa tem potencial para suprir o eventual déficit hídrico da RMV, contudo apresenta as seguintes características que não tornam essa alternativa atrativa:

- Altos custos de implantação, operação e manutenção em virtude da qualidade das águas com altos teores de sólidos sedimentáveis que assoreiam o canal;
- Baixa qualidade das águas do Rio Doce em virtude de poluições difusas;

7.8 Dessalinização

Apesar de não ter sido realizado estudo aprofundado desta alternativa, pode-se considerar a alternativa inviável em virtude de:

- Baixa qualidade das águas marinhas costeiras da região;
- Uso obrigatório de membranas de osmose inversa de alta pressão, que são muito mais caras que as de baixa pressão, e necessitam de altas pressões para seu funcionamento;
- Alto custo de implantação, operação e manutenção;
- Baixa aceitação da população observada em outros países como Austrália e Estados Unidos;
- Geração de efluente com alto teor de sais com difícil destinação;
- Ausência de impacto ambiental positivo colateral.

7.9 Águas subterrâneas

No momento ainda não se pode contar com esse recurso tendo em vista a ausência de estudos que comprovem a quantidade e qualidade da água subterrânea para abastecimento público na região estudada.

7.10 Proposta de sistema de reúso potável indireto para RMV

De acordo com a estimativa dos usos consultivos, a RMV enfrentará um cenário de escassez hídrica. De acordo com Escalera (1995), toda região escassa em recursos hídricos, deveria elaborar um balanço dos mesmos, não deixando de considerar as águas residuárias de origem municipal ou doméstica.

O objeto de estudo desse trabalho apresenta as seguintes características que tornam a alternativa atrativa além de impactos ambientais positivos:

- Grande possibilidade de controle da qualidade do tratamento em virtude da robustez do sistema e da adoção de sistemas redundantes;
- Possibilidade de produção de água com qualidade superior à encontrada na maioria dos rios da região;
- Incentivo ao tratamento de esgotos e despoluição dos recursos hídricos;
- Diminuição da água natural captada em virtude da recirculação;

As principais desvantagens desse sistema são:

- Apesar do custo do metro cúbico tratado não ser objeto de estudo desse trabalho, tendo em vista a complexidade do sistema pode se esperar um alto custo para esse tratamento.
- Necessidade de campanhas educativas para uma melhor aceitação da população.

7.11 Avaliação da aceitação

Foi observado que a aceitação do público ligado ao Saneamento foi muito alta para os usos de menor risco. Isto indica que o reúso não potável é uma alternativa promissora do ponto de vista de aceitação da população.

Nos casos dos usos de maior risco (beber e dar banho em bebês), a aceitação ainda foi menor que 50%, porém a maior razão para rejeição foram fatores psicológicos, e desconfiança na manutenção em controle.

Outros dados interessantes são o baixo consumo direto de água da torneira e o alto consumo de água mineral, que podem refletir uma possível desconfiança do público no tratamento ou na distribuição da águas de abastecimento.

Uma proposta que poderia resolver em partes o problema de falta d'água e com melhor aceitação seria a implantação de um sistema dual de distribuição de água (potável e não potável). Com base no resultado das análises dos questionários pode ser uma alternativa com maior aceitação, tendo em vista que os usos com menor exigência de qualidade apresentaram altíssima aceitação, no entanto os transtornos gerados na instalação, a necessidade de adaptação dos usuários e o risco de contaminação cruzada podem ser entraves para essa proposta,

necessitando mais estudos. Um sistema composto das unidades propostas para o sistema de reúso potável indireto sem as unidades de ultrafiltração e osmose inversa pode atender às exigências dos usos não potáveis.

8 Conclusões e Recomendações

8.1 Introdução

No decorrer do trabalho foi mostrado que o reúso de água é uma importante prática, pois é um eficiente instrumento de conservação de água e uma estratégia

Durante a revisão bibliográfica foram observados alguns exemplos de sistemas de reúso potável funcionais no, indicando que é uma prática que pode ser trabalhada com segurança.

8.2 Conclusões sobre reúso potável

Acerca do tema reúso potável de água podem ser feitas as seguintes conclusões:

- Com o aumento da demanda de água e poluição dos recursos hídricos, muitas regiões do mundo passarão a enfrentar quadros de escassez hídrica;
- A tecnologia disponível hoje é suficiente para o tratamento de efluentes sanitários a níveis considerados potáveis;
- Microcontaminantes podem ser removidos com eficiência necessária para atingir níveis potáveis pelas técnicas disponíveis;
- Microrganismos podem ser removidos com eficiência necessária para atingir níveis potáveis pelas técnicas disponíveis;

- A participação da população deve ser incentivada e trabalhada de forma educativa na implantação de qualquer sistema de reúso;
- A educação tende a aumentar a aceitação da população a sistemas de reúso;
- O emprego de barreiras múltiplas e a redundância são fundamentais para se garantir o bom funcionamento do sistema;
- Sistemas de tratamento de efluentes podem produzir água com qualidade superior às encontradas em muitos corpos de água superficiais utilizadas para abastecimento público;
- Não são encontradas comprovações epidemiológicas que associam reúso potável a doenças.
- Deve ser estudada a elaboração de normas ou regulamentações para todos os tipos de reúso.

8.3 Conclusões sobre o sistema de reúso potável indireto para RMV

As principais conclusões para o estudo de caso são:

- Um cenário de escassez hídrica para RMV é plausível e iminente;
- Falta d'água pode causar um efeito desastroso ao crescimento econômico da região;
- As alternativas de transposição do Rio Doce ou do Rio Benevente aparentemente não são as melhores;
- O sistema proposto precisa ser testado em escala piloto para comprovar sua eficiência

- O custo da produção de água pelo sistema precisa ser avaliado para verificar sua viabilidade econômica

8.4 Conclusões sobre a avaliação da aceitação da população

As conclusões realizadas após análise dos questionários são:

- A população estudada, que representa o público formador de opinião acerca do tema, aprova o reúso não potável;
- A opinião da população estudada diverge quanto à aceitação do reúso potável;
- A população estudada não confia totalmente no sistema de abastecimento e distribuição de água potável para consumo;

8.5 Sugestões para trabalhos futuros

- Estudo da alternativa proposta de tratamento de esgotos para fins potáveis em escala piloto;
- Realizar pesquisa mais aprofundada sobre a aceitação da população ao reúso;
- Desenvolvimento de arcabouço legal para elaboração de leis regulamentando atividades de reúso;

- Realizar estudo hidrogeológico para as regiões próximas à RMV;
- Quantificar o incremento na disponibilidade hídrica por ações conservacionistas, como preservação de nascentes e recuperação de áreas degradadas;

9 Referência Bibliográficas

AZEVEDO NETTO, J. M. de, e BOTELHO, Manuel Henrique Campos, **Manual de Saneamento de Cidades e Edificações**. Ed. Pini. São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969 - Tanques Sépticos - Unidades de Tratamento Complementar E Disposição Final dos Efluentes Líquidos** - Projeto Construção E Operação, Rio de Janeiro, 1997

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**, 6ª edição, UFV, imprensa Universitária, 1995

BRASIL, Resolução CONAMA 357, 2005

BRITO, Ludmila Ladeira Alves de; CARDOSO, Allisson Badaró; SALVADOR, Daniella Pedrosa e HELLER, Léo. **Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto**. Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2005.

CAMPOS, J. R. (Coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Projeto Prosab. Rio de Janeiro, 1999

CASTRO, L.L.F., SCÁRDUA, J.A., **Estimativa da necessidade potencial de irrigação para o Estado do Espírito Santo**. Vitória, EMCAPA, 1985

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, DESA/UFMG, 1997

CROOK, James. **Water reclamation and reuse criteria**. In: ASANO, Takashi. Water quality management library – Volume 10 / Wastewater reclamation and reuse. Pennsylvania, USA: Technomic Publication, 1998.

DANIEL, L. A. (Coordenador). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Projeto Prosab. Rio de Janeiro, RiMa, ABES, 2001

DI BERNARDO, L., BRANDÃO, C.C.S., HELLER, L. **Tratamento de águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. ABES/ PROSAB. Rio de Janeiro. 114p., 1999.

DOLNICAR, S., HURLIMANN, A., NGHIEM, L. D., **The effect of information on public acceptance - The case of water from alternative sources**, Journal of Environmental Management 91, 2010.

ESCALERA, O.A.N, **Reúso Direto das águas residuárias municipais tratadas: uma forma de conservação de água e disposição final**, Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2005

ELIMELECH, M., **The global challenge for adequate and safe water.** Journal of Water Supply Research and Technology - Aqua 55, 2006

ESPLUGAS, S. BILA D. M. KRAUSE. L. G. T. DEZOTTI, M. **Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents,** Journal of Hazardous Materials 149, 2007

FERNANDES, Roberto. **Estudos de Remoção de 17 α -Ethinilestradiol de Águas para Abastecimento, utilizando Dióxido de Cloro, Hipoclorito de Sódio, Carvão Ativado em Pó (CAP) e Tratamento Físico-químico.** Dissertação. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2007.

FLYBORG L., BJÖRLENIUS B., PERSSON K. M. **Can Advanced Treated Municipal Wastewater be Reused after Ozonation and Nanofiltration? Results from a pilot study of pharmaceutical removal in Henriksdal WWTP, Sweden.** IWA LET 2009, Singapore - 2009a

_____. **The Possibilities of Water Reuse as a Potable Water Resource - A study of Nanofiltration in Combination with Ozonation,** Polish-Swedish-Ukrainian seminar, Stockholm, Sweden - 2009b.

GONÇALVES, R.F. **Aspectos teóricos e práticos do tratamento de esgoto sanitário em biofiltros aerados com leito granular submerso**. Departamento de Hidráulica e Saneamento – Universidade Federal do Espírito Santo, 1996.

HELLER, L. **Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento**. *Ciência & Saúde Coletiva*, 3(2):73-84, 1998

HESPANHOL, I. **Potencial de Reúso de água no Brasil – Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de aquíferos**, III Encontro de Águas, Chile, 2001

HURLIMANN, A., DOLNICAR, S., **When public opposition defeats alternative water projects – The case of Toowoomba Australia**, *Water Research* 44, 2010.

JAVAREZ JÚNIOR, A., de Paula Júnior D., Gazzola J., **Avaliação do desempenho de dois sistemas modulares no tratamento anaeróbio de esgotos em comunidades rurais**, *Engenharia Agrícola* vol.27 no.3 Jaboticabal, 2007

JIMÉNEZ, B. E ASANO, T., **Water Reuse An International Survey of current practice, issues and needs**, IWA publishing, 2008

JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A., **Tratamento de esgotos sanitários**. 4ª edição. Rio de Janeiro, 2005

KASPRZYK-HORDERN, B., DINSDALE, R.M., GUWY, A. J., **THE REMOVAL OF PHARMACEUTICALS, PERSONAL CARE PRODUCTS, ENDOCRINE**

DISRUPTORS AND ILLICIT DRUGS DURING WASTEWATER TREATMENT AND ITS IMPACT ON THE QUALITY OF RECEIVING WATERS, WATER RESEARCH, 43, 2009

LEYTÓN CERNA, C. E., **Degradação da amônia em efluentes com Ácido de Caro**. Dissertação de Mestrado – PUC Rio, Rio de Janeiro, 2008.

MANCUSO, P. C. S. SANTOS, H. F. **Reúso de Água**, Manole – Barueri, SP, 2003

MARKS, J.S., **Taking the public seriously: the case of potable and non potable reuse**, Desalination 187, 2006

METCALF & EDDY, **Wastewater engineering: treatment and reuse**, McGraw-Hill – Boston, 2003. 1819p.

MIERZWA, J.C., **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – Estudo de caso Kodak Brasileira**, Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. 399p.

MORELLI, E.B., **Reúso de água em lavagem de veículos**, Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. 107p.

PISANI, P. L. **Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab reclamation plant**, DESSALINISATION 188, 2006

TAKADA, H., NAKADA, N., SHINOHARA, H., MURATA, A., KIRI, K., MANAGAKI, S., SATO, N., **Removal of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine-disrupting chemicals (EDCs) during sand filtration and ozonation at a municipal sewage treatment plant**. WATER RESEARCH, 41, 2007

NEVES, M.A., **Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiá (SP)**, Tese de Doutorado apresentada à UNESP, Rio Claro, 2005

OBID – Observatório Brasileiro de Informações sobre Drogas. **II Levantamento Domiciliar sobre o uso de Drogas Psicotrópicas no Brasil**, Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas, Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.obid.senad.gov.br>

OKUN, D. A., **Water reclamation and nonpotable reuse: an option for meeting urban water supply needs**, Desalination 106, 1996, p 205-2 12

OMS - **Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level**, Genebra, 2004

OMS - **Who Guidelines For The Safe Use Of Wastewater, Excreta And Greywater**, Genebra, 2006

PADUA, V. L (Coordenador), **Desenvolvimento e otimização de tecnologias de tratamento de águas para abastecimento público, que estejam poluídas com microrganismos, toxinas e microcontaminantes.** Projeto Prosab. Rio de Janeiro, ABES, 2009

PATERNIANI, J.E.S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração em areia de águas de abastecimento.** Tese de doutorado - EESC. USP, São Carlos, 1991.

PORTARIA 518 – **Controle e Vigilância da Qualidade de Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade,** Ministério da Saúde, 25/03/2004.

RAIMUNDO, C. C. M. **Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos nas águas superficiais da bacia do rio Atibaia.-** Dissertação de Mestrado, Campinas, UNICAMP, 2007.

REÚSO DA ÁGUA - **Projeto reúso da água,** disponível em: <<http://www.reusodaagua.com.br>>. Acesso em: 11 Nov. 2008.

RODRIGUEZ C, Van Buynder P, Lugg R, Blair P, Devine B, Cook A, Weinstein P. **Indirect potable reuse: A sustainable water supply alternative,** Int J Environ Res Public Health, 2009.

SABESP – **Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**, disponível em <<http://www.sabesp.com.br> >, acesso em: 10 agosto 2008.

SETTI, A.A. LIMA, J.E.F.W., et al., **Recursos Hídricos, Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**, ANEEL, ANA ,2001.

SILVA, Marcelo Jacomini Moreira da, **Uso da filtração lenta e técnicas de desinfecção para adequação de esgotos sanitários aos padrões de lançamento e reuso** - Campinas, SP, 2006.

USEPA. **List of Contaminants & their Maximum Contaminant Level (MCLs)**, Washington. EUA. 2002. Disponível em: <http://www.epa.gov/safewater/consumer/pdf/mcl.pdf> - acesso 14/07/2010.

USEPA. **Guidelines for Water Reuse**, Washington. EUA. 2004

USEPA. **National Primary Drinking Water. Regulations: long term 2 enhanced surface water treatment rule**; final rule. Federal Register – Part II – 40CFR, Parts 9, 141 and 142. 05 jan. 2006.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. DESA – UFMG, Belo Horizonte (MG), 1995.

VIVARO, Vivien Luciane. **Cr terios para reuso de  gua em ind strias: aproveitamento do efluente da esta o de tratamento de esgoto do Pi arr o**, Campinas - SP, Universidade Estadual de Campinas. 2007.

WILSON, Zo  e PFAFF, Bill. **Religious, philosophical and environmentalist perspectives on potable wastewater reuse in Durban, South Africa**. Desalination 228, 2008.

WQRA – Water Quality Research Australia. **Organic Micropollutants in Water**. WQRA Fact Sheet, 2008 dispon vel em <http://www.wqra.com.au> - acesso 10/01/2009

ANEXO A

DIRETRIZES PARA REÚSO DE ÁGUA

Quadro A.1: Diretrizes microbiológicas recomendadas para o reúso agrícola – OMS, 1989 ⁽¹⁾

Condições de reúso	Nematóides Intestinais ⁽²⁾ (média de ovos por litro) ⁽³⁾	Coliformes fecais Media geométrica/100 mL ⁽³⁾	Tratamento de esgotos sugerido para se atingir tal padrão microbiológico
Irrigação de culturas que são ingeridas cruas, campos esportivos e parques públicos ⁽⁴⁾	<=1	<=1000	Uma série de lagoas de estabilização projetada para atingir o padrão desejado ou tratamento equivalente
Irrigação de culturas cerealíferas, a serem industrializadas, forrageiras, pastoris e arbóreas ⁽⁵⁾	<=1	-	Uma série de lagoas de estabilização com tempo total de 8 – 10 dias ou tratamento equivalente
Irrigação localizada de culturas da categoria anterior quando não ocorre exposição humana	-	-	Não menos que sedimentação primária

(1) Em casos específicos, fatores epidemiológicos, socioculturais ou ambientais devem ser levados em consideração e essas diretrizes modificadas de acordo.

(2) *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americans* e *ancilostomus duodenalis*.

(3) Durante o período de irrigação.

(4) Um valor diretriz mais restritivo (200 coliformes fecais por 100mL), é apropriado para gramados públicos, tais como de hotéis, com os quais o público tenha contato direto

(5) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e os frutos não devem ser colhidos no chão. Irrigação por sistemas de aspersores não deve ser utilizada.

Quadro A.2 Diretrizes sugeridas pela USEPA para o reúso de efluentes municipais. (USEPA, 2004)

Tipos de reúso	Tratamento	Parâmetro	Padrões	Monitoramento	Distâncias de segurança
Urbano	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Filtração • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • DBO • Turbidez • Coliformes fecais • CLR 	<p>6 a 9</p> <p>≤ 10 mg/L</p> <p>≤ 2 UNT</p> <p>ausentes</p> <p>≥ 1mg/L</p>	<p>Semanal</p> <p>Semanal</p> <p>Contínuo</p> <p>Diário</p> <p>Contínuo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 15 m de poços de abastecimento potável
Irrigação de áreas de acesso restrito ao público	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • DBO • Sólidos Suspensos • Coliformes fecais • CLR 	<p>6 a 9</p> <p>≤ 30 mg/L</p> <p>≤ 30 mg/L</p> <p>≤ 200 / 100 mL</p> <p>≥ 1mg/L</p>	<p>Semanal</p> <p>Semanal</p> <p>Diário</p> <p>Diário</p> <p>Contínuo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de poços de abastecimento potável • 30 m de áreas com acesso de público
Agrícola para irrigação de culturas consumidas cruas	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Filtração • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • DBO • Turbidez • Coliformes fecais • CLR 	<p>6 a 9</p> <p>≤ 10 mg/L</p> <p>≤ 2 UNT</p> <p>ausentes</p> <p>≥ 1mg/L</p>	<p>Semanal</p> <p>Semanal</p> <p>Contínuo</p> <p>Diário</p> <p>Contínuo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 15 m de poços de abastecimento potável
Agrícola para irrigação de culturas consumidas cozidas	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • DBO • Sólidos Suspensos • Coliformes fecais • CLR 	<p>6 a 9</p> <p>≤ 30 mg/L</p> <p>≤ 30 mg/L</p> <p>≤ 200 / 100 mL</p> <p>≥ 1mg/L</p>	<p>Semanal</p> <p>Semanal</p> <p>Diário</p> <p>Diário</p> <p>Contínuo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de poços de abastecimento potável • 30 m de áreas com acesso de público
Agrícola para irrigação de culturas não comestíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • DBO • Sólidos Suspensos • Coliformes fecais • CLR 	<p>6 a 9</p> <p>≤ 30 mg/L</p> <p>≤ 30 mg/L</p> <p>≤ 200 / 100 mL</p> <p>≥ 1mg/L</p>	<p>Semanal</p> <p>Semanal</p> <p>Diário</p> <p>Diário</p> <p>Contínuo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de poços de abastecimento potável • 30 m de áreas com acesso de público

Quadro A.2 Diretrizes sugeridas pela USEPA para o reúso de efluentes municipais (USEPA, 2004). (Continuação)

Tipos de reúso	Tratamento	Parâmetro	Padrões	Monitoramento	Distâncias de segurança
Recreacional (contato direto)	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Filtração • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • DBO • Turbidez • Coliformes fecais • CLR 	6 a 9 ≤ 10 mg/L ≤ 2 UNT ausentes ≥ 1 mg/L	Semanal Semanal Contínuo Diário Contínuo	<ul style="list-style-type: none"> • 150 m de poços de abastecimento potável, se o fundo do lago não for selado
Paisagístico (sem contato do público)	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • DBO • Sólidos Suspensos • Coliformes fecais • CLR 	≤ 30 mg/L ≤ 30 mg/L $\leq 200 / 100$ mL ≥ 1 mg/L	Semanal Diário Diário Contínuo	
Industrial, resfriamento recirculação para sem	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • DBO • Sólidos Suspensos • Coliformes fecais • CLR 	6 a 9 ≤ 30 mg/L ≤ 30 mg/L $\leq 200 / 100$ mL ≥ 1 mg/L	Semanal Semanal Diário Diário Contínuo	<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de áreas com acesso de público
Industrial, resfriamento recirculação para com	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção (coagulação química e filtração podem ser necessárias) 	Variáveis, dependendo da taxa de recirculação			<ul style="list-style-type: none"> • 90 m de áreas com acesso de público, que pode ser reduzido em função do nível de desinfecção
Industrial para outros usos	Depende do tipo de uso				

Quadro A.2 Diretrizes sugeridas pela USEPA para o reúso de efluentes municipais (USEPA, 2004). (Continuação)

Tipos de reúso	Tratamento	Parâmetro	Padrões	Monitoramento	Distâncias de segurança
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção 	DBO • Sólidos Suspensos • Coliformes fecais	Variável, mas não excedendo: ≤ 30 mg/L ≤ 30 mg/L ≤ 200 / 100 mL	Semanal Diário Diário	
Recarga de aquíferos (não potável)	<ul style="list-style-type: none"> • Depende das características locais e do uso • Mínimo: primário para infiltração/ percolação e secundário para injeção 	Depende das características locais e do uso			• Especificado pelas características locais

CLR – Cloro Residual Livre

Quadro A.3 Diretrizes para o reúso de efluentes municipais para irrigação no estado da Califórnia (USEPA, 2004)

Tipo de Irrigação e Cultura	Nível de Tratamento	Coliformes totais
Irrigação de forragens, fibras e culturas de sementes; pomares e vinhas (1); culturas alimentícias processadas, descarga em toaletes.	secundário	Ausente
Irrigação de pastos para animais produtores de leite, áreas verdes (2); viveiro de plantas ornamentais e fazendas de grama; lagos paisagísticos; sistemas de combate a incêndio; água de refrigeração industrial ou comercial, sem formação de aerossóis; alimentação de caldeiras; compactação de solos; lavagem de ruas, calçadas e áreas externas.	secundário + desinfecção	<23 coliformes totais/100ml
Irrigação superficial de culturas alimentícias; acesso restrito a lagoa paisagísticos.	secundário + desinfecção	< 2,2 coliformes totais/100 ml
Irrigação de culturas alimentícias (3) e áreas paisagísticas (4); lagos recreacionais irrestritos; descarga em toaletes e mictórios; água de processo industrial; fontes decorativas; lavanderias comerciais; produtores de neve; sistema de combate a incêndio estrutural; sistemas de refrigeração industriais ou comerciais com formação de aerossóis.	Secundário + coagulação + clarificação (5) + filtração + desinfecção	< 2,2 coliformes totais/100 ml

QUADRO A.4 Diretrizes para o reúso de efluentes municipais para irrigação no estado da Flórida (USEPA, 2004)

Aplicação	Critérios de qualidade	Nível de Tratamento	Observação
Áreas (b) de acesso restrito e usos industriais	200 CF/100mL ml SST - 20 mg/L DBO - 20 mg/L	Secundário + desinfecção	b Fazendas de grama, florestas, pastos, bosques, culturas forrageiras, fibras e grãos, e áreas similares.
Áreas com acesso ao público (c); culturas alimentícias; descarga em toaletes (e); represamentos recreacionais(f); sistema de combate a incêndio; propósitos estéticos; controle de lixo.	CF ND SST - 5 mg/L DBO - 20 mg/L	Secundário + filtração + desinfecção	c Áreas verdes residenciais, campos de golfe, cemitérios, parques, áreas paisagísticas, passeios, e áreas similares. d Permitido para culturas a serem cozidas, descascadas, ou processadas termicamente antes do consumo. e Permitido em áreas residenciais sem acesso a sistema de abastecimento por poço, proibido em residências familiares. f Para contato primário com mais de 50% de imersão, em represas, por exemplo, o critério de qualidade da água deve atender ao padrão microbiológico de potabilidade.

QUADRO A.5 Diretrizes para o reúso de efluentes municipais para usos urbanos no estado do Texas (USEPA, 2004)

Uso	Padrão de qualidade
Compactação de Solos, controle de pó em estradas, lavagem de ruas	DBO < 20mg/l < 800 CF/100 ml
Playground e gramados de hotéis e áreas de acesso amplo	DBO < 5mg/l < 75 CF/100 ml 3 uT Cloro residual ≥ 1mg/l
Irrigação de parques públicos, campos de golfe, futebol, cemitérios	DBO < 20 mg/l <75 CF/100 ml
Irrigação de florestas e áreas de acesso restritivo	DBO < 20 mg/l < 800 CF/100 ml Cloro residual ≥ 1mg/l nitrato < 10mg/l

QUADRO A.6: Padrões microbiológicos de água de reúso municipal para irrigação na Itália

	Coliformes Totais (NMP/100 ml) ⁽¹⁾	Coliformes (NMP/100 ml)	Fecais	Streptococcus (NMP/100 ml)	Fecais	Ovos de Nematodos
Itália	2 ⁽²⁾ , 20 ⁽³⁾	NE		NE		1
Sicília	3000 ⁽²⁾	1000		NE		NE
Emilia Romana	2 ⁽²⁾ , 20 ⁽³⁾	NE		NE		NE
Puglia	2 ⁽²⁾ , 10 ⁽³⁾	NE		NE		NE

NE – Não estabelecida; (1) Refere-se ao menos valor de sete dias de amostra consecutivos; (2) – irrigação irrestrita; (3) irrigação restrita.

QUADRO A.7: Padrões de reúso para irrigação na África do Sul

Uso	Nível de tratamento	CF/100 mL
Forragens, sementes, árvores, parques não recreacionais, viveiros (de acesso restrito)	Primário e secundário	1000
Culturas não ingeridas cruas, flores, pomares e vinhas, parques, campos esportivos, e gramados escolares (de acesso restrito)	Primário, secundário e terciário, sistema de lagoas de estabilização.	1000
Pasto para animais de leite, campos esportivos, gramados escolares (de acesso irrestrito)	Primário, secundário e terciário	ND
Culturas ingeridas cruas, gramados, viveiros, gramados escolares, parques recreacionais (de acesso irrestrito)	Avançado (padrão de qualidade de água potável)	

QUADRO A.8: Padrões de reúso para irrigação irrestrita na Arábia Saudita

Parâmetro (1)	VMP	Parâmetro	VMP
DBO	10,0	Flúor	2,0
SST	10,0	Ferro	5,0
Coliformes/100ml	2,2	Chumbo	0,1
Turbidez (UT)	1,0	Lítio	0,07
Alumínio	5,0	Manganês	0,2
Arsênio	0,1	Mercúrio	0,001
Berílio	0,1	Molibdênio	0,01
Boro	0,5	Níquel	0,02
Cádmio	0,01	Nitrato	10,0
Cloreto	280	Selênio	0,02
Cromo	0,1	Zinco	4,0
Cobalto	0,05	Óleos e Graxas	Ausentes
Cobre	0,4	Fenol	0,002
Cianeto	0,05	pH	6,0 – 8,4

(1) – mg/l exceto quando especificado ao contrário

QUADRO A.9: Diretrizes para o reúso de efluentes municipais para usos urbanos no Japão

Parâmetro	Descarga de toaletes	Irrigação áreas verdes	Lagos e Fontes Ornamentais	Meio Ambiente (características estéticas)	Meio Ambiente (contato público limitado)
E.coli/100mL	≤ 10	ND	ND	-	-
Cloro residual combinado (mg/L)	Mantido	>0,4	-	-	-
Aparência	NO	NO	NO	-	-
Coliformes totais/100mL	-	-	-	<1000	<50
Turbidez (uT)	-	-	<10	<10	<5
DBO (mg/L)	-	-	<10	<10	<3
Odor	NO	NO	NO	NO	NO
pH	5,8 – 8,6	5,8 – 8,6	5,8 – 8,6	5,8 – 8,6	5,8 – 8,6
Cor (mgPt/L)	-	-	-	<40	<10

QUADRO A.10: Padrões microbiológicos para o reúso de efluentes municipais para usos urbanos no México

Tipo de Reúso	Coliformes Fecais NMP/100ml	Ovos de Helmintos (ovos/l)	Óleos e Graxas mg/l	DBO mg/l	SST mg/l
Serviços ao público com contato direto	240	≤1	15	20	20
Serviços ao público com contato indireto ou ocasional	1000	≤5	15	30	30

QUADRO A.10: Padrões para o reúso na Costa Rica (Decreto N° 26042-S-MINAE)

Tipo de Uso	DBO	Coliformes Termotolerantes
Tipo 1	40	<100
Tipo 2	-	<1000
Tipo 3	-	<100
Tipo 4	-	<1000 (2)
Tipo 5	-	(3)
Tipo 6	40	1000
Tipo 7	40	-
Tipo 8		100

Tipo 1: Reúso Urbano -Irrigação de todo tipo de zonas verdes (campos de golfe, parques, cemitérios, etc.), lavar carros, descarga de toilets, combate a incêndios e outros usos com similar exposição

Tipo 2: Irrigação restrita- Irrigação de gramados, silvicultura, e outras áreas onde o acesso do público é proibido, restrito ou pouco freqüente

Tipo 3: Reúso agrícola de cultivo de alimentos que não são processados comercialmente. Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultivo comestível, incluindo aqueles que são consumidos crus.

Tipo 4: Reúso Agrícola em cultivos de alimentos que são processados. Estes cultivos são aqueles previstos sua venda ao público, com o devido processamento para destruição dos organismos patogênicos.

Tipo 5: Reúso Agrícola de culturas não alimentícias. Irrigação de pastos para gado leiteiro, forrageiras, cultivo de fibras e sementes e outros cultivos não alimentícios

Tipo 6: Reúso para Recreação – Contato indireto (pesca, canoagem, etc.) e contato direto com águas tratadas

Tipo 7: Reúso Paisagístico

Aproveitamentos estéticos onde o contato com o público não é permitido e a proibição é sinalizada.

Tipo 8: Reúso na Construção – Compactação de solos, controle de poeiras, lavagem de materiais e produção de concreto.

ANEXO B

MODELO DE QUESTIONÁRIO APLICADO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Projeto: Avaliação da aceitação de água de reúso.

Eu, Carlos Custódio Santos de Rezende, Engenheiro Ambiental, estudante de pós-graduação da Universidade de São Paulo, solicito sua colaboração em responder um questionário contendo questões a respeito de reúso de água: do nível de conhecimento acerca do assunto; das principais práticas; da necessidade da prática; e o grau de aceitação.

A participação é voluntária e as informações serão analisadas e os resultados serão divulgados, porém sua identidade será mantida em sigilo para sempre.

Consentimento Pós-Informação

Concorda em participar da pesquisa?

SIM

NÃO

QUESTIONÁRIO SÓCIO ECONÔMICO

Nome:

Sexo:

__M/ __F

Tipo de residência:

__Casa; __Apartamento

Idade:

__ <16; __ 17 a 24; __ 25 a 35; __ 36 a 65; __ >66

Grau de Escolaridade:

__ Sem escolaridade; __ fundamental; __ médio; __ superior; __ pós- graduação

1 - Como você se enquadra acerca do tema tratamento de águas e esgotos?
(Marcar X na resposta)

___ Sou Conhecedor do tema (profissional da área, pesquisador, estudante)

___ Tenho conhecimento médio do tema

___ Desconheço

2 - Qual fonte de água potável você utiliza para beber? (Marcar x na resposta)

___ Direto da Torneira

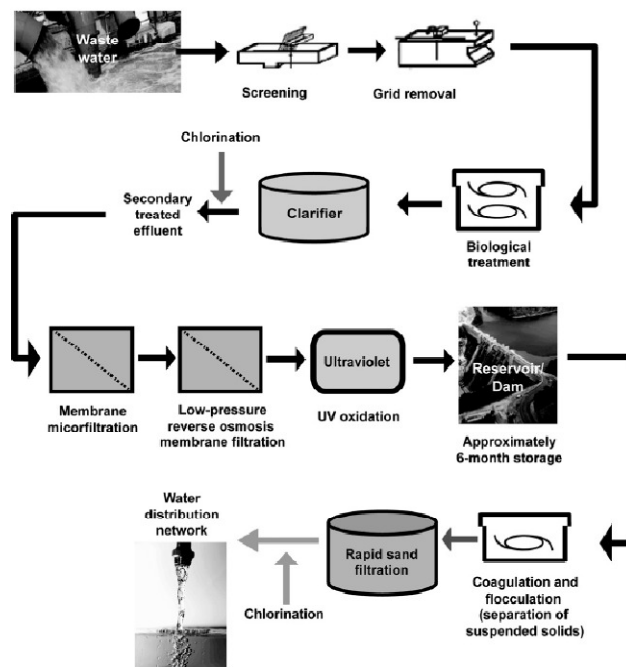
___ Água da torneira filtrada em talha de barro (filtro)

___ Água da torneira filtrada em carvão ativado

___ Água da torneira tratada por purificador de água

___ Água mineral

Para preenchimento do quadro abaixo, considere um sistema de tratamento de esgoto sanitário composto de tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário/avançado e desinfecção como esquema abaixo:



Fonte: DOLNICAR et al. (2010)

3 - Como você classificaria os seguintes usos utilizando água de reúso tratada pelo sistema ilustrado na figura anterior (Classificar de 0 a 5 onde 0 é não usaria e 5 é definitivamente usaria)

USO	AVALIAÇÃO
Alimentar animais de estimação	
Encher/Completar volume de Piscina	
Cozinhar	
Encher Aquário ou lago	
Escovar dentes	
Beber	
Dar banho em bebês	
Irigar Jardins (contato indireto)	
Tomar banho	
Lavar roupas	
Lavar carro	
Limpar a casa e janelas	
Descarga de Banheiro	
Irigar jardim (contato direto)	

ANEXO C

Tabulação dos dados e estatística descritiva

Tabela B1: Dados obtidos pelos questionários

Questionário	conhecimento do tema ^(A)	fonte de água potável ^(B)	animais de estimação	piscina	cozinhar	aquário	escovar dentes	beber	dar banho em bebes	irrigar jardins (contato indireto)	tomar banho	lavar roupas	lavar carro	limpar casa e janelas	descarga de banheiro	irrigar jardim (contato direto)
1	1	3	4	4	3	5	0	0	0	5	2	2	4	3	5	5
2	1	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5
3	1	4	5	3	5	2	5	5	5	1	5	5	2	2	1	1
4	1	5	5	0	0	5	0	0	0	5	0	0	5	5	5	5
5	1	5	2	0	0	3	0	0	0	5	3	4	5	5	5	5
6	1	3	5	0	0	5	0	0	0	5	0	5	5	5	5	5
7	1	3	1	1	0	1	0	0	0	2	0	1	3	2	4	2
8	1	5	5	5	3	5	3	1	1	5	5	5	5	5	5	5
9	1	4	4	2	0	4	0	0	0	5	3	5	5	5	5	5
10	1	5	3	3	0	5	0	0	0	5	0	4	5	4	5	5
11	1	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5
12	1	5	5	5	0	5	0	0	0	5	0	3	5	5	5	5
13	1	5	4	4	0	5	0	0	0	5	3	4	5	5	5	5
14	1	3	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	5	0	5	5
15	1	4	3	1	1	5	1	1	1	5	1	3	4	4	5	5
16	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
17	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
18	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
19	1	3	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	5	3	5	3
20	1	4	3	3	3	5	3	0	0	5	3	4	5	5	5	5

,(A) "1" Conhecedor do tema; "2" Conhecimento médio; "3" Desconhece o tema. (B) "1" Direto da torneira, "2" Talha de Barro, "3" Filtro de carvão ativado, "4" Purificador, "5" Água mineral.

Tabela B1: Dados obtidos pelos questionários (continuação)

Questionário	conhecimento do tema	fonte de água potável	animais de estimação	piscina	cozinhar	aquário	escovar dentes	beber	dar banho em bebes	irrigar jardins (contato indireto)	tomar banho	lavar roupas	lavar carro	limpar casa e janelas	descarga de banheiro	irrigar jardim (contato direto)
21	1	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	5	5	5
22	1	5	5	4	3	5	3	2	2	5	3	4	5	5	5	5
23	1	4	5	5	3	4	4	2	0	5	3	3	4	3	5	5
24	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
25	1	1	0	4	5	3	5	5	5	0	3	3	2	3	0	0
26	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
27	1	2	4	2	1	4	0	0	0	5	0	3	5	5	5	5
28	1	3	5	4	2	5	2	2	2	5	4	3	5	4	5	3
29	1	5	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	5	5	5	5
30	1	4	4	5	4	5	3	2	3	5	5	5	5	5	5	5
31	1	2	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	0	3
32	1	2	5	5	4	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
33	1	3	4	2	0	5	0	0	0	5	1	2	5	4	5	5
34	1	3	0	4	0	4	0	0	0	5	0	0	5	5	5	4
35	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
36	1	2	4	5	1	5	0	0	0	5	0	4	5	5	5	5
37	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
38	1	3	4	3	2	5	2	2	1	5	3	4	5	5	5	5
39	1	5	5	0	0	5	0	0	0	5	0	3	3	3	5	3
40	1	3	5	4	5	5	4	3	4	5	4	5	5	5	5	5
41	1	2	4	2	2	5	2	2	1	5	3	3	5	5	5	3

Tabela B2: Estatística descritiva dos dados coletados

	animais de estimação	piscina	cozinhar	aquário	escovar dentes	Beber	dar banho em bebes	irrigar jardins (contato indireto)	tomar banho	lavar roupas	lavar carro	limpar casa e janelas	descarga de banheiro	irrigar jardim (contato direto)
Média	76,6	65,4	49,3	90,2	46,3	40,5	39,5	92,7	55,1	71,2	93,7	87,8	92,7	88,8
Erro padrão	5,3	5,9	6,7	3,6	6,9	6,6	6,8	3,6	6,5	5,3	2,5	3,6	3,9	3,8
Mediana	100	80	60	100	40	40	20	100	60	80	100	100	100	100
Moda	100	100	0	100	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
Desvio padrão	34,03	37,95	42,92	22,86	43,92	42,54	43,70	23,13	41,66	33,78	15,77	22,75	24,80	24,10
Variância da amostra	1158	1440	1841	522	1928	1809	1909	535	1735	1140	248	517	615	580
Curtose	0,89	-0,98	-1,75	7,30	-1,80	-1,61	-1,69	8,65	-1,58	0,09	5,82	4,73	10,24	4,86
Assimetria	-1,48	-0,73	0,01	-2,73	0,09	0,39	0,43	-3,10	-0,29	-1,09	-2,57	-2,13	-3,38	-2,28
Intervalo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	100	100	100
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0
Máximo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Soma	3140	2680	2020	3700	1900	1660	1620	3800	2260	2920	3840	3600	3800	3640
Coeficiente de Variação	0,44	0,58	0,87	0,25	0,95	1,05	1,11	0,25	0,76	0,47	0,17	0,26	0,27	0,27
Contagem	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41

Apêndice I

Memorial de Cálculo das alternativas propostas

Cálculo da Adutora para transposição do Rio Benevente

Cálculo do comprimento da Tubulação

O Comprimento da tubulação foi estimado utilizando o sistema aberto de informações geográficas Kosmo, obtendo um comprimento de 75.818 m.

Cálculo da Vazão de Projeto

A Vazão de projeto adotada foi equivalente à disponibilidade hídrica individual (25% Q_{90}) do Rio Benevente, seguindo os atuais critérios de outorga do Estado do Espírito Santo, estimado em 1891 l/s

Cálculo do Diâmetro da tubulação

O Diâmetro da tubulação foi estimado baseado na velocidade média adotada de 2,4 m/s.

Portanto:

$$Q = V \times A \quad \therefore A = \frac{Q}{V} = \frac{1,891}{2,4} = 0,787917 \text{ m}^2$$

Em que:

Q: vazão de projeto = 1891 l/s = 1,891 m³/s;

V: velocidade média adotada = 2,4 m/s;

A: Área da seção transversal da tubulação

Como se trata de uma seção transversal circular temos:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \therefore D \cong 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$$

Onde D é o diâmetro da Tubulação

Cálculo da Perda de Carga distribuída

Para o cálculo foi utilizada a equação universal de perda de carga

$$H_m = f \times \frac{L \times V^2}{D \times 2 \times g}$$

Em que:

H_m = perda de carga distribuída;

f = fator de atrito da equação universal (Darcy-Weissbach);

L = comprimento da tubulação = 75818 m;

V = velocidade média do escoamento = 2,4 m/s;

D = Diâmetro da Tubulação = 1 m

g = Aceleração da gravidade = 9,81 m/s²

Para estimar o fator de atrito de Darcy-Weissbach foi utilizada a equação de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Rey \times \sqrt{f}} \right)$$

$$Rey = \frac{V \times D}{\nu}$$

Onde:

f = fator de atrito

ε = rugosidade específica da tubulação, adotado 0,5 mm para ferro fundido

Rey = número de Reynolds

V = Velocidade média = 2,4 m/s

D = diâmetro da tubulação = 1 m

ν = viscosidade cinemática da água = 1×10^{-6} s/m²

O f calculado foi de 0,009

Portanto a perda de carga distribuída Hm será de 212,5 m

Cálculo das perdas de carga localizadas (Hml)

Devido à dificuldade de estimar cada uma das componentes da tubulação que inserem perda de carga no sistema, e que a relação L/D é muito grande, foi utilizada uma estimativa de 10 % em relação à perda de carga distribuída, ou seja,

$$Hml = 0,1 Hm = 21,25 \text{ m}$$

Cálculo da altura manométrica (Ha)

A Altura Manométrica é dada pela soma da diferença de cotas (sucção e recalque), das perdas de carga (Distribuídas e localizadas) da sucção e do recalque.

A Altura manométrica calculada foi de: 293,81 m

Cálculo da Potência necessária para recalque

$$Pot = \frac{Q \times Ha \times 3,6}{n \times 270} = 10583 \text{ CV}$$

Cálculo da adutora da transposição do Rio Doce

A Metodologia foi exatamente a mesma utilizada no cálculo da transposição do Rio Benevente.

Cálculo do Sistema de Reúso

Dimensionamento do Reator UASB

A Bibliografia utilizada para dimensionamento do UASB foi CAMPOS (1999)

Cálculo do Volume do Reator

O volume do reator é dado por:

$$V = Q \times \theta$$

Onde:

V é o volume do reator [m³]

Q é a Vazão média [m³.s⁻¹]

θ é o tempo de detenção hidráulica [s]

Para as condições do projeto foi adotado $\theta = 8$ horas = 28800 s; e como $Q = 1000$ l/s = 1 m³/s temos:

$$V = 28800 \times 1 = 28800 \text{ m}^3$$

Velocidade ascendente do fluxo

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q \times H}{V} = \frac{H}{\theta}$$

Em que:

v: Velocidade ascendente do fluxo, ou velocidade ascensional [m/h]

Q: vazão [m³/h]

A: área da seção transversal do reator [m²], que é para um reator de forma prismática é igual a V/H

V: Volume do reator [m³]

H: Altura do reator [m]

θ : Tempo de detenção hidráulica [h]

A Velocidade ascensional deve estar entre 0,5 e 0,7 m/h

Para $\theta = 8$ h; e $v = 0,6$ m/h temos $H = 4,8$ m e conseqüentemente $A = 6000$ m²

Adotados 8 Reatores UASB

$$A' = A/8 = 750 \text{ m}^2$$

Onde: A' é a área de cada reator UASB

Portanto cada UASB terá:

Comprimento: 34,8 m

Largura: 21,5 m

Altura: 4,8 m

Estimativa da eficiência de remoção de matéria orgânica

A estimativa da eficiência de remoção de DBO é dada por:

$$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0,70 \times \theta^{-0,50})$$

E_{DBO} : Eficiência de remoção de DBO [%]

θ : Tempo de residência hidráulica [h]

Para $\theta = 8$ horas temos:

$$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0,70 \times 8^{-0,50}) = 75\%$$

A estimativa da eficiência de remoção de DQO é dada por:

$$E_{DqO} = 100 X (1 - 0,68 X \theta^{-0,35})$$

E_{DQO} : Eficiência de remoção de DQO [%]

θ : Tempo de residência hidráulica [h]

Para $\theta = 8$ horas temos:

$$E_{DQO} = 100 X (1 - 0,68 X 8^{-0,35}) = 67\%$$

Estimativa da Concentração de DQO e de DBO no Efluente Final

A partir das eficiências de remoção de DQO e DBO pode-se estimar as suas concentrações no efluente final

$$S = S_0 - \frac{E \times S_0}{100}$$

Onde:

S: Concentração de DBO/DQO do efluente

S_0 : Concentração de DBO/DQO inicial

E: Eficiência de remoção de DBO/DQO

Para DBO temos:

$$S = 400 - \frac{75 \times 400}{100} = 99 \text{ mg/l}$$

Para DQO temos:

$$S = 800 - \frac{67 \times 800}{100} = 263 \text{ mg/l}$$

Estimativa da Concentração de Sólidos suspensos no Efluente Final

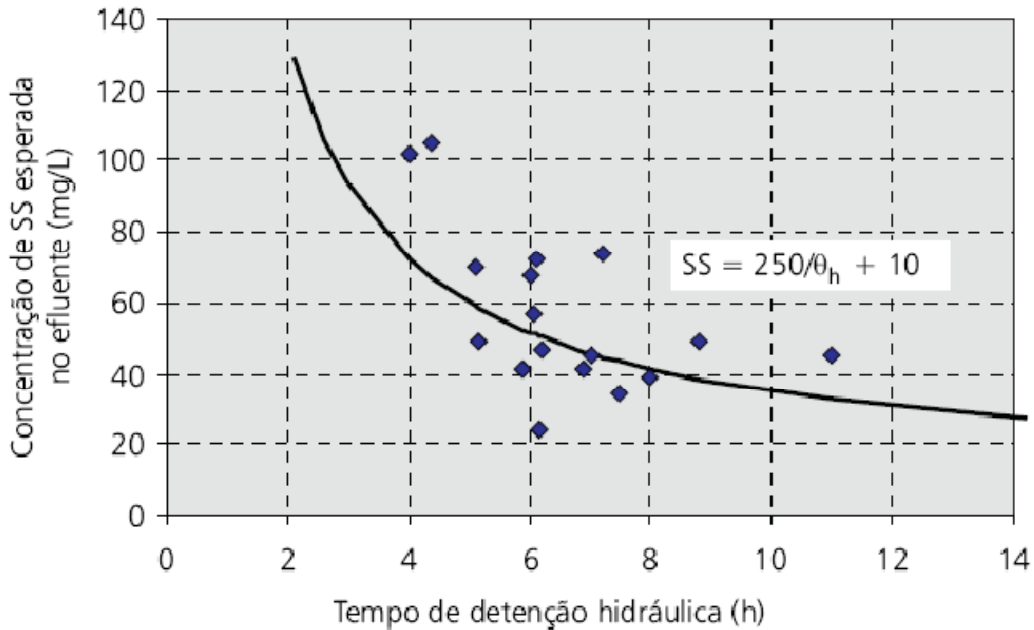


Figura: Concentração de Sólidos suspensos esperada no efluente de reator UASB tratando esgotos domésticos. (CAMPOS, 1999)

$$SS = \frac{250}{\theta} + 10$$

Onde:

SS: Concentração de sólidos suspensos no efluente [mg/l]

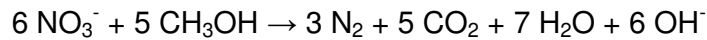
θ : Tempo de retenção hidráulica [h]

$$SS = \frac{250}{8} + 10 = 41,25 \text{ mg/l}$$

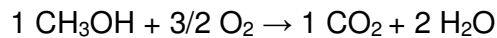
Cálculo do reator Anóxico

Estimativa do consumo de metanol para desnitrificação

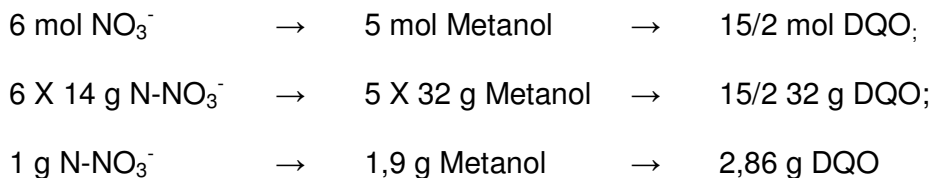
Na reação de desnitrificação ocorre o consumo de matéria orgânica carbonácea. Para quantificar esse consumo, foi considerado o consumo de metanol como fonte de carbono externo. A equação estequiométrica é descrita por:



Pela equação temos que cada 1 mol de metanol consome 3/2 mol de DQO, o que foi considerado removido do sistema.



Ou seja:



Portanto cada grama de nitrogênio (na forma de nitrato) desnitrificado ocorre consumo de 2,86 g de DQO

Considerando que 90% de NTK será nitrificado no BAS e desnitrificado no tanque Anóxico, temos que o valor de N-NO₃⁻ afluyente ao tanque anóxico é de 36 mg/l, portanto

$$\frac{DQO}{N - \text{NO}_3^-} = 2,86 \therefore DQO = 2,86 \times 36 = 103 \text{ mg DQO/l}$$

Considerando que DBO/DQO = 0,5, temos que o consumo de DBO no tanque anóxico é de 51 mg/l, gerando uma eficiência de remoção de DBO de 52% e de DQO 40%.

Cálculo do Volume da região anóxica

O Cálculo do volume do tanque anóxico será calculado pelo tempo de residência hidráulica

Parâmetros de projeto:

Eficiência da Nitrificação adotada: 90%

Eficiência da desnitrificação adotada: 100%

Para o Cálculo do tempo de residência hidráulica foi utilizada a equação:

$$X = \frac{Y \times (N - NO_3^- \text{afluente} - N - NO_3^- \text{efluente}) \times \theta c}{\theta h \times (1 + kd \times \theta c)}$$

Onde:

X: Sólidos suspensos voláteis no reator anóxico, adotado: 810 mg/l

Y: Conversão Nitrato consumido – microrganismo, adotado 0,7

$N - NO_3^- \text{afluente}$: Nitrato gerado no BAS, estimado 36 mg/l

$N - NO_3^- \text{efluente}$: Nitrato na saída do reator anóxico, adotado 0 mg/l

θc : Tempo de residência celular, adotado 13 dias

kd: Taxa de decaimento bacteriano, adotado 0,06 dias⁻¹

θ_h : Tempo de residência hidráulica no reator anóxico

ou seja:

$$\theta_h = \frac{0,7 \times (36 - 0) \times 13}{810 \times (1 + 0,06 \times 13)} = 0,25 \text{ dias} = 6 \text{ horas}$$

Cálculo do volume do reator anóxico

$$V = \theta_h \times Q$$

Onde:

V: Volume do reator anóxico;

θ_h : Tempo de residência hidráulica no reator anóxico

Q: Vazão

Ou seja:

$$V = 0,25 \times 86400 = 21813 \text{ m}^3$$

Adotado número de reatores anóxicos igual ao número de reatores UASB = 8

Vazão em cada reator: 125 l/s;

Volume de cada reator = 2455 m³

Altura adotada do reator = 10m

Área de cada reator = 245,5 m²

Dimensionamento do Biofiltro Aerado Submerso (BAS)

O Dimensionamento do BAS seguiu a metodologia proposta por Chernicharo (1999) e os parâmetros de projeto adotados estão descritos do quadro

Quadro: Parâmetros de dimensionamento do Biofiltro aerado Submerso (adaptado de CHERNICHARO, 1999)

Parâmetro de Dimensionamento	Valor
Carga orgânica volumétrica (kg DBO/m ³ .dia)	3,0 a 4,0
Carga orgânica superficial (g DQO/m ² .dia)	55 a 80
Eficiência de remoção de DBO (%)	60 a 75
Eficiência de remoção de SS (%)	60 a 75
Eficiência de remoção de DQO (%)	55 a 65
Taxa de aeração (Nm ³ /kg DBO removida)	25 a 40
Produção de lodo (kg ST/kg DQO removida)	0,25 a 0,40
Teor de SV no lodo (% SV/ST)	0,55 a 0,80

O Leito Filtrante escolhido é feito de peças de plástico dispostas aleatoriamente, com área superficial específica de cerca 130 m²/m³ e 95% de vazios.

Parâmetros de Recirculação

Para remoção de nitrogênio pelo sistema, a recirculação do efluente é necessária.

Adotado razão de recirculação de 2, ou seja:

$$r = \frac{Q_r}{Q} = 2$$

Onde:

r: razão de circulação igual a 2;

Q_r: vazão recirculada;

Q: vazão afluente

Portanto: $Q_r = 2000 \text{ l/s}$

Fator de recirculação

Fator de Recirculação exprime o número médio de passagens da matéria orgânica pelo filtro e segundo Jordão e Pessôa, 2005

$$F = \frac{1 + r}{\left(1 + \frac{r}{10}\right)^2}$$

Para $r = 2$ temos:

$$F = \frac{1 + 2}{\left(1 + \frac{2}{10}\right)^2} = 2,08$$

Cálculo do Volume do Biofiltro

Cálculo da área superficial do meio suporte

$$C_s = \frac{Q \times F \times DQO}{A_s}$$

Onde:

C_s : Carga Orgânica Superficial adotada: $80 \text{ g DQO/m}^2 \cdot \text{dia}$

Q : Vazão, $1000 \text{ l/s} = 86400 \text{ m}^3/\text{dia}$

F : Fator de recirculação, $2,08$

DQO afluente: 160 mg/l

A_s : Área da superfície do leito filtrante [m^2]

Ou seja:

$$A_s = \frac{Q \times F \times DQO}{C_s} = \frac{86400 \times 2,08 \times 160 \times 1000}{80} = 106908,6 \text{ m}^2$$

Como a área superficial específica é de $130 \text{ m}^2/\text{m}^3$ temos que o volume de leito filtrante é dado por $A_s/130 = 1038 \text{ m}^3$

Cálculo da Carga orgânica volumétrica

$$COV = \frac{S_0 \times Q}{V}$$

Onde:

COV: Carga orgânica volumétrica ($\text{kg DBO m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$);

S_0 : DBO afluente ao Biofiltro = 48 mg/l ;

Q: Vazão = $1000 \text{ l/s} = 86400 \text{ m}^3/\text{dia}$

V: Volume do Reator (m^3), igual ao volume do leito = 1038 m^3

Temos:

$$COV = \frac{48 \times 86400}{1038} = 4$$

Cálculo da área

Número de BAS adotado = 8, altura do BAS = 5 m, portanto área de cada BAS = 43 m^2

Consumo de Oxigênio

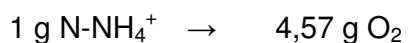
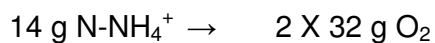
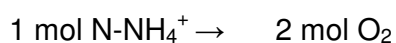
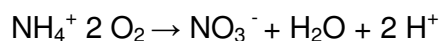
Consumo de Oxigênio para degradação da matéria Orgânica

Supondo que toda a redução da DQO no BAS foi devido ao ar injetado temos:

$$(O_2)_{\text{carb}} = \text{DQO Inicial} - \text{DQO final} = 154 - 46 = 108 \text{ mg/l}$$

Consumo de Oxigênio para nitrificação

Pela reação estequiométrica da nitrificação temos:



Portanto para cada grama de NTK oxidado a Nitrato é consumido 4,57 de O_2 , logo:

$$(O_2)_{\text{NTK}} = (\text{NTK inicial} - \text{NTK final}) \times 4,57 = (40 - 2) \times 4,57 = 174 \text{ mg/l}$$

Consumo total de O_2

$$(O_2)_{\text{total}} = (O_2)_{\text{carb}} + (O_2)_{\text{NTK}} = 174 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cox} = (O_2)_{\text{total}} \times Q = 24321 \text{ kg O}_2 \cdot \text{dia}^{-1}$$

Para injeção de ar foi adotado:

Eficiência na transferência de ar: 22%

Coefficiente de transferência de O_2 : 2

% O_2 no ar = 20%

Massa específica do ar = 1 kg/m³

Pressão do soprador: 6 mca

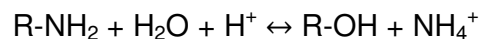
Vazão de ar = (24321 X 2)/(0,2 X 0,33) = 405358 m³ ar/dia = 16890 m³/h

Potência dos sopradores = Vazão X Pressão / 270 X eficiência = 536 cv
aproximadamente 400 kW

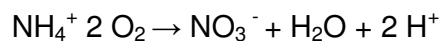
Variação da Alcalinidade

A Variação de alcalinidade devido às reações de Amonificação, nitrificação e desnitrificação é deduzida a partir das equações abaixo:

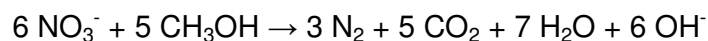
Amonificação



Nitrificação



Desnitrificação



O Quadro apresenta a variação de alcalinidade nas reações de amonificação, nitrificação e desnitrificação (adaptado de Van Haandel e Marais, 1999)

Quadro: Variação da alcalinidade em cada etapa da remoção biológica de nitrogênio

Reação	Consumo de alcalinidade por mg de N
Produção na amonificação	3,57 mg CaCO ₃ /mg N
Consumo na Nitrificação	7,14 mg CaCO ₃ /mg N
Produção na desnitrificação	3,57 mg CaCO ₃ /mg N

A Variação de alcalinidade está descrita no quadro:

	Consumo/Produção de alcalinidade	
Alcalinidade produzida UASB	12337,92	mg CaCO ₃ /dia
Alcalinidade produzida Anóxico	11104,13	mg CaCO ₃ /dia
Alcalinidade Consumida na Desnitrificação	-22208,26	mg CaCO ₃ /dia
Δ alcalinidade	1233,792	mg CaCO ₃ /dia

Como o Δ alcalinidade foi positivo, não será necessária a adição de alcalinidade, o que reduz custos de operação com alcalinizante.

Decantador Secundário

Cálculo da área do decantador

$$Ad = \frac{Q}{TAS} = \frac{86400}{22} = 3927 \text{ m}^2$$

Onde:

TAS: Taxa de Aplicação Superficial, adotado 22 m³/m².dia

Q: vazão média (m³/dia)

Ad: Área do decantador (m²)

Altura do decantador adotada: 3 m

Filtro Lento

Para o cálculo do filtro lento, foram seguidas recomendações de AZEVEDO NETTO e BOTELHO (1991). Foi adotado uma taxa de aplicação superficial de 6 m³/m².dia, valor máximo classicamente encontrado na literatura, logo:

$$TAS = \frac{Q}{Af} \therefore Af = \frac{Q}{TAS} = \frac{86400}{6} = 14400 \text{ m}^2$$

Onde:

TAS: Taxa de Aplicação Superficial do filtro lento, adotado 6 m³/m².dia

Q: vazão média (m³/dia)

Af: Área do filtro lento (m²)

Tendo em vista que a população atendida será de aproximadamente 500000 habitantes o número de filtros lentos será igual a 20, conseqüentemente a área de cada um será de 720 m². A estrutura vertical de cada filtro adotada é:

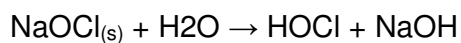
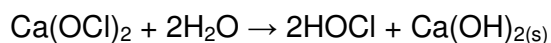
- Altura livre sobre a água: 0,25 m
- Altura da Coluna de água: 0,85 m
- Camada de areia: 0,9 m
- Camada de pedregulho: 0,25 m
- Drenos: 0,25 m

Cloração Ao Breakpoint (Breakpoint Chlorination)

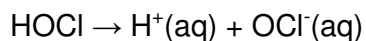
Os produtos mais comuns usados nas unidades de tratamento de águas são: gás cloro (Cl_2), hipoclorito de cálcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$], hipoclorito de sódio [NaOCl] e dióxido de cloro (ClO_2). Este último não reage com a amônia (Tchobanoglous, G., Burton F. e Stensel D., 2003).

Reações e compostos de cloro em solução aquosa:

O Cloro adicionado à água forma ácido hipocloroso, com comportamento físico-químico determinante para sua intervenção no processo de desinfecção e oxidação da amônia. As reações dos compostos clorados são ilustradas a seguir:

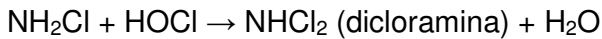
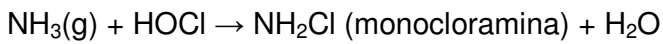


O ácido hipocloroso é ionizado em H^+ e hipoclorito dependendo do pH.



Reações com amônia:

Na presença de amônia, o cloro ativo reage com a amônia livre gerando cloraminas:



As cloraminas apresentam efeito toxicológico e, portanto, sua formação nas águas deve ser evitada. Essas reações são dependentes do pH, da temperatura e da relação cloro-amônia.

Reação de "Breakpoint":

As águas durante o tratamento têm uma demanda de cloro que deve ser satisfeitas, antes do aparecimento do cloro residual livre efetivo, usado como agente desinfetante.

Esta demanda é a diferença entre a quantidade de cloro dosada e a de cloro residual livre, depois de um determinado tempo de contato.

O fato de o cloro residual reagir com a amônia resulta na diminuição da quantidade de cloro residual livre. Os fenômenos que ocorrem neste processo podem ser observados na Figura 5. (Leytón Cerna, C.E., 2008)

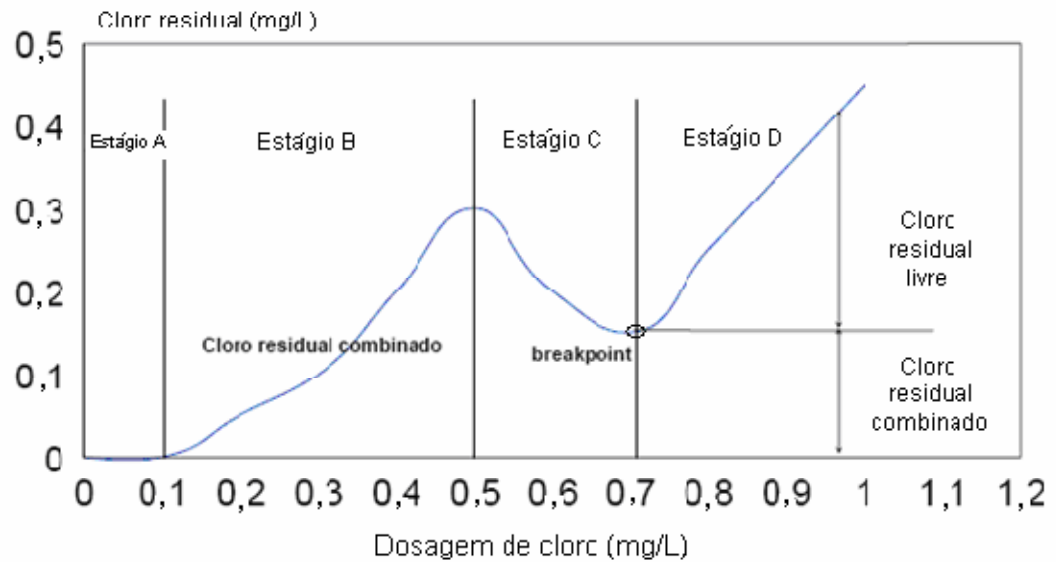
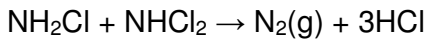
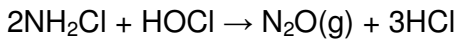
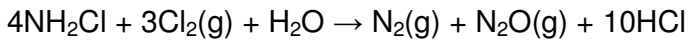


Figura 5-Curva geral durante a cloração na presença de amônia (Villaseñor Camacho, 2007)

Quando o cloro é adicionado, as substâncias facilmente oxidáveis, tais como, Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S , e a matéria orgânica reagem com este oxidante, reduzindo-o a íon cloreto (etapa A). Continuando a dosar o cloro, na presença de amônia, este reagirá para formar as cloraminas (etapa B). Prosseguindo com a dosagem do cloro, na etapa C parte das cloraminas será transformada em tricloreto de nitrogênio, e outra parte em óxido nitroso e nitrogênio. Com a adição continuada de cloro, no "breakpoint", a maioria dos compostos nitrogenados já terão sido oxidados, e qualquer adição posterior de cloro produzirá um incremento no nível de cloro livre residual na água. (Leytón Cerna, C.E., 2008)

As possíveis reações mostrando a formação dos gases anteriormente mencionados com a oxidação das cloraminas são:



UV + O₃

Cálculo do espaçamento entre lâmpadas

Para o cálculo do espaçamento entre lâmpadas foi utilizada a equação abaixo

$$\frac{Dr \times a \times L}{1 - e^{-a \times L}} = \frac{Pot \times t}{E^2 \times C}$$

Em que:

Dr = dose volumétrica recebida [Ws/m³]

a = coeficiente de extinção [m]

E = espaçamento entre lâmpadas

L = E/2 = trajetória percorrida pela luz UV

Pot = potência da lâmpada

C = comprimento da lâmpada

Adotando: Lâmpadas de 40W de potência com 90 cm de comprimento; tempo de exposição de 15s; coeficiente de extinção de 13,82m e utilizando dose recebida de 186mWs/cm² → 0,574 Wh/m³ temos:

$$\frac{0,574 \times 13,82 \times E/2}{1 - e^{-13,82 \times E/2}} = \frac{40 \times 15/3600}{E^2 \times 0,90} \therefore E = 35 \text{ cm}$$

Cálculo do volume do reator de desinfecção

Para um tempo de contato de 15s temos:

$$V=Q \times t = 1000\text{l/s} \times 15\text{s} = 15\text{m}^3$$

Cálculo do número de lâmpadas

O volume de água do reator desinfetado por cada lâmpada é dado por:

$$V_1 = E^2 \times C = 0,35^2 \times 0,9 = 0,11 \text{ m}^3$$

Portanto o número de lâmpadas no reator é igual a $V/V_1 = 15/0,11 \approx 137$ lâmpadas

Cálculo do volume do tanque de contato

Foi adotado tempo de contato de 30 minutos, portanto

$$V = Q \times t = 1000 \times 30 \times 60 = 1800 \text{ m}^3$$