

*Universidade Federal do Espírito Santo*  
*Centro Tecnológico*  
*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental*

*Bianca Barcellos Bazzarella*

*Caracterização e aproveitamento de água  
cinza para uso não-potável em edificações*

*Vitória, dezembro de 2005.*

*Bianca Barcellos Bazzarella*

*Caracterização e aproveitamento de água  
cinza para uso não-potável em edificações*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.

*Vitória, dezembro de 2005.*

*Bianca Barcellos Bazzarella*

*Caracterização e aproveitamento de água  
cinza para uso não-potável em edificações*

---

**Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.**

*Orientador - UFES*

---

**Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini**

*Examinador Interno - UFES*

---

**Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota**

*Examinador Externo - UFC*

*Universidade Federal do Espírito Santo*

*Vitória, dezembro de 2005.*

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

B364c Bazzarella, Bianca Barcellos, 1979-  
Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações / Bianca Barcellos Bazzarella. – 2005.  
165 f. : il.

Orientador: Ricardo Franci Gonçalves.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Água - Reutilização. 2. Água - Fontes alternativas. 3. Águas residuais - Estações de tratamento. 4. Água cinza. I. Gonçalves, Ricardo Franci. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

---

*A meus pais.*

# *Agradecimentos*

- ✓ A Deus, por iluminar sempre o meu caminho, dando-me forças para continuar e sempre achar que era possível;
- ✓ Aos meus pais, *Lucia e Tarcísio*, pelo apoio, carinho e incentivo em todos os momentos de minha vida;
- ✓ Ao meu orientador *Ricardo Franci*, por ter me confiado um tema motivante e inovador, por ter acreditado no meu trabalho dando-me orientações de como prosseguir e solucionar os problemas enfrentados;
- ✓ A toda a equipe do projeto, *Germana, Patrícia, Cinthia, Fernanda, Pâmela, Bruno e Dilkerson*, pelo desempenho, ajuda e disposição em todos os momentos, quer seja no laboratório quer seja na ETAC. “Sem vocês eu não teria conseguido”;
- ✓ Ao PROSAB 4, à CAPES e ao CNPq, pelo apoio financeiro;
- ✓ A todos que colaboraram com a pesquisa produzindo muita água cinza: tomando banho, escovando os dentes, lavando roupa...;
- ✓ Ao meu namorado, *Felipe*, pelo amor, carinho e conforto em todas as horas;
- ✓ Ao meu irmão, *Rafael*, pelos momentos de descontração, embalados por música e cantoria;
- ✓ A toda minha família linda (avós, tios, primos...), pela torcida carinhosa, pelas orações, pelos conselhos e ainda pelos almoços...;
- ✓ Aos amigos do Labsan (...) que acompanharam de perto cada etapa dessa trajetória, trocando experiências, compartilhando dificuldade e sucessos: “Valeu pessoal!”
- ✓ Aos meus amigos, *Tati, Débora, Wê, Dani, Délio, Maris, Rúbia, Karine, Letícia, Dudu ...* “Vocês são muito especiais!”

OBRIGADA.

*“Existem mais coisas entre o céu e a terra do supõe  
a nossa vã filosofia”*

*William Shakespeare*

# Resumo

Uma das formas de se conservar água nas residências é utilizando fontes alternativas de suprimento. O reúso de águas cinza para fins não-potáveis, tais como lavagem de veículos, rega de jardins e descarga de vasos sanitários, é apenas um exemplo. Este trabalho tem como objetivo pesquisar alternativas para redução do consumo de água potável e da produção de esgotos sanitários em edificações, a partir do aproveitamento do tratamento e reúso de águas cinza em descargas de vasos sanitários. Para isso, foi realizada uma etapa preliminar de caracterização qualitativa de águas cinza coletadas em diversas fontes (lavatório, chuveiro, pia de cozinha, tanque e de máquina de lavar roupa) do ponto de vista físico-químico e microbiológico. A água cinza apresentou significativa concentração de matéria orgânica rapidamente biodegradável e sulfatos, evidenciando o grande potencial de produção de  $H_2S$ , caso ela seja estocada sem tratamento. As concentrações de nutrientes (N e P) foram menores que no esgoto convencional, uma vez que a maior parte deles é oriunda dos excrementos (urina e fezes). A presença de *E. coli* mostrou que a desinfecção prévia ao reúso é necessária, principalmente se as normas para o reúso em descarga de vasos sanitários forem muito rígidas. Uma outra etapa realizada neste trabalho foi o monitoramento de um sistema de reúso implantado em um prédio localizado na UFES. O prédio contém duas salas de professores com banheiros individuais e banheiros coletivos, masculino e feminino, contabilizando um total de seis pias, dois chuveiros, seis vasos sanitários e dois mictórios. As águas cinza do prédio (efluente de chuveiro e lavatório) são encaminhadas separadamente para uma Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC), cujo processo é baseado na associação de um Reator Anaeróbico Compartimentado (RAC), de um Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS), de um Filtro Terciário (FT) e de desinfecção à base de cloro. O tratamento adotado apresentou elevada eficiência na remoção de turbidez, cor,  $DBO_5$ , DQO e *E. coli.*, e características compatíveis com diversos padrões estabelecidos para o reúso não-potável. As características dos lodos gerados desse tratamento apresentaram concentrações de ST e relação SV/ST de 0,59% e 77% (1ª câmara do RAC), 0,54% e 74% (2ª câmara do RAC), 0,004% e 32% (lodo aeróbico), 0,008% e 60% (1ª coleta lodo terciário) e 0,004% e 25% (2ª coleta lodo terciário).

# *Abstract*

Alternative sources of residential water supply may aid water conservation. One example is the reuse of greywater for non potable purposes (car washing, garden irrigation and toilet flushing). This work investigates alternatives for reducing potable water consumption and the production of wastewater in buildings, using greywater treatment applied to toilet flushing. Initially, a physical-chemical and microbiological qualitative characterization of greywater collected in several sources (lavatory, shower, kitchen sink, tank and wash machine) was carried out. The greywater presented significant concentrations of quickly biodegradable organic substances and sulphates, highlighting its high potential for H<sub>2</sub>S production when stored untreated. The nutrient concentrations (N and P) were minor compared with the ones in a conventional sewer, since they largely came from faeces and urine. The presence of *E. coli* showed the need for disinfection before reuse, depending on the quality standards for toilet flushing. Additionally a reuse system was monitored in a building at UFES University. The building contains two professors' rooms with individual bathrooms and collective bathrooms, male and female, giving a total of six lavatories, two showers, six toilets and two urinals. This building's greywater (the effluent of showers and lavatories) is directed to a Greywater Treatment Plant (ETAC), whose processing is based on a combination of techniques - Compartment Anaerobic Reactor (RAC), Submerged Aerated Filter (FBAS), Tertiary Filter (FT) and disinfection based in chlorine. The adopted treatment showed high efficiency in the removal of turbidity, color, BOD<sub>5</sub>, QOD, *E. coli*, and was compatible with diverse standards established for non potable reuse. The characteristics of the generated sludge of this treatment presented concentrations of ST and the relation SV/ST of 0,59% and 77% (1<sup>st</sup> chamber of the RAC), 0.54% and 74% (2<sup>nd</sup> chamber of the RAC), 0.004% and 32% (aerobic sludge), 0.008% and 60% (1<sup>st</sup> collects tertiary sludge) and 0.004% and 25% (2<sup>nd</sup> collects tertiary sludge).

# *Lista de Figuras*

|  |    |
|--|----|
| Figura 3-1: Ciclo hidrológico  | 25 |
| Figura 3-2: Distribuição de água no mundo  | 26 |
| Figura 3-3: Fluxo linear de massa em um sistema sanitário tradicional em países industrializados         | 29 |
| Figura 3-4: Fluxo circular de massa em um possível sistema sanitário sustentável                         | 29 |
| Figura 3-5: Distribuição do consumo de água no mundo   | 30 |
| Figura 3-6: Esquema de um sistema de gerenciamento de águas em uma edificação                            | 37 |
| Figura 3-7: Distribuição de alguns compostos nas parcelas do esgoto doméstico                            | 45 |
| Figura 3-8: Comparação entre a densidade de <i>E. coli</i> na água cinza e no esgoto doméstico combinado | 45 |
| Figura 3-9: Comparação entre a taxa de decomposição da água cinza e da água negra                        | 47 |
| Figura 3-10: Produção típica de água cinza e descargas de vasos sanitário requeridas em uma universidade | 49 |
| Figura 3-11: Esquema de um sistema de reúso de água cinza utilizando o processo dois-estágios            | 51 |
| Figura 3-12: Sistema de wetpark para tratamento de água cinza  | 53 |
| Figura 3-13: Croqui de uma ETE do tipo UASB + BFs  | 56 |
| Figura 3-14: Comparação entre coliformes totais e termotolerantes encontrados em vasos, efluente bruto   | 67 |
| Figura 4-1: Coleta da amostra do lavatório   | 71 |
| Figura 4-2: Coleta da amostra de cozinha   | 72 |
| Figura 4-3: Coleta da amostra de chuveiro  | 72 |
| Figura 4-4: Coleta da amostra de máquina de lavar  | 73 |
| Figura 4-5: Coleta da amostra de tanque  | 73 |
| Figura 4-6: Transporte das amostras em bombonas  | 74 |
| Figura 4-7: Edificação localizada no parque experimental de saneamento da UFES                           | 76 |
| Figura 4-8: Projeto hidro-sanitário de esgoto da edificação da UFES                                      | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4-9: Isométrico de água da edificação da UFES _____                             | 77  |
| Figura 4-10: Fluxograma do sistema de reúso _____                                      | 78  |
| Figura 4-11: Vista superior da ETAC _____  | 79  |
| Figura 4-12: Vista frontal da ETAC _____   | 79  |
| Figura 4-13: Planta baixa ETAC _____   | 80  |
| Figura 4-14: Meio suporte utilizado no FBAS _____                                      | 82  |
| Figura 4-15: Esquema de caracterização do meio suporte _____                           | 83  |
| Figura 4-16: Bomba utilizada no descarte do lodo aeróbio _____                         | 84  |
| Figura 4-17: Esquema da operação de lavagem do FT _____                                | 85  |
| Figura 4-18: Flutuador utilizado na desinfecção _____                                  | 86  |
| Figura 4-19: Máquina de lavar acoplada no lavatório _____                              | 87  |
| Figura 4-20: Introdução do efluente de cozinha na elevatória de água cinza bruta _____ | 87  |
| Figura 4-21: Frascos de coleta de amostras _____                                       | 89  |
| Figura 4-22: Forma de expressão dos resultados _____                                   | 90  |
| Figura 4-23: Vazão média diária de entrada na ETAC _____                               | 91  |
| Figura 4-24: Carga superficial média diária em cada etapa de tratamento da ETAC ____   | 92  |
| Figura 4-25: Carga volumétrica média diária em cada etapa de tratamento da ETAC __     | 93  |
| Figura 4-26: Hidrômetros instalados no lavatório, chuveiro, vaso sanitário. _____      | 95  |
| Figura 4-27: Tela de monitoramento do sistema supervisório. _____                      | 97  |
| Figura 4-28: Esquema das interconexões de rede das ligações _____                      | 98  |
| Figura 5-1: Curvas de biodegradabilidade de águas cinza e de esgoto bruto _____        | 117 |
| Figura 5-2: Remoção de turbidez _____  | 119 |
| Figura 5-3: Remoção de SST _____   | 119 |
| Figura 5-4: Remoção de cor verdadeira _____  | 119 |
| Figura 5-5: Remoção de DBO <sub>5</sub> _____  | 120 |
| Figura 5-6: Remoção de DQO _____   | 120 |
| Figura 5-7: Remoção de <i>E.coli</i> _____   | 121 |
| Figura 5-8: Remoção de Coliformes totais _____   | 121 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 5-9: Comparação do vaso sem cloro e com cloro – <i>E. coli</i> _____  | 122 |
| Figura 5-10: Comparação do vaso sem cloro e com cloro – coliformes totais _____  | 122 |
| Figura 5-11: Teor de cloro residual total e livre _____  | 122 |
| Figura 5-12: Evolução dos teores de sulfato _____  | 124 |
| Figura 5-13: Evolução dos teores de sulfeto _____  | 124 |
| Figura 5-14: Amostras coletadas em cada etapa de tratamento e no vaso sanitário ____   | 125 |
| Figura 5-15: Porcentagem de atendimento aos padrões mais e menos restritivos ____  | 126 |
| Figura 5-16: Lodos provenientes das câmaras 1 e 2 do RAC, do descarte do decantador do FBAS e da lavagem do FT _____               | 130 |
| Figura 5-17: Comparação através de microscopia ótica de lodos anaeróbios tratando água cinza e esgoto sanitário _____              | 130 |
| Figura 5-18: Consumo total diário de água do prédio A) com máquina de lavar; B) sem máquina de lavar _____                         | 132 |
| Figura 5-19: Distribuição do consumo de água por aparelho sanitário. _____   | 133 |
| Figura 5-20: Distribuição do consumo de água por tipo de aparelho sanitário A) com máquina de lavar; B) sem máquina de lavar _____ | 134 |
| Figura 5-21: Média Produção x demanda de água cinza do prédio da UFES A) com máquina de lavar; B) sem máquina de lavar _____       | 134 |
| Figura 5-22: Produção x demanda diária de água cinza com uso da máquina de lavar   | 135 |
| Figura 5-23: Produção x demanda diária acumulada de água cinza com uso da máquina de lavar _____                                   | 136 |
| Figura 5-24: Produção x demanda diária de água cinza sem uso da máquina de lavar   | 137 |
| Figura 5-25: Produção x demanda diária acumulada de água cinza sem uso da máquina de lavar _____                                   | 137 |
| Figura 5-26: Produção x demanda horária de água cinza edificação UFES (11/07/05)   | 138 |
| Figura 5-27: Produção x demanda horária de água cinza edificação UFES (15/07/05)   | 138 |
| Figura 5-28: Produção x demanda horária de água cinza edificação UFES (15/08/05)   | 139 |
| Figura 5-29: Consumo total de água potável e de reúso _____  | 140 |
| Figura 5-30: Produção de águas residuárias (águas cinza, águas negra, águas amarela)   |     |

# *Lista de Tabelas*

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 3-1: Consumo de água médio per capita e por economia em cada região geográfica no Brasil _____                       | 32  |
| Tabela 3-2: Distribuição do consumo de água em edificações domiciliares _____   | 33  |
| Tabela 3-3: Características das águas cinza originadas de várias fontes _____   | 40  |
| Tabela 3-4: Resultados obtidos no sistema wetpark para tratamento de água cinza ____  | 53  |
| Tabela 3-5: Característica típica de alguns sistemas de tratamento de esgoto aeróbio e combinações anaeróbio+ aeróbio _____ | 54  |
| Tabela 3-6: Limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários – normas internacionais _____                  | 64  |
| Tabela 3-7: Limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários – normas brasileiras _____                     | 65  |
| Tabela 3-8: Legislações brasileiras que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água _____                      | 65  |
| Tabela 4-1: Consumo de água potável e de água cinza por aparelho sanitário _____  | 70  |
| Tabela 4-2: Característica do meio suporte _____  | 81  |
| Tabela 4-3: Características da pastilha de cloro _____  | 86  |
| Tabela 4-4: Tempos de detenção hidráulicos médios _____   | 91  |
| Tabela 4-5: Características geométricas da ETAC _____   | 93  |
| Tabela 4-6: Estimativa da produção de água cinza no prédio da ETE UFES _____  | 94  |
| Tabela 4-7: Estimativa da demanda de água cinza no prédio da ETE UFES _____   | 94  |
| Tabela 4-8: Hidrômetro correspondente em cada aparelho sanitário _____  | 95  |
| Tabela 5-1: Caracterização qualitativa da água cinza segregada - Parâmetros físicos_  | 102 |
| Tabela 5-2: Características físicas de águas cinza obtidas em outras pesquisas _____  | 102 |
| Tabela 5-3: Características típicas de sólidos no esgoto bruto _____  | 103 |
| Tabela 5-4: Caracterização qualitativa da água cinza segregada - compostos nitrogenados) _____                              | 104 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 5-5: Características químicas de águas cinza obtidas em outras pesquisas – compostos nitrogenados _____ | 105 |
| Tabela 5-6: Características típicas de compostos nitrogenados no esgoto bruto _____                            | 105 |
| Tabela 5-7: Caracterização qualitativa da água cinza segregada – compostos fosforados _____                    | 106 |
| Tabela 5-8: Características químicas de águas cinza obtida em outras pesquisas – compostos fosforados _____    | 107 |
| Tabela 5-9: Características típicas do esgoto bruto - compostos fosforados _____                               | 107 |
| Tabela 5-10: Caracterização qualitativa da água cinza segregada – compostos orgânicos _____                    | 108 |
| Tabela 5-11: Características químicas de águas cinza obtida em outras pesquisas – compostos orgânicos _____    | 109 |
| Tabela 5-12: Características típicas do esgoto bruto - compostos orgânicos _____                               | 109 |
| Tabela 5-13: Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Compostos de enxofre _____                   | 110 |
| Tabela 5-14: Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Outros parâmetros                            | 113 |
| Tabela 5-15: Características químicas de águas cinza obtida em outras pesquisas – outros parâmetros _____      | 114 |
| Tabela 5-16: Características químicas típicas no esgoto bruto _____  | 114 |
| Tabela 5-17: Caracterização qualitativa da água cinza segregada - Parâmetros microbiológicos _____             | 115 |
| Tabela 5-18: Características microbiológicas de águas cinza obtida em outras pesquisas _____                   | 116 |
| Tabela 5-19: Características microbiológicas típicas no esgoto bruto _____                                     | 116 |
| Tabela 5-20: Resumo da remoção das etapas do tratamento para a qualidade final da água cinza tratada _____     | 125 |
| Tabela 5-21: Resultado do monitoramento da ETAC _____  | 127 |
| Tabela 5-22: Resultado do monitoramento da ETAC – compostos nitrogenados e fosforados _____                    | 128 |
| Tabela 5-23: Resultado do monitoramento da ETAC – O&G e Surfactante aniônico _____                             | 129 |
| Tabela 5-24: Características do lodo produzido nos sistemas de tratamento _____                                | 129 |

# *Lista de Símbolos*

|                  |   |
|------------------|---|
| ANA              | Agência Nacional das Águas  |
| As               | Área superficial  |
| C <sub>DQO</sub> | Concentração de DQO   |
| CH               | Chuveiro  |
| CO <sub>2</sub>  | Dióxido de carbono  |
| CNUMAD           | Conferencia das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento |
| C <sub>SUP</sub> | Carga superficial   |
| CT               | Coliformes Totais   |
| CV               | Coeficiente de variação   |
| C <sub>VOL</sub> | Carga volumétrica   |
| DP               | Desvio Padrão   |
| DQO              | Demanda Química de Oxigênio   |
| DBO <sub>5</sub> | Demanda Bioquímica de Oxigênio                                      |
| EACB             | Elevatória de Água Cinza Bruta                                      |
| EACT             | Elevatória de Água Cinza Tratada                                    |
| EcoSan           | Eco Saneamento ou Saneamento Ecológico                              |
| EPA              | Environment Protection Agency                                       |
| ETAC             | Estação de Tratamento de Águas cinza                                |
| ETE              | Estação de Tratamento de Esgoto                                     |
| FBAS             | Filtro Biológico Aerado Submerso                                    |
| FT               | Filtro Terciário  |
| H <sub>2</sub> O | Água  |
| IBGE             | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                     |
| K1               | Coeficiente de Desoxigenação  |
| LAO              | Liceu de Artes e Ofícios  |
| LV               | Lavatório   |
| Max              | Valor Máximo  |
| MC               | Mictório  |
| Méd              | Valor Médio   |
| Min              | Valor Mínimo  |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| n                             | Número de Amostras  |
| NH <sub>3</sub> – N           | Nitrogênio em amônia  |
| NO <sub>2</sub> – N           | Nitrogênio em nitrito   |
| NO <sub>3</sub> – N           | Nitrogênio em nitrato   |
| NMP                           | Número Mais Provável  |
| NTK                           | Nitrogênio Total Kjedal   |
| O <sub>2</sub>                | Oxigênio  |
| OD                            | Oxigênio Dissolvido   |
| O&G                           | Óleo e Graxas   |
| pH                            | Potencial hidrogeniônico  |
| PNCDA                         | Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água   |
| PROSAB                        | Programa de Pesquisa em Saneamento Básico   |
| P <sub>TOTAL</sub>            | Fósforo Total   |
| RAC                           | Reator Anaeróbio Compartimentado  |
| RSAP                          | Reservatório Superior de Água Potável   |
| RSAR                          | Reservatório Superior de Água de Reúso  |
| S <sup>-2</sup>               | Sulfeto   |
| SCP                           | Sistema de Controle Programável   |
| SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Sulfato   |
| SST                           | Sólidos Suspensos Totais  |
| ST                            | Sólidos Totais  |
| SV                            | Sólidos Voláteis  |
| TDH                           | Tempo de Detenção Hidráulico  |
| UASB                          | Do Inglês: Uperflow Anaerobic Sludge (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo) |
| UFC                           | Unidades Formadoras de Colônias   |
| UFES                          | Universidade Federal do Espírito Santo  |
| UNICEF                        | United Nations Children's Fund  |
| USP                           | Universidade de São Paulo   |
| VS                            | Vaso Sanitário  |
| Vu                            | Volume útil   |
| WHO                           | World Health Organization   |

# Sumário

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introdução</b>                              | <b>22</b> |
| <b>2. Objetivos</b>                               | <b>24</b> |
| 2.1 Objetivo Geral                                | 24        |
| 2.2 Objetivos Específicos                         | 24        |
| <b>3. Revisão Bibliográfica</b>                   | <b>25</b> |
| 3.1 Escassez de água                              | 25        |
| 3.2 Problemática das áreas urbanas                | 27        |
| 3.2.1 Ciclo urbano da água                        | 28        |
| 3.3 Consumo de água                               | 30        |
| 3.3.1 Consumo de água residencial                 | 30        |
| 3.3.2 Distribuição do consumo de água residencial | 32        |
| 3.4 Conservação de água potável                   | 33        |
| 3.4.1 Uso racional de água                        | 34        |
| 3.4.1.1 Aparelhos economizadores de água          | 34        |
| 3.4.1.2 Medição individualizada                   | 35        |
| 3.4.1.3 Fontes alternativas de água               | 35        |
| 3.5 As cores das águas                            | 36        |
| 3.6 Tipos de reúso                                | 38        |
| 3.7 Água cinza                                    | 38        |
| 3.7.1 Características qualitativas da água cinza  | 39        |
| 3.7.1.1 Características físicas                   | 40        |
| 3.7.1.2 Características químicas                  | 41        |
| 3.7.1.3 Características microbiológicas           | 43        |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.7.2  | Diferença entre as parcelas do esgoto doméstico                        | 44 |
| 3.7.3  | Características quantitativas da água cinza                            | 47 |
| 3.8    | Tratamento da água cinza – Algumas práticas atuais                     | 49 |
| 3.8.1  | Sistemas simplificados tipo dois-estágios (two-stage system)           | 50 |
| 3.8.2  | Sistemas físicos e físico-químicos                                     | 51 |
| 3.8.3  | Sistemas biológicos  | 52 |
| 3.9    | Desenvolvimento de processos aeróbios e anaeróbios no Brasil           | 53 |
| 3.9.1  | Associação UASB + Biofiltros   | 54 |
| 3.10   | Sistemas Anaeróbios+Aeróbios em águas cinza                            | 57 |
| 3.10.1 | Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC                                 | 57 |
| 3.10.2 | Filtro biológico aerado submerso - FBAS                                | 58 |
| 3.11   | Filtração terciária  | 59 |
| 3.12   | Cloração   | 59 |
| 3.12.1 |  | 61 |
| 3.13   | Estocagem  | 61 |
| 3.14   | Normas e legislação e padrões vigentes a cerca do reúso em edificações | 62 |
| 3.15   | Riscos associados ao reúso de água em edificações                      | 65 |

## ***4. Material e Métodos*** \_\_\_\_\_ **69**

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 4.1     | Contextualização da pesquisa                       | 69 |
| 4.2     | Caracterização qualitativa da água cinza segregada | 69 |
| 4.2.1   | Pontos de coleta                                   | 70 |
| 4.2.1.1 | Lavatório  | 71 |
| 4.2.1.2 | Pia de cozinha                                     | 71 |
| 4.2.1.3 | Chuveiro   | 72 |
| 4.2.1.4 | Máquina de lavar roupa                             | 72 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.1.5 Tanque  | 73 |
| 4.2.2 Análises laboratoriais                                      | 73 |
| 4.2.2.1 Análises físico-químicas                                  | 74 |
| 4.2.2.2 Análises microbiológicas                                  | 74 |
| 4.2.3 Análises estatísticas                                       | 75 |
| 4.3 Descrição da edificação com reúso da UFES                     | 75 |
| 4.3.1 Funcionamento do prédio                                     | 77 |
| 4.4 Sistema de reúso de água cinza                                | 77 |
| 4.4.1 Descrição da Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC)     | 78 |
| 4.4.1.1 Reator anaeróbio compartimentado (RAC)                    | 80 |
| 4.4.1.2 Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS)                   | 81 |
| 4.4.1.3 Decantador secundário (DEC)                               | 83 |
| 4.4.1.4 Filtro terciário (FT)                                     | 84 |
| 4.4.1.5 Desinfecção   | 85 |
| 4.4.2 Monitoramento do sistema de reúso                           | 86 |
| 4.4.2.1 Medidas adotadas para o aumento da produção de Água Cinza | 87 |
| 4.4.2.2 Pontos de coleta  | 88 |
| 4.4.2.3 Vazão de água cinza                                       | 88 |
| 4.4.2.4 Fase líquida  | 89 |
| 4.5 Quantificação da produção e demanda de águas cinza            | 93 |
| 4.5.1 Produção e demanda teórica de águas cinza                   | 93 |
| 4.5.2 Produção e demanda real de águas cinza                      | 94 |
| 4.5.2.1 O uso da máquina de lavar roupa                           | 95 |
| 4.5.2.2 Sistema de monitoramento                                  | 96 |
| 4.5.2.3 Aferição dos hidrômetros                                  | 98 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 4.5.2.4 Análises estatísticas _____ | 99 |
|-------------------------------------|----|

## **5. Resultados e Discussão \_\_\_\_\_ 100**

|  |     |
|--|-----|
| 5.1 Considerações gerais _____   | 100 |
| 5.2 Caracterização qualitativa da água cinza segregada _____                             | 100 |
| 5.2.1 Características físicas _____  | 100 |
| 5.2.2 Características químicas _____   | 103 |
| 5.2.2.1 Compostos nitrogenados _____   | 103 |
| 5.2.2.2 Compostos fosforados _____   | 105 |
| 5.2.2.3 Compostos orgânicos _____  | 107 |
| 5.2.2.4 Compostos de enxofre _____   | 110 |
| 5.2.2.5 Outros parâmetros de qualidade _____   | 110 |
| 5.2.3 Características microbiológicas _____  | 114 |
| 5.2.4 Ensaio de biodegradabilidade _____   | 116 |
| 5.3 Desempenho da ETAC no tratamento das águas cinza de uma edificação educacional _____ | 117 |
| 5.3.1 Características gerais da água cinza bruta _____                                   | 118 |
| 5.3.2 Remoção de sólidos, turbidez e cor _____   | 118 |
| 5.3.3 Remoção de matéria orgânica _____  | 119 |
| 5.3.4 Remoção de microrganismos _____  | 120 |
| 5.3.5 Sulfato e sulfeto _____  | 123 |
| 5.3.6 Resumo do desempenho de cada tratamento _____                                      | 124 |
| 5.3.7 Atendimento aos limites e padrões _____  | 125 |
| 5.3.8 Outros parâmetros monitorados _____  | 127 |
| 5.4 Características dos lodos gerados _____  | 129 |

|   |            |
|---|------------|
| 5.5 Quantificação da produção e da demanda de águas cinza do prédio ETE-UFES _____        | 131        |
| 5.5.1 Consumo de água global _____  | 131        |
| 5.5.1.1 Consumo total _____   | 131        |
| 5.5.1.2 Consumo por aparelho sanitário (hidrômetros) _____                                | 132        |
| 5.5.2 Distribuição do consumo de água por tipo de aparelhos sanitários _                  | 133        |
| 5.5.3 Produção x Demanda de água cinza _____  | 134        |
| 5.5.3.1 Análise mensal _____  | 134        |
| 5.5.3.2 Análise diária _____  | 135        |
| 5.5.3.3 Análise horária _____   | 137        |
| 5.5.4 Simulação do consumo total de água potável e da produção de águas residuárias _____ | 139        |
| <b>6. Conclusão _____</b>   | <b>141</b> |
| <b>7. Recomendações _____</b>   | <b>145</b> |
| <b>8. Referências Bibliográficas _____</b>  | <b>146</b> |
| <b>Anexo A _____</b>  | <b>156</b> |
| <b>Anexo B _____</b>  | <b>158</b> |
| <b>Anexo C _____</b>  | <b>162</b> |
| <b>Anexo D _____</b>  | <b>164</b> |

# 1. Introdução

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial combinados com o uso irracional da água têm aumentado consideravelmente a demanda por água doce e a produção de águas residuárias no mundo. Esses efluentes, tanto de origem industrial quanto urbana, quando lançados no ambiente, degradam ainda mais os mananciais onde essa água doce é captada.

Tendo em vista esse contexto de poluição, escassez e desperdício dos recursos naturais, foi criada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em 1992 (também conhecida como Rio 92), um dos marcos referenciais para o desenvolvimento sustentável, a Agenda 21. Ela estabelece um plano de ação elaborado de forma consensuada por governos e instituições de diversos países, visando orientar um novo padrão de desenvolvimento para o século XXI, cujo alicerce é a sinergia de sustentabilidade ambiental, social e econômica (Ministério do Meio Ambiente). Desde então, aumentou-se no mundo todo o número de experiências que visam principalmente reduzir, reciclar, reutilizar e recuperar os resíduos gerados.

Um das principais fontes de consumo de água são as residências. Alguns países da Europa e Estados Unidos já concentram seu foco de ações nessa escala. Em áreas densamente urbanizadas, o consumo de água nas edificações pode atingir até 50% do consumo total de água potável. Uma redução significativa desse consumo (30% a 40%) pode ser atingido nas residências através de técnicas racionalizadoras (ex: uso de dispositivos economizadores nos aparelhos) ou através da utilização de fontes alternativas de suprimento (ex: água de chuva, água do mar dessalinizada ou o reúso de águas servidas, também conhecida como águas cinza) para fins menos nobres (ex: lavagem de veículo, rega de jardins, descarga de vasos sanitários)

Entretanto, para se alcançar soluções ecológicas para o saneamento é necessário que haja mudanças no modo como as pessoas pensam e agem com relação aos resíduos por elas gerados. Considerando então a necessidade de desenvolvimento de tecnologia brasileira para sistemas de reúso, aspectos referentes às características quali-quantitativa de águas cinza e ao desenvolvimento de novos processos de tratamento constituem-se em importantes objetos de pesquisa.

## 2. *Objetivos*

### 2.1 **Objetivo Geral**

Pesquisar alternativas para redução do consumo de água potável e da produção de esgotos sanitários em edificações a partir da coleta, do tratamento e do reúso de águas cinza em descargas de vasos sanitários.

### 2.2 **Objetivos Específicos**

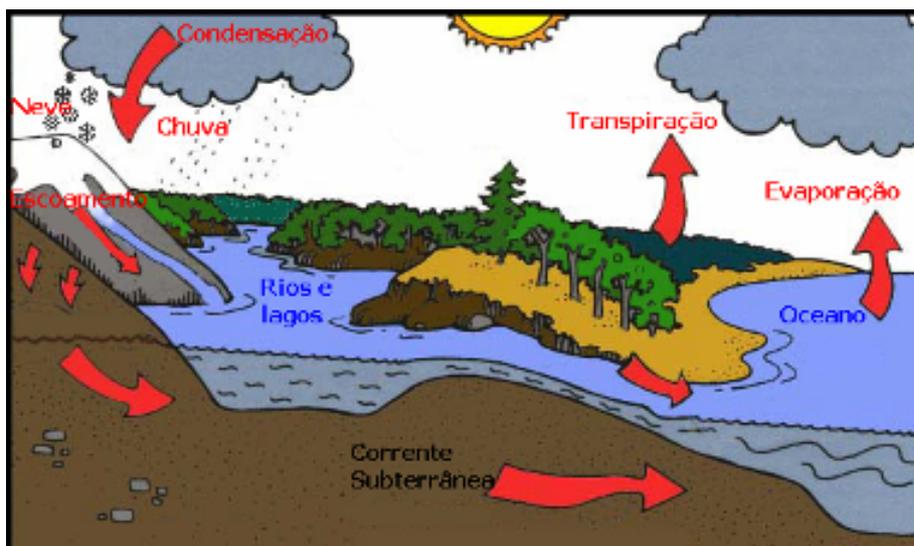
- ✓ Caracterizar, sob o ponto de vista físico-químico e microbiológico, águas cinza residenciais provenientes de diferentes fontes (chuveiro, lavatório, máquina de lavar, tanque, pia de cozinha).
- ✓ Estudar o desempenho de uma estação compacta de tratamento de águas cinza, composta pela associação em série de um Reator anaeróbio compartimentado, um filtro biológico aerado submerso, um filtro terciário e um clorador de pastilha, tratando as águas cinza de um prédio localizado no Parque Experimental de Saneamento Básico da UFES.
- ✓ Avaliar as características dos subprodutos gerados no tratamento das águas cinza de um prédio localizado no Parque Experimental de Saneamento Básico da UFES.
- ✓ Estudar a produção e a demanda de água cinza de um prédio localizado no Parque Experimental de Saneamento Básico da UFES.

## 3. Revisão Bibliográfica

### 3.1 Escassez de água

Quando, em 1961, o astronauta russo Yuri A. Gagarin avistou a terra do espaço e enviou a mensagem “A Terra é azul”, fez com que se pensasse que água, recurso essencial à vida, nunca fosse se findar.

De fato, a água é um recurso natural renovável e possui seu fluxo permanente e volume inalterado em virtude do ciclo hidrológico (figura 3-1). Entretanto, uma preocupação recorrente e vastamente justificada (UN/WWAP, 2003), é de que a água, tão abundante, se torne paradoxalmente cada vez mais escassa para consumo humano. Nos últimos 100 anos o consumo de água multiplicou por seis e hoje 1/3 da humanidade vive em áreas onde falta água limpa. Em virtude disso, em março de 2005, o secretário-geral das Organizações das Nações Unidas (ONU), Kofi Annan, decretou como a Década da Água os anos de 2005 a 2015.



FONTE: [www.explora.cl/ otros/agua/ciclo2.html](http://www.explora.cl/otros/agua/ciclo2.html)

**Figura 3-1:** Ciclo hidrológico

Segundo reportagem publicada pela revista *Veja* em 12 de outubro de 2005 (LIMA, 2005), o problema da escassez de água pode ser resumido em dois aspectos: má distribuição e má gestão. O primeiro se deve à própria natureza e o segundo é culpa do homem. A figura 3-2 mostra como as reservas de água doce são mal distribuídas na superfície do planeta. Regiões como o Oriente Médio e a África possuem problemas sérios e até conflitos devido à falta desse bem. Todavia, mesmo nas regiões mais abastadas, a distância entre as fontes de água e os centros consumidores pode ser enorme.



FONTE: ANA

**Figura 3-2:** Distribuição de água no mundo

O Brasil detém umas das maiores reservas de água doce no mundo, mas também enfrenta internamente esse paradoxo. As cidades passam por crises de abastecimento, das quais não escapam nem as situadas na Região Norte, que estão perto de 80% das descargas de água de rios no Brasil (REBOUÇAS, 2003). Além disso, parte da água no Brasil já perdeu a característica de recurso natural renovável (principalmente nas áreas densamente povoadas), em razão de processos de urbanização, industrialização e produção agrícola, que são incentivados, mas pouco estruturados em termos de preservação da água e do ambiente.

## 3.2 Problemática das áreas urbanas

Existe uma grande diferença nos modelos de cidades distribuídos ao redor do mundo. As áreas urbanas variam de grandes cidades a pequenos centros de comércio. Por isso, generalizações entre elas é difícil, em virtude de cada uma ter seu próprio cenário social, político e econômico.

A urbanização pode aumentar drasticamente o uso de água para consumo humano. De acordo com estudos feitos pelo WHO (World Health Organization) e pela UNICEF (United Nations Children's Fund) (2001), o número de residentes em áreas urbanas sem acesso a fontes de água aumentou de 113 milhões em 1990 (5% da população urbana mundial) para 173 milhões em 2000 (6% da população urbana mundial).

O desenvolvimento de cidades sem um correto planejamento ambiental resulta em prejuízos significativos para a sociedade. Uma outra consequência do crescimento urbano é o acréscimo da poluição doméstica e industrial, criando condições ambientais inadequadas e propiciando o desenvolvimento de doenças, contaminação da água subterrânea, entre outros problemas.

No Brasil, de acordo com dados do último censo (IBGE, 2000), da população de quase 170 milhões de pessoas existentes, perto de 138 milhões vivem nas cidades. Os efeitos desta realidade fazem-se sentir sobre todo aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos, ao abastecimento de água, ao transporte e ao tratamento de esgotos e pluvial.

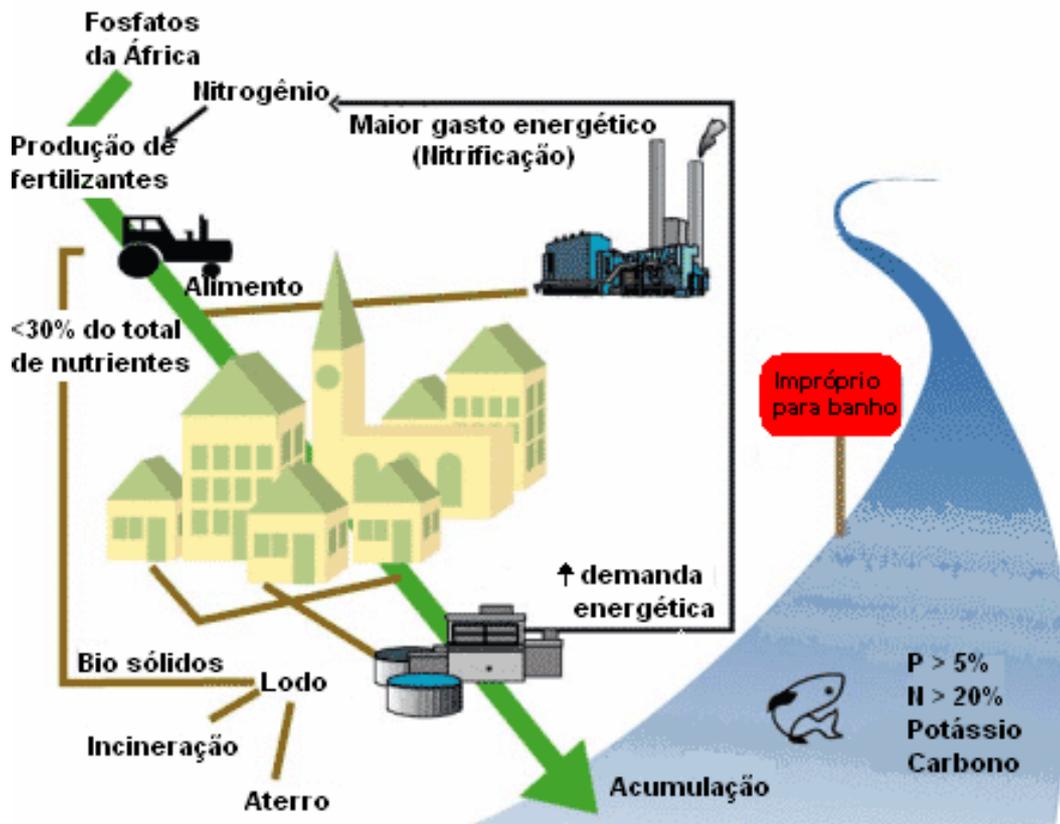
Ainda segundo o IBGE, cerca de 76,1% da população brasileira é atendida por rede de abastecimento de água e apenas 40% é atendida por rede de esgoto sanitário. Apenas 40% do volume desse esgoto coletado é tratado antes do lançamento. Esse panorama é comum em outros países em desenvolvimento, onde a infra-estrutura de água e esgoto urbana não atende a uma grande parcela da população.

### **3.2.1 Ciclo urbano da água**

O sistema urbano convencional de uso da água apresenta, hoje, um ciclo imperfeito. A água é bombeada de uma fonte local, é tratada, utilizada e, depois, retornada para o rio ou lago, para ser bombeada novamente. Entretanto, a água que é devolvida raramente possui a mesma qualidade que a água receptora (ou a água original, como foi extraída da natureza). Sais, matéria orgânica, calor e outros resíduos que caracterizam a poluição da água são agora encontrados. Segundo Otterpohl et al. (1997), os sistemas tradicionais de saneamento produzem um fluxo linear de materiais, causando acumulação e mistura do ciclo da água com o ciclo de alimentos (Figura 3-3). Esse sistema adota a premissa de que os nutrientes eliminados nas excretas humanas não têm valor significativo, e devem ser descartados (ESREY et al., 1998).

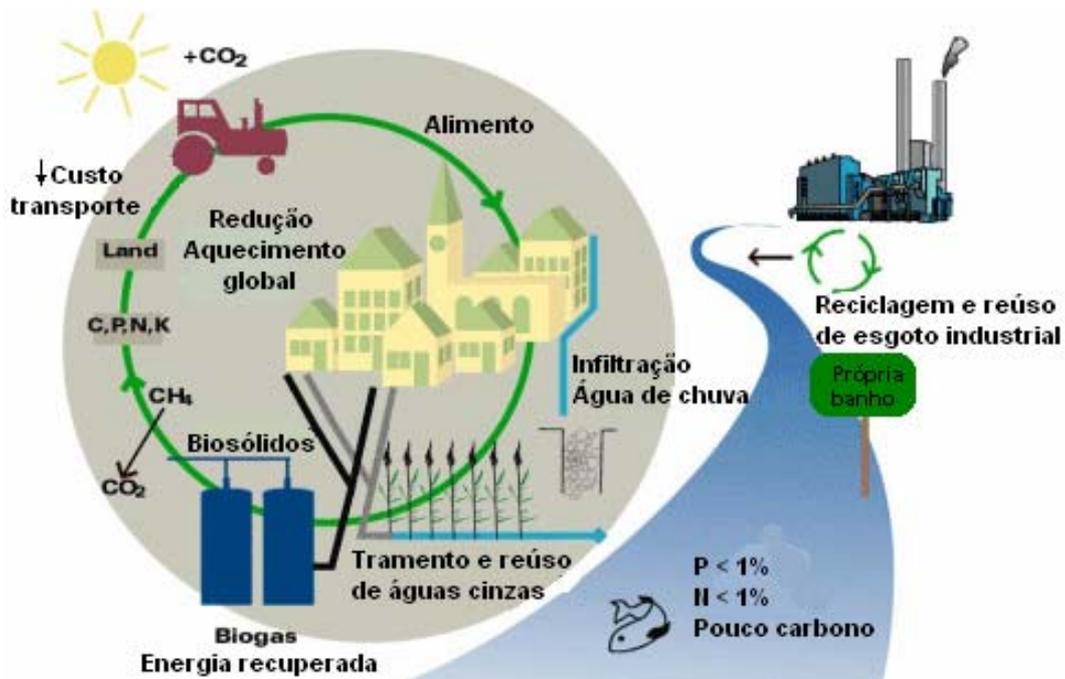
Outra desvantagem desse sistema são os grandes volumes de água utilizados para o transporte dos resíduos nas redes coletoras. O sistema mistura quantidades comparativamente pequenas de substâncias potencialmente prejudiciais, com grandes quantidades de água, aumentando a magnitude do problema (LANGERGRABER e MUELLEGGER, 2005). Se por um lado os problemas urgentes relacionados à higiene são solucionados, por outro, os impactos ambientais nos recursos hídricos utilizados para o suprimento de água potável são enormes (OTTERPOHL et al., 2002).

O saneamento ecológico é um caminho alternativo para evitar as desvantagens de um sistema convencional de esgoto. O paradigma do saneamento ecológico (EcoSan) é baseado nos caminhos naturais dos ecossistemas e no ciclo fechado de materiais (Figura 3-4). As excretas humanas (fezes e urina) bem como as demais águas residuárias domésticas são reconhecidas como um recurso (não como um resíduo) que pode ser disponível para o reúso (LANGERGRABER e MUELLEGGER, 2005). O reúso de águas cinza bem como a racionalização do uso de água potável (foco deste trabalho) é parte integrante e importante desse ciclo, pois promove a preservação de águas de melhor qualidade para fins potáveis e reduz a poluição no meio ambiente.



FONTE: Adaptado de OTTERPOHL et al, 1997

Figura 3-3: Fluxo linear de massa em um sistema sanitário tradicional em países industrializados

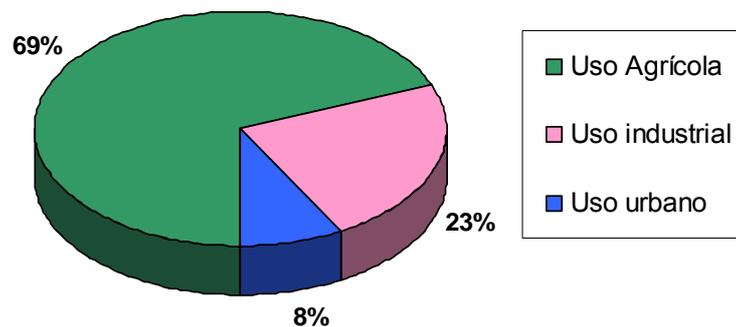


FONTE: Adaptado de OTTERPOHL et al, 1997

Figura 3-4: Fluxo circular de massa em um possível sistema sanitário sustentável

### 3.3 Consumo de água

A competitividade pelo uso dos recursos hídricos no mundo está caracterizada por três grandes demandas: uso urbano ou doméstico, uso industrial e uso agrícola, estimado e ilustrado na Figura 3-5. Quanto mais alto o nível de desenvolvimento do país, mais água é utilizada para fins industriais e urbanos e menos para a agricultura.



FONTE: HINRICHSEN et al., 1997

**Figura 3-5:** Distribuição do consumo de água no mundo

O uso da água para consumo nas áreas urbanas subdivide-se em três categorias (Tomaz, 2000):

- Consumo residencial: relativo a residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;
- Consumo comercial: relativo a restaurantes, hospitais e serviços de saúde, hotéis, lavanderias, autoposto e lava a jatos, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas;
- Consumo público: relativo aos edifícios públicos, escolas, parque infantil, prédios de unidade de saúde pública, cadeia pública e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

#### 3.3.1 Consumo de água residencial

O consumo de água residencial pode constituir mais da metade do consumo total de água nas áreas urbanas. Na região metropolitana de São Paulo, o consumo

de água residencial corresponde a 84,4% do consumo total urbano (incluindo também o consumo em pequenas indústrias). Na cidade de Vitória, a porcentagem desse consumo é bem similar, correspondendo a aproximadamente 85% desse total (dados da CESAN de 2002 e 2003) (RODRIGUES, 2005).

A quantidade de água consumida em uma residência depende de uma série de fatores, que vão desde variáveis comportamentais até variáveis físicas e econômicas. Arbués et al. (2003) realizou um estado da arte sobre vários procedimentos estatísticos utilizados para estimativa da demanda de água em residências, tomando como base as diversas variáveis que determinam esse consumo. Algumas delas são: a tarifa exercida, renda familiar, condições climáticas (precipitação, temperatura); características das residências (tamanho, se possui área externa ou não), moradores (quantidade e faixa etária).

O Documento Técnico de Apoio (DTA) E1, do PNCDA (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água), apresenta metodologias e equipamentos necessários para se chegar à caracterização do consumo de água de habitações unifamiliares brasileiras (ROCHA et al., 1998).

O consumo de água residencial inclui tanto o uso interno quanto o uso externo a residências. Em edificações residenciais, os usos de água internos distribuem-se principalmente em atividade de limpeza e higiene, enquanto que os externos ocorrem devido à irrigação, lavagem de veículos, piscinas, entre outros.

Estudos realizados pelo Ministério das Cidades no âmbito do Programa de Modernização do Setor de Saneamento - PMSS (2004) mostraram no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2003 que o consumo *per capita* médio no Brasil é de 141,0 L/hab.dia. Em termos regionais, destaca-se a Região Sudeste que apresentou um consumo *per capita* de 174,0 L/hab.dia, superior a média do país (Tabela 3-1. De acordo com esse mesmo estudo, a CESAN (Companhia Espírito-Santense de Saneamento) apresentou um consumo per capita de 194,9 L/hab.dia. Isso evidencia que um gasto excessivo é atribuído a esse setor.

**Tabela 3-1:** Consumo de água médio per capita e por economia em cada região geográfica no Brasil

| Região       | Consumo médio de água        |  |
|--------------|------------------------------|--|
|              | Por habitante<br>(L/hab.dia) | Por economia<br>(m <sup>3</sup> /economia.mês) |
| Norte        | 111,7                        | 16,1   |
| Nordeste     | 107,3                        | 12,5   |
| Sudeste      | 174,0                        | 15,9   |
| Sul          | 124,6                        | 11,7   |
| Centro-Oeste | 133,6                        | 13,4   |
| Brasil       | 141,0                        | 14,1   |

FONTE: PMSS (2004)

### 3.3.2 Distribuição do consumo de água residencial

O conhecimento dos consumos específicos de água que ocorrem nos diversos pontos de utilização de uma residência é de fundamental importância para se saber onde se deve priorizar as ações de conservação do uso da água em edificações.

A Tabela 3-2 mostra algumas experiências que realizaram a parametrização do consumo de água em edificações, bem como uma simulação do consumo de água em uma residência de classe média brasileira, realizada por uma conceituada empresa do ramo de peças e aparelhos sanitários (Deca).

A Universidade de São Paulo (USP), em parceria com a Deca, realizou um estudo em um prédio da própria universidade. Já o documento técnico de apoio E1, do PNCD, apresenta uma caracterização do consumo de água para um apartamento situado em um conjunto residencial para população de baixa renda (ROCHA et al., 1998).

A NSWHealth (2000) e o EPA (1992) apresentam dados sobre domicílios australianos e americanos respectivamente. Jensen (1991, apud TOMAZ, 2000) apresentou a distribuição de consumo de água médio em residências na Dinamarca.

**Tabela 3-2:** Distribuição do consumo de água em edificações domiciliares

| Setor da residência    | Simulação Deca * | Prédio USP* | PNCDA (BRASIL, 1998) | Austrália (NSWhealth, 2000) | Dinamarca (Jensen,1991)** | EUA (EPA, 1992) |
|------------------------|------------------|-------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|
| <b>Banheiro</b>        | <b>72%</b>       | <b>63%</b>  | <b>68%</b>           | <b>70%</b>                  | <b>50%</b>                | <b>74%</b>      |
| Bacia sanitária        | 14%              | 29%         | 5%                   | 32%                         | 20%                       | 41%             |
| Pia                    | 12%              | 6%          | 8%                   | 5%                          | 10%                       | -               |
| Chuveiro               | 47%              | 28%         | 55%                  | 33%                         | 20%                       | 33%             |
| Banheira               | -                | -           | -                    | -                           | -                         | -               |
| <b>Cozinha</b>         | <b>15%</b>       | <b>22%</b>  | <b>18%</b>           | <b>7%</b>                   | <b>25%</b>                | <b>5%</b>       |
| Pia de cozinha         | 15%              | 17%         | 18%                  | 7%                          | 5%                        | 5%              |
| Máq de lavar louça     | -                | 5%          | -                    | -                           | 20%                       | -               |
| <b>Área de serviço</b> | <b>13%</b>       | <b>15%</b>  | <b>14%</b>           | <b>23%</b>                  | <b>15%</b>                | <b>21%</b>      |
| Máq de lavar roupa     | 8%               | 9%          | 11%                  | 23%                         | 15%                       | 21%             |
| Tanque                 | -                | 6%          | 3%                   | -                           | -                         | -               |
| Torneira de uso geral  | 5%               | -           | -                    | -                           | -                         | -               |
| Limpeza                | -                | -           | -                    | -                           | -                         | -               |
| <b>Outros</b>          | <b>0%</b>        | <b>0%</b>   | <b>0%</b>            | <b>0%</b>                   | <b>10%</b>                | <b>0%</b>       |
| Outros                 | -                | -           | -                    | -                           | -                         | -               |
| Lavagem de carro       | -                | -           | -                    | -                           | 10%                       | -               |
| Vazamentos             | -                | -           | -                    | -                           | -                         | -               |

\* Disponível na Homepage da Deca

\*\* Citado em Tomaz (2000)

Pela análise da tabela 3-2, é possível identificar que o banheiro é o ponto de maior consumo de água, independentemente da região onde se encontra a edificação, representando mais da metade do consumo de água nas residências. A bacia sanitária e o chuveiro, em alguns locais, possuem um consumo relativamente semelhante, justificando a necessidade de se investirem esforços e recursos em pesquisas sobre práticas de reúso.

### 3.4 Conservação de água potável

Santos (2002) conceitua “Conservação de água” como sendo um conjunto de ações que propiciam a economia de água seja nos mananciais, seja no sistema público de abastecimento de água, seja ainda nas habitações.

Restringindo-se ao cenário das habitações, de acordo com o Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações elaborado pela FIESP (2005), a conservação da água pode ser definida como qualquer ação que: reduza a quantidade de água extraída em fontes de suprimento; reduza o consumo de água; reduza o desperdício de água; aumente a eficiência do uso da água; ou ainda aumente a reciclagem e o reúso de água.

É oportuno destacar que, com relação à tipologia das ações de economia, elas podem ser de uso racional de água e de uso de fontes alternativas.

### **3.4.1 Uso racional de água**

As ações de uso racional de água são basicamente de combate ao desperdício quantitativo, como a priorização do uso de aparelhos sanitários economizadores de água, o incentivo à adoção da medição individualizada, a conscientização do usuário para não desperdiçar água no ato do uso, a detecção e controle de perdas de água no sistema predial de água fria, o estabelecimento de tarifas inibidoras do desperdício, entre outras (SANTOS, 2002).

#### **3.4.1.1 Aparelhos economizadores de água**

Os desperdícios de água verificados em bacias sanitárias, torneiras, chuveiros, mictórios e outros componentes ocorrem pelos seguintes motivos: vazão excessiva, tempo de utilização prolongado, dispersão do jato e por vazamentos. Todos esses fatores, com exceção do vazamento, podem ser controlados através de componentes adequados às condições físicas e funcionais do local (OLIVEIRA, 2005).

A concepção de sistemas economizadores de água preconiza um menor consumo, um melhor desempenho e menor influência da ação do usuário na economia de água. Existe uma série deles disponível no mercado, como bacias sanitárias de volume reduzido ou com duplo acionamento (3 ou 6 L), chuveiros e lavatórios com volumes fixos de descarga, arejadores, etc.

No manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações (FIESP, 2005) existem alguns estudos de caso que retratam a economia de água através da implantação de alguns desses tipos de aparelhos. Um dos estudos de caso é referente à aplicação de registros restritores de vazão em um edifício residencial e em um hotel de São Paulo. Eles proporcionaram a redução de 73% e 81% do consumo de água, respectivamente.

### **3.4.1.2 Medição individualizada**

A medição individualizada nas residências é outro fator que afeta o consumo de água. Quando se paga proporcionalmente aos volumes consumidos, há uma tendência de redução no consumo de água. No Canadá, um estudo feito em 1999, pelo Governo de British Columbia, mostrou que as residências que não possuíam medição individualizada consumiram 70% a mais água (457 L/hab.dia) do que as que possuíam esse tipo de medição (269 L/hab.dia).

### **3.4.1.3 Fontes alternativas de água**

As fontes alternativas de água são fontes opcionais àquelas normalmente disponibilizadas às habitações (água potável). Destacam-se a água cinza, a água de chuva, a água subterrânea, a água mineral envasada e a água distribuída em caminhões-pipas.

A utilização da água de chuva como fonte alternativa trata-se de uma das soluções mais simples e baratas para preservar a água potável. Ela é viável principalmente nas regiões onde o regime pluviométrico é generoso em termos quantitativos e distributivos ao longo do ano.

A utilização da água da chuva nas edificações é uma prática antiga que foi um pouco esquecida quando os sistemas públicos de abastecimento foram implementados. Atualmente, a sua utilização voltou a ser realidade e faz parte da gestão moderna de grandes cidades e de países desenvolvidos. Vários países europeus e asiáticos utilizam amplamente a água da chuva nas residências para usos que não requerem qualidade de água potável, como a descarga de vasos sanitário, a lavagem de roupas, calçadas e carros e a rega de jardins (MAY, 2004).

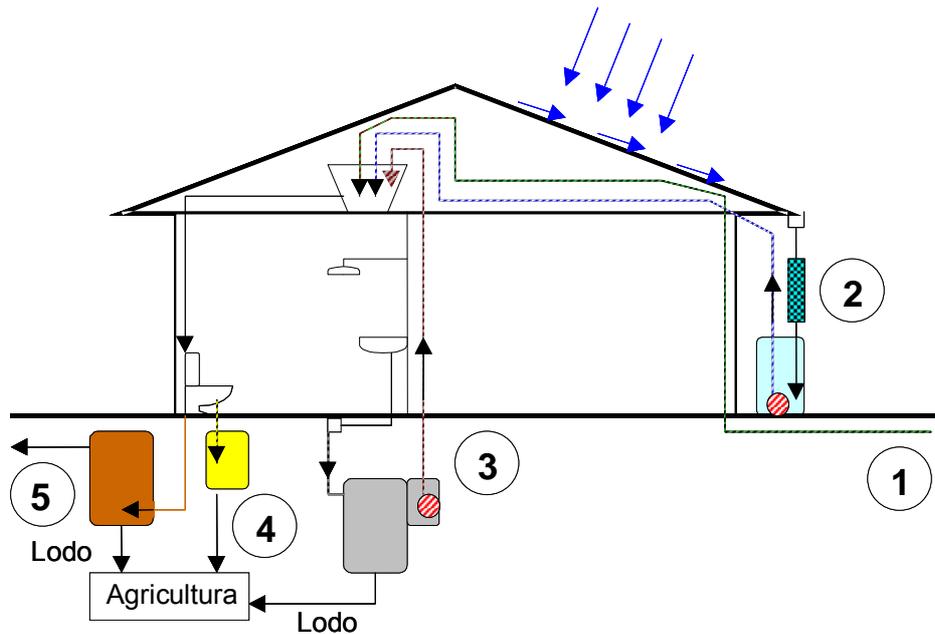
A configuração básica de um sistema de aproveitamento de água de chuva consta da área de captação (telhado, laje, piso), dos sistemas de condução de água (calhas, condutores verticais e horizontais), da unidade de tratamento da água (reservatório de coleta de primeira chuva, filtros e desinfecção) e do

reservatório de acumulação. Em alguns casos, pode ser necessário um sistema de recalque, o reservatório superior e a rede de distribuição.

A qualidade da água de chuva pode ser afetada por diversos fatores, como a localização geográfica, presença de vegetação, condições meteorológicas, estação do ano, presença de carga poluidora (indústria) e condições da superfície de captação. Portanto, é de suma importância proceder a caracterização da água da chuva da região para melhor conhecê-la, possibilitando assim o seu aproveitamento de forma segura. Vaccari et al. (2005) estudaram a qualidade da água da chuva do município de Vitória e observaram que a sua qualidade atende aos padrões de qualidade de água de reúso classe 1, segundo o manual “Conservação e Reúso da Água em Edificações”, exceto para coliformes totais, se o primeiro 1,5mm de chuva for eliminado.

### **3.5 As cores das águas**

O conceito de saneamento ecológico é baseado no princípio de separação dos fluxos dos diferentes tipos de efluentes domésticos, de acordo com suas características, visando reutilizá-los ou minimizá-los para reduzir sua liberação ao meio ambiente. A Figura 3-6 mostra um modelo de gerenciamento das águas em escala residencial, com linhas de suprimento águas e de produção de águas residuárias diferenciadas conceitualmente pelas cores das águas (Gonçalves, 2004 / PROSAB plano de integração).



- ① Suprimento de água convencional, a partir da rede pública.
- ② Coleta e aproveitamento de água de chuva a partir do telhado da edificação;
- ③ Coleta, tratamento e reúso das águas cinza na descarga de vasos sanitários;
- ④ Coleta, tratamento e reúso de águas amarelas (urina) na agricultura;
- ⑤ Coleta, tratamento e reúso das águas negra na agricultura;

**Figura 3-6:** Esquema de um sistema de gerenciamento de águas em uma edificação

Com base em Otterpohl (2001), o esgoto sanitário gerado nas residências pode ser segregado da seguinte forma:

- Água negra (*blackwater*): efluente proveniente dos vasos sanitários, incluindo fezes, urina e papel higiênico, principalmente;
- Água cinza (*greywater*): águas servidas, excluindo o efluente dos vasos sanitários;
- Água amarela: representando somente a urina.
- Água marrom: representando somente as fezes.

A caracterização destes diferentes tipos de águas residuárias é de fundamental importância para o sucesso dos projetos de reúso. Quanto mais informações se obtiver do efluente, melhor se poderá caracterizá-lo e, assim, escolher o tratamento mais adequado, atendendo aos requisitos de qualidade exigidos para o reúso que se deseja.

### 3.6 Tipos de reúso

Mancuso & Santos (2003) classificam o reúso de água, em geral, em: potável e não-potável. Essa classificação foi adotada por esses autores pela sua praticidade e facilidade.

O reúso potável divide-se em direto e indireto. O reúso potável direto ocorre quando o esgoto é recuperado por meio de tratamento avançado e reutilizado diretamente no sistema como água potável e, o indireto ocorre quando o esgoto, após o tratamento, é disposto nas coleções de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.

Já o reúso não-potável é dividido de acordo com sua finalidade, como por exemplo: para fins agrícolas, industriais, domésticos, recreacionais, para manutenção de vazões, para aquicultura e para recarga de aquíferos subterrâneos.

O reúso de água cinza enquadra-se no reúso não-potável. Ela pode ser utilizada para todos os fins citados acima, destacando-se, principalmente, o reúso doméstico (rega de jardins residenciais, lavagem de veículos e de áreas impermeáveis, descarga de vasos sanitários) e agrícola. Segundo Eriksson et al. (2002), diferentes tipos de água cinza podem ser adequados para diferentes tipos de reúso e irá requerer diferentes tipos de tratamento, dependendo do reúso que se pretende dar a ela.

### 3.7 Água cinza

O termo água cinza é utilizado, em geral, para água servida originada em residências (ou também escolas, escritórios ou edifícios públicos), que não possui contribuição de efluentes de vasos sanitários. É a água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (JEFFERSON et al., 1999; ERIKSSON et al., 2002; OTTOSON e

STENSTRÖM, 2003). Alguns autores, como Nolde (1999) e Christova-Boal et al. (1996), não consideram como água cinza o efluente oriundo de cozinhas, por considerá-lo altamente poluído, putrescível e com inúmeros compostos indesejáveis, como por exemplo, óleos e gorduras.

### **3.7.1 Características qualitativas da água cinza**

A água cinza é geralmente originada pelo uso de sabão ou de outros produtos para lavagem do corpo, de roupas ou de limpeza em geral (JEFFERSON et al., 1999). Ela varia em qualidade de acordo com a localidade e nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores (NSWHEALTH, 2000) e com o tipo de fonte de água cinza que está sendo utilizado (lavatório, chuveiro, máquina de lavar, etc.) (NOLDE, 1999). Outros fatores que, segundo Eriksson et al. (2002), também contribuem para as características da água cinza são: a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição, tanto da água de abastecimento quanto da água de reúso. A Tabela 3-3 mostra características físico-químicas e microbiológicas de águas cinza originadas de várias fontes dentro de uma residência.

**Tabela 3-3:** Características das águas cinza originadas de várias fontes

| Parâmetros   | Tipos de água Cinza      |                   |                |                          |                           |                              |  |                       |           |          |                   |
|--|--------------------------|-------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|--|-----------------------|-----------|----------|-------------------|
|  | Siegrist et al. (1976) * |                   |                |                          |                           | Christova-Boal et al. (1998) |  | Almeida et al. (1999) |           |          |                   |
|  | Chuveiro/<br>Banheira    | Pia de<br>Cozinha | Lava<br>Louças | Lava Roupas              | Enxague de<br>roupa       | Banheiro                     | Lavanderia                                   | Banheira              | Lavatório | Chuveiro | Pia de<br>Cozinha |
| <b>Físicos</b> mg/l exceto onde indicado               |                          |                   |                |                          |                           |                              |  |                       |           |          |                   |
| Temperatura ( °C )                                     | 29                       | 27                | 38             | 32                       | 28                        |                              |  |                       |           |          |                   |
| Turbidez ( NTU )                                       |                          |                   |                |                          |                           | 60 - 240                     | 50 - 210                                     |                       |           |          |                   |
| ST   | 250                      | 2410              | 1500           | 1340                     | 410                       |                              |  |                       |           |          |                   |
| SST  | 120                      | 720               | 440            | 280                      | 120                       |                              |  | 54                    | 181       | 200      | 235               |
| <b>Químicos</b> mg/l exceto onde indicado              |                          |                   |                |                          |                           |                              |  |                       |           |          |                   |
| pH   |                          |                   |                |                          |                           | 6,4 - 8,1                    | 9,3 - 10                                     |                       |           |          |                   |
| Condutividade (µS/cm)                                  |                          |                   |                |                          |                           | 82 - 250                     | 190 - 1400                                   |                       |           |          |                   |
| Alcalinidade   |                          |                   |                |                          |                           | 24 - 43                      | 83 - 200                                     |                       |           |          |                   |
| DBO5   | 170                      | 1460              | 1040           | 380                      | 150                       | 76 - 200                     | 48 - 290                                     |                       |           |          |                   |
| DQO  |                          |                   |                |                          |                           |                              |  | 210                   | 298       | 501      | 644               |
| Óleos e Graxas   |                          |                   |                |                          |                           | 37 - 78                      | 8,0 - 35                                     |                       |           |          |                   |
| Cloreto  |                          |                   |                |                          |                           | 9,0 - 18                     | 9,0 - 88                                     |                       |           |          |                   |
| <b>Nutrientes</b> mg/l exceto onde indicado            |                          |                   |                |                          |                           |                              |  |                       |           |          |                   |
| N-total  | 17                       | 74                | 40             | 21                       | 6                         |                              |  |                       |           |          |                   |
| NTK  |                          |                   |                |                          |                           | 4,6 - 20                     | 1,0 - 40                                     |                       |           |          |                   |
| NH4-N  | 2                        | 6                 | 4,5            | 0,7                      | 0,4                       | <0,1 - 15                    | <0,1 - 1,9                                   | 1,1                   | 0,3       | 1,2      | 0,3               |
| NO3-N  | 0,4                      | 0,3               | 0,3            | 0,6                      | 0,4                       |                              |  | 4,2                   | 6         | 6,3      | 5,8               |
| NO3 & NO2  |                          |                   |                |                          |                           | <0                           | 0,10 - 0,31                                  |                       |           |          |                   |
| P-total  | 2                        | 74                | 68             | 57                       | 21                        | 0,11 - 1,8                   | 0,062 - 42                                   |                       |           |          |                   |
| PO4-P  | 1                        | 31                | 32             | 15                       | 4                         |                              |  | 5,3                   | 13,3      | 19,2     | 26                |
| <b>Microbiológicos</b> por 100 ml exceto onde indicado |                          |                   |                |                          |                           |                              |  |                       |           |          |                   |
| Coliformes Totais                                      | 70-8200                  |                   |                | 85 - 8,9x10 <sup>6</sup> | 190 - 1,5x10 <sup>5</sup> | 500-2,4 x 10 <sup>7</sup>    | 2,3 x 10 <sup>4</sup> -3,3 x 10 <sup>5</sup> |                       |           |          |                   |
| Coliformes Fecais                                      | 1-2500                   |                   |                | 9 - 1,6x10 <sup>4</sup>  | 35 - 7,1x10 <sup>3</sup>  | 170-3,3 x 10 <sup>2</sup>    | 110 -1,09x10 <sup>2</sup>                    |                       |           |          |                   |
| Criptosporidium  |                          |                   |                |                          |                           | nd                           | nd   |                       |           |          |                   |
| Salmonela  |                          |                   |                |                          |                           | nd                           |  |                       |           |          |                   |

\* Citado em Eriksson et al. (2002)

### 3.7.1.1 Características físicas

Os parâmetros físicos mais relevantes são: temperatura, cor, turbidez e o conteúdo de sólidos suspensos. Altas temperaturas podem ser indesejáveis devido ao favorecimento do crescimento de microorganismos; já as medidas de turbidez e sólidos suspensos podem dar alguma informação a respeito do conteúdo de partículas e colóides que poderiam induzir ao entupimento de instalações de transporte e tratamento desses efluentes. Embora o conteúdo de sólidos esperados na água cinza seja menor, de acordo com Gray e Becker (2002), aproximadamente 32,7% da carga do esgoto convencional, esses problemas relacionados com entupimento de tubulação não podem ser negligenciados. A razão disso é que esses colóides combinados com os surfactantes (oriundo dos detergentes) podem causar estabilização na fase sólida devido à adsorção do surfactante na superfície do colóide (ERIKSSON et al., 2002).

### **3.7.1.2 Características químicas**

As características químicas serão divididas de acordo com o tipo de composto presente.

- **Compostos orgânicos**

O valor de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e de DQO (demanda química de oxigênio) irá indicar o risco de depleção de oxigênio devido à degradação da matéria orgânica durante o transporte e estocagem e, ligado a isso, o risco de produção de sulfeto. A maior parte da DQO é derivada dos produtos químicos utilizados nas residências, como produtos de limpeza e detergentes. Espera-se, então, que os níveis de DQO sejam próximos aos encontrados para o esgoto doméstico convencional, enquanto que para as concentrações de DBO esperam-se valores mais baixos (ERIKSSON et al., 2002).

Segundo Gray e Becker (2002), água cinza contribui com aproximadamente 39,1% da carga de DQO de uma residência. Sendo que o efluente da cozinha contribui com 7,4%, o do banheiro (excluindo o vaso sanitário) com 15,4% e o da lavanderia com 9,0%.

- **Compostos nitrogenados e fosforados (nutrientes)**

Com relação aos nutrientes, as concentrações de nitrogênio total na água cinza são mais baixas do que no esgoto convencional, visto que a principal fonte desse nutriente é a urina e ela não está presente na água cinza. Dessa forma, quem mais contribui para os níveis de nitrogênio na água cinza é o efluente da cozinha. Entretanto, em algumas residências tem-se o costume de urinar durante o banho (ERIKSSON et al., 2002).

Já para o fósforo, sua principal fonte são os detergentes, principalmente em locais onde ainda é permitido o uso de detergentes contendo fosfatos (ERIKSSON et al., 2002). Em locais onde o uso desses detergentes não é

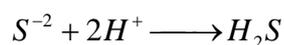
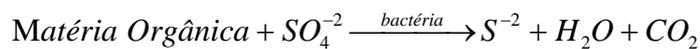
permitido, o conteúdo de fósforo na água cinza tende a ser 70% menor (OTTERPOHL, 2001).

A água cinza contribui, em geral, com apenas 7,7% da carga de nitrogênio total, com 2,3% da carga de amônia e com 12,4% da carga de fósforo em uma residência (GRAY E BECKER, 2002)

- **Compostos de enxofre**

Assim como no esgoto sanitário, o íon sulfato ( $SO_4^{-2}$ ) está presente nas águas cinza. Entretanto, na águas cinza essas concentrações são um pouco preocupantes em virtude da rapidez com que esta se torna anaeróbia (melhor explicado no item 3.7.2).

Em condições anaeróbias, os sulfatos são reduzidos a sulfetos através de reações decorrentes da ação bacteriológica e, os sulfetos podem se combinar com o hidrogênio formando o sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico ( $H_2S$ ) (METCALF e EDDY, 1991). Simplificando as reações:



A preocupação está justamente em função da formação de  $H_2S$ , pois estes, quando observados acima de 1mg/L, geram maus odores.

- **Outros componentes**

O pH na água cinza depende basicamente do pH da água de abastecimento. Entretanto, alguns produtos químicos utilizados podem contribuir para aumento o do mesmo. Além disso, as medidas de alcalinidade e dureza (de maneira similar às de turbidez e sólidos suspensos) dão alguma informação a respeito do risco de entupimento das tubulações (ERIKSSON et al., 2002).

Alguns produtos químicos são esperados que estejam presentes na água cinza, constituindo um grupo heterogêneo de compostos. Eles são originados pelo uso de sabões, detergentes, xampus, perfumes, tinturas, produtos de limpeza, entre outros. O efluente da cozinha ainda possui lipídios (óleos e gorduras), chá, café, amido solúvel, glicose, entre outros. Já na lavanderia, diferentes tipos de detergentes, alvejantes e perfumes são utilizados. Dentro de toda essa gama de substâncias, uma maneira de selecionar compostos realmente relevantes para caracterização de uma água cinza poderia ser baseada nos compostos encontrados em produtos residenciais, juntamente com a identificação do risco ambiental que eles proporcionam. O principal composto da lista são os surfactantes (ex: não-iônico, aniônico e anfóteros) utilizados em detergentes e produtos de higiene pessoal (ERIKSSON et al., 2002).

De acordo com Grey e Becker (2002), a carga de óleos e graxas na água cinza é de 61,5% da carga de um esgoto residencial convencional.

### **3.7.1.3 Características microbiológicas**

No que diz respeito às características microbiológicas, embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microorganismos patogênicos, algumas atividades como limpeza das mãos após o uso do toailete, lavagem de roupas fecalmente contaminadas (ex: fraldas) ou o próprio banho são algumas das possíveis fontes desses agentes na água cinza (OTTOSON e STENSTRÖM, 2003).

Segundo Ottoson e Stenström (2003), os riscos à saúde humana dependem: do tipo de patógenos, do tratamento aplicado e da rota de exposição. A presença de *Escherichia coli* ou outros organismos entéricos indica a contaminação fecal e a possibilidade de presença de patógenos intestinais, como *Salmonella* ou vírus entéricos, na água cinza. Grandes quantidades de coliformes fecais são indesejáveis e implicam uma maior chance de contágio em humanos durante o contato com a água cinza reutilizada (ROSE et al., 2002). Entretanto, esse indicador pode, em alguns casos, superestimar os riscos devido ao seu potencial de crescimento dentro do sistema (OTTOSON e STENSTRÖM, 2003). Estudos

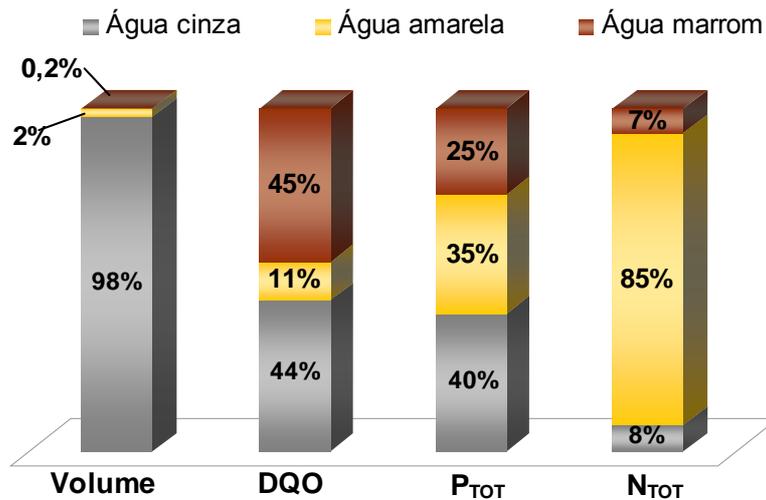
feitos por Rose et al. (2002) com análise de água cinza estocada mostram que a quantidade de bactérias aeróbias, como os coliformes termotolerantes, aumenta muito durante as primeiras 48 horas de estocagem e depois fica relativamente estabilizada pelos próximos 12 dias.

### **3.7.2 Diferença entre as parcelas do esgoto doméstico**

Alguns engenheiros sanitaristas conservadores mantêm o conceito de que “esgoto é esgoto” independente de ser somente água cinza ou esgoto (água cinza mais água negra misturada). Uma razão para esse conservadorismo é o fato de a água cinza, quando estocada sem tratamento por alguns dias, ter características semelhantes a de um esgoto convencional, pois ambos terão mau cheiro (anaeróbios) e uma grande quantidade de bactérias. Entretanto, as diferenças são muito mais importantes do que suas similaridades.

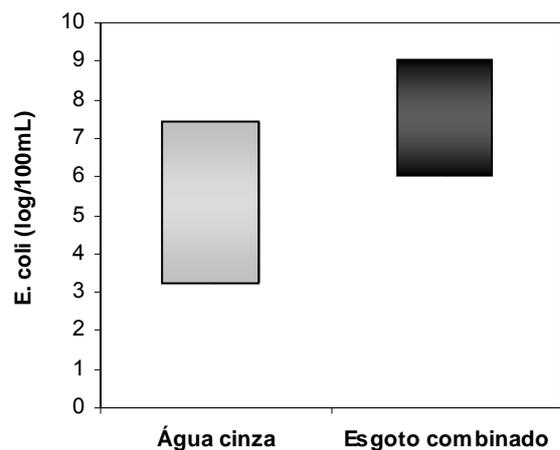
As diferenças em termos quantitativos e qualitativos estão exemplificadas na Figura 3-7. Essas características demonstradas na figura foram de um projeto piloto realizado em Lübeck (Alemanha) para uma nova comunidade de aproximadamente 400 pessoas, utilizando toaletes a vácuo, segregação das águas residuárias e destinações diferentes a cada uma delas (OTTERPOHL, 2001).

Outra diferença é que as fontes de água cinza, encontradas na cozinha, na lavanderia e nos banheiros (chuveiros e lavatórios), possuem densidade de patógenos inferior às encontradas nos resíduos dos vasos sanitários. A Figura 3-8 mostra uma comparação das densidades de *E. coli* entre a água cinza e o esgoto doméstico combinado bruto em termos de unidades logarítmicas por 100ml.



FONTE: Adaptado de OTTERPOHL, 2001

**Figura 3-7:** Distribuição de alguns compostos nas parcelas do esgoto doméstico



FONTE: Adaptação von Sperling (2005); Ottoson e Stenström (2003)

**Figura 3-8:** Comparação entre a densidade de *E. coli* na água cinza e no esgoto doméstico combinado

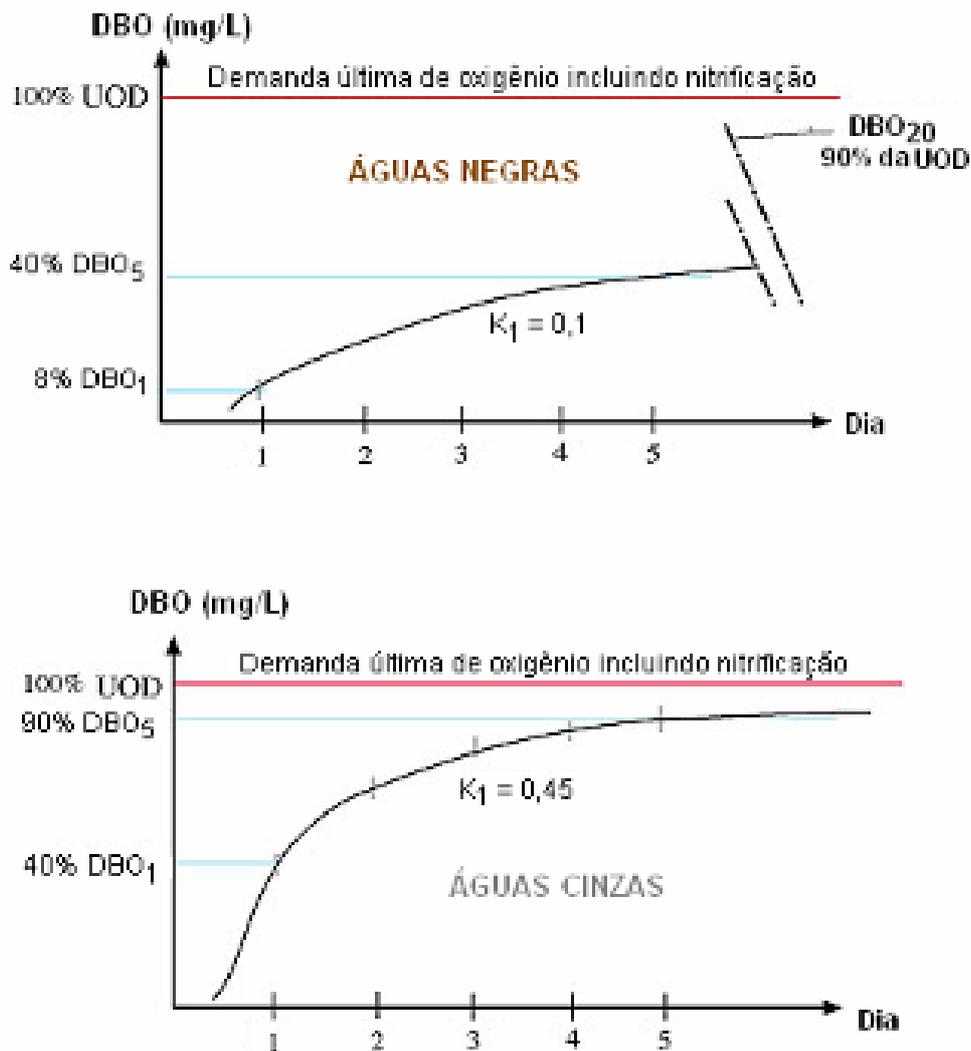
Entretanto, a diferença mais significativa entre as águas negras (fezes+urina) e as águas cinza está na taxa de decaimento de poluentes em cada uma. As curvas de DBO podem demonstrar o quanto o grau de oxidação de um material pode afetar a quantidade de oxigênio ao longo do tempo (Figura 3-9). Apesar da diferença dos compostos orgânicos presentes, os processos de decomposição podem ser descritos como uma reação de primeira ordem, expressa de acordo

com a seguinte equação diferencial:  $\frac{dL}{dt} = -K_1 \cdot L$ . Onde, L é concentração de

DBO remanescente (mg/L);  $t$  é tempo (dia); e  $K_1$  é o coeficiente de desoxigenação ( $\text{dia}^{-1}$ ).

Quanto menor o valor de  $K_1$  mais lenta é a decomposição. Como a matéria orgânica presente nas águas negras já foi exposta a uma das mais eficientes “estações de tratamento”, o sistema digestivo humano, é justificável que os resíduos desse processo não se decomponham tão rapidamente quando misturados com a água. Em contrapartida, a rápida taxa de decaimento na água cinza pode ser explicada pela presença de compostos orgânicos de degradação mais fácil e, conseqüentemente, mais disponíveis para os microrganismos.

Em virtude disso, a água cinza, quando armazenada sem tratamento, decompõe-se rapidamente (consumindo o oxigênio), tornando-se anaeróbia. Quando atinge esse estado séptico, a água cinza forma um lodo que pode sedimentar ou flotar, dependendo do conteúdo de gás e da densidade do mesmo. A água cinza séptica pode então exalar mau cheiro assim como as águas negras e conter também bactérias anaeróbias que podem ser patogênicas ao homem. Conseqüentemente, o sucesso dos tratamentos da água cinza está ligado à utilização de processos que as tratem antes delas se tornarem anaeróbias.



FONTE: OLSON et al. (1968, citados em [www.greywater.com](http://www.greywater.com))

**Figura 3-9:** Comparação entre a taxa de decomposição da água cinza e da água negra

### 3.7.3 Características quantitativas da água cinza

Os aspectos quantitativos, tanto de produção quanto de demanda de água cinza, estão muito relacionados com o consumo de água dentro das residências, que variam principalmente de acordo com a região, com o clima e com os costumes dos habitantes. Características como vazão específica dos aparelhos sanitários, associadas à realidade de seus usos (frequência e duração de uso), permitem estimar a vazão diária de água cinza a ser produzida (SANTOS, 2002). Uma pesquisa realizada por Rocha et al. (1998), dentro do Programa de Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), mostra que a determinação da caracterização do consumo de água em residências tem sido feita em alguns poucos países do Hemisfério Norte e os correspondentes valores, por falta de

outros válidos, têm sido utilizados pelas equipes técnicas brasileiras, apenas como referência, mostrando a necessidade urgente de levantamentos relativos à realidade brasileira.

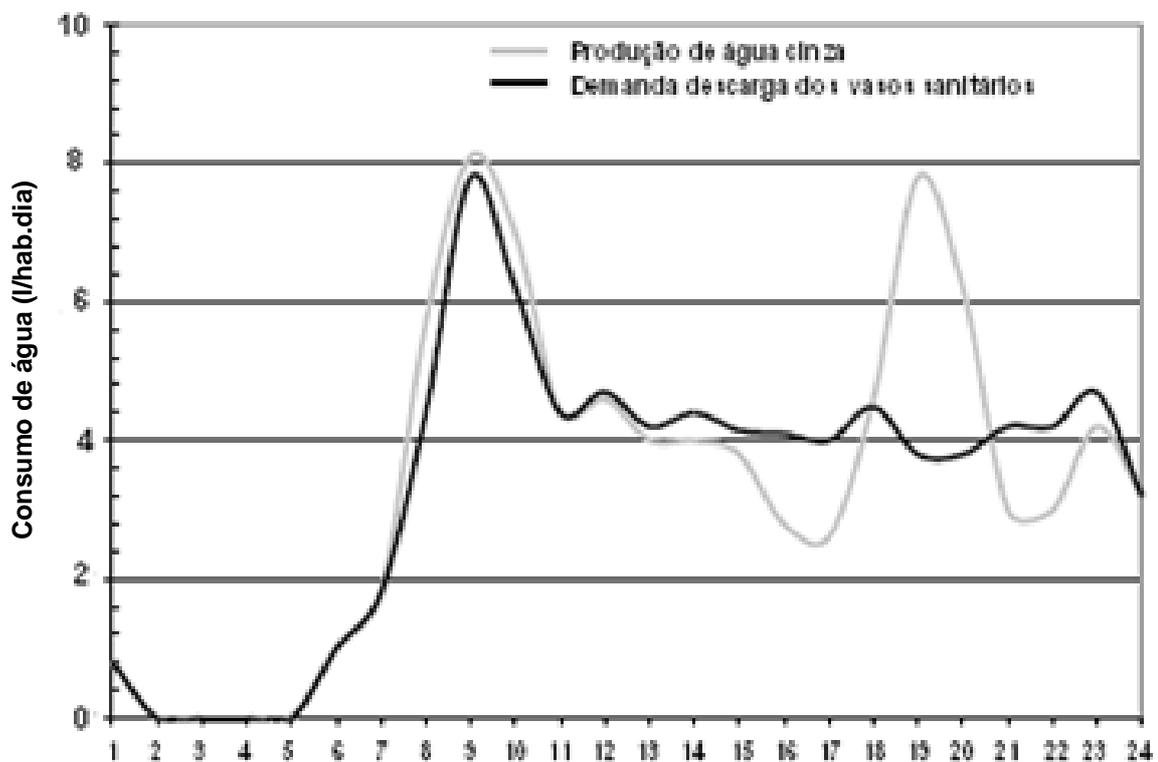
Em 1972, na Inglaterra, Gibson (1972 apud ROCHA et al., 1998) aplicou uma metodologia que consistia na instalação, em todos os pontos de utilização de água, de sensores de fluxo associados a hidrômetros instrumentados, que por sua vez foram interligados a um gravador de fita magnética para registro das ocorrências de passagem de água e registro do correspondente volume, mais o horário de início e fim do evento. Os sinais gravados na fita passavam por um decodificador, que comandava uma máquina de perfuração (punch-paper), que gerava fita de papel perfurada. Esta fita servia como entrada de dados para um computador que realizava o tratamento dos dados dos consumos registrados obtendo gráficos do tipo histogramas diários de uso dos pontos de utilização.

Em 1979, na Suécia, Holmberg e Olsson (1979 apud ROCHA et al., 1998) realizaram uma investigação em um prédio com vinte apartamentos, onde foram instalados, nos pontos de utilização, sensores de fluxo e hidrômetros instrumentados, mais sensores de pressão e temperatura. Todos os sensores foram conectados a um equipamento de aquisição de dados, que registrava a ocorrência dos eventos em um disquete, para ser, posteriormente, lido em computador (ou microcomputador), para tratamento e análise dos dados. No computador foram desenvolvidos programas para tratamento dos dados que permitiram a confecção de gráficos da distribuição do consumo de água dos apartamentos estudados ao longo do dia.

No Brasil, a partir da década de 90, algumas pesquisas têm sido desenvolvidas pelo IPT (Instituto de Pesquisa e Tecnologia) no intuito de estabelecer um processo metodológico para realização de campanhas de medição do consumo de água em residências brasileiras, empregando equipamentos de monitoramento automático em cada um dos pontos de utilização de água (ROCHA et al., 1998).

Um fator-chave para o sucesso de um sistema de reúso é o balanço entre o suprimento e a demanda de água cinza. Estudos feitos por Surendran e Wheatley (1998, apud Jefferson et al., 1999), em uma universidade, mostram que o volume

acumulado de água cinza gerado e o volume requerido pelas descargas dos vasos sanitários em um dia são bastante semelhantes. Entretanto a dinâmica da situação não é tão ideal. A água cinza é produzida em um tempo ligeiramente deslocado de quando a descarga dos vasos é acionada e, além disso, ela é gerada em curtos períodos de tempo, ao passo que a descarga dos vasos sanitários ocorre de maneira mais consistente ao longo do dia. Isso geralmente resulta em um déficit de água durante a tarde e a madrugada, como mostra a Figura 3-10. A utilização de reservatórios de estocagem pode corrigir esse déficit, mas aumenta substancialmente o tamanho de todo o sistema.



FONTE: Surendran e Wheatley (1998, apud JEFFERSON et al., 1999)

**Figura 3-10:** Produção típica de água cinza e descargas de vasos sanitários requeridas em uma universidade

### 3.8 Tratamento da água cinza – Algumas práticas atuais

A análise das características do efluente, conjuntamente com os requisitos de qualidade requeridos para a aplicação de reúso desejada, geralmente define o tipo de tratamento a ser adotado.

Em se tratando de reúso de água, devido à grande variabilidade tanto da fonte quanto da própria finalidade a que se destina o efluente tratado, ou o tipo de reúso pretendido, uma gama de sistemas ou seqüências de processos são possíveis de serem concebidos (MANCUSO e SANTOS, 2003). Os processos desenvolvidos variam desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reúso em larga escala (JEFFERSON et al., 1999).

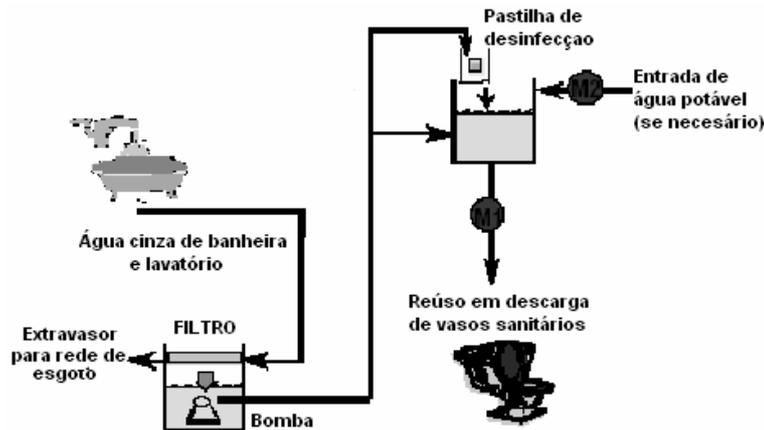
### **3.8.1 Sistemas simplificados tipo dois-estágios (*two-stage system*)**

A filtração grosseira seguida de desinfecção é uma tecnologia comumente utilizada no Reino Unido para reúso doméstico e várias empresas fabricam sistemas de tratamento de reúso que se baseiam nesse processo de dois estágios (*two-stage process*) (Figura 3-11). Segundo Jefferson et al. (1999) o processo genérico emprega um curto período de detenção hidráulica. Assim a natureza química da água cinza permanece inalterada e apenas um mínimo tratamento é requerido. A desinfecção pode ser feita utilizando tanto cloro como bromo, sendo eles dispersos na forma de pastilhas que se dissolvem lentamente ou através de dosagem de solução líquida. Entretanto, concentrações de matéria orgânica elevadas limitam a eficiência da desinfecção química, pois dificultam a difusão do desinfetante, aumentam a demanda do agente desinfetante e, no caso do cloro, pode gerar subprodutos como cloraminas e trihalometanos

Hill et al. (2003) mostram o monitoramento de um sistema que foi implantado por uma empresa britânica em cinco novas residências em Aylesbury (Inglaterra), utilizando o bromo como desinfetante. Este monitoramento mostrou uma concentração de  $\text{DBO}_5$  remanescente relativamente alta (22-87mg/l) e apresentou alguns problemas operacionais como, o entupimento na tubulação de entrada do filtro, falha na bomba e insuficiência na desinfecção.

Um outro sistema de reúso implantado em um apart-hotel, localizado na Ilha de Mallorca (Espanha) utilizou processos de sedimentação, filtração (filtro de tela de nylon) e desinfecção (hipoclorito de sódio). Resultados satisfatórios foram obtidos, através do controle adequado das condições operacionais (período de estocagem inferior a 48 horas e concentração de cloro residual  $\geq 1$  mg/L nas

descargas dos toaletes). A qualidade da água de reúso (turbidez 16,5 NTU e SST 18,6 mg/L) foi bem aceita pelos hóspedes do hotel, embora para alguns parâmetros estivesse aquém dos padrões estabelecidos para água potável (MARCH et al., 2004).



FONTE: HILL et al., 2003

**Figura 3-11:** Esquema de um sistema de reúso de água cinza utilizando o processo dois-estágios

### 3.8.2 Sistemas físicos e físico-químicos

Os processos físicos desenvolvidos para o tratamento de águas cinza compreendem principalmente a filtração com leitos de areia e processos utilizando membranas, esses últimos geralmente são precedidos de um pré-tratamento apropriado.

A remoção de sólidos suspensos da água cinza é essencial tanto para irrigação de jardins quanto para descarga de vasos sanitários. Segundo Christova-Boal et al. (1996), a utilização de filtros pode propiciar qualidade aceitável para esse tipo de reúso. Em alguns locais experimentais a remoção do material suspenso foi alcançada através de um sistema de filtros com três estágios (CHRISTOVA-BOAL et al., 1996): pré-filtração (remoção de sólidos grosseiros do efluente de lavanderia, chuveiro e banheira), filtro de peneira (coleta principalmente de cabelo, partículas de sabões, fibra de tecidos) e filtro fino (retenção dos precipitados e do material sedimentado). Os filtros utilizados nesse mesmo experimento necessitavam de limpezas periódicas com duração de 15 a 20 min,

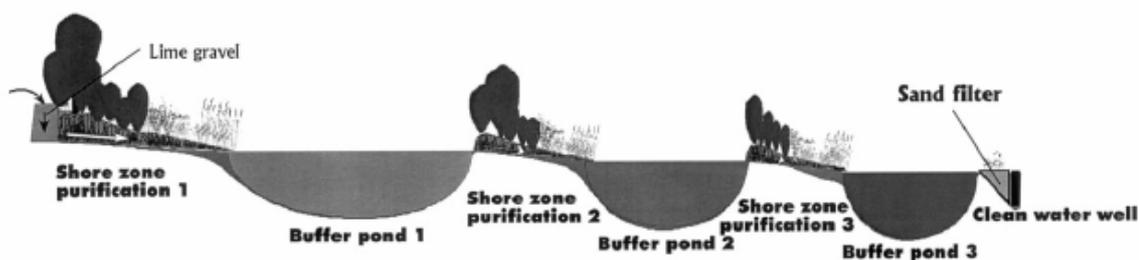
uma ou duas vezes na semana, dependendo das atividades dentro das residências. Os resíduos eram dispostos na rede de esgoto ou em latas de lixo.

Os sistemas de membrana oferecem uma barreira permanente para as partículas suspensas de dimensões superiores ao material da membrana, que podem variar de 0,5 $\mu$ m, para membranas de microfiltração (MF), até as dimensões moleculares utilizadas para osmose reversa. Apesar dos sistemas de membranas gerarem efluentes com baixíssima turbidez e densidade de coliformes abaixo do limite de detecção, eles apresentam a desvantagem de requererem elevadas demandas de energia (JEFFERSON et al., 1999).

### **3.8.3 Sistemas biológicos**

O tratamento biológico de água cinza é requerido para remover o material biodegradável e é indicado especialmente para sistemas de reúso que possuem grandes redes de distribuição. No Japão, processos com biorreatores de membranas (do inglês MBR) têm sido muito empregados em sistemas de reúso de água em edifícios residenciais e comerciais (KISHINO et al., 1996). Esses processos MBR combinam reatores de lodo ativado com membranas de microfiltração.

Um edifício na Universidade de Kalmar, na Suécia, com capacidade para 500 alunos, foi equipado com sistema reúso de água cinza (GÜNTHER, 2000). O tratamento utilizando era composto por sistemas de lagoas e *wetlands*, denominados de *wetparks* (parque molhado). A água cinza gerada no prédio, originada da lavagem de mão e de pratos, era disposta nas raízes da vegetação plantada e armazenada em uma lagoa até atingir a outra margem. Esse processo repetia-se por três vezes para se conseguir uma grande redução de bactérias patogênicas, DBO e nutrientes (Tabela 3-4). Após a última lagoa, a água seguia para um filtro de areia e era coletada em um reservatório (Figura 3-12). O tempo de detenção desse sistema era bastante elevado devido às baixas temperaturas durante o inverno. De acordo com Günther (2000), os *wetparks*, além de proporcionarem o tratamento da água cinza através de *wetlands* construídas, funcionavam também como parques para fins recreacionais.



FONTE: Günther (2000)

**Figura 3-12:** Sistema de wetpark para tratamento de água cinza

**Tabela 3-4:** Resultados obtidos no sistema wetpark para tratamento de água cinza

| Amostras           | DBO <sub>5</sub><br>(mg/L) | Nitrogênio<br>(mg/L) | Fósforo (mg/L) | Coliformes<br>termotolerantes<br>(cfu/100mL) | Estreptococos<br>fecais<br>(cfu/100mL) |
|--------------------|----------------------------|----------------------|----------------|--|--|
| Água cinza bruta   | 47                         | 3,72                 | 3,73           | $9,4 \times 10^4$                            | $3,6 \times 10^4$                      |
| Pond 1             | 0,5                        | 0,975                | 0,372          | $2,5 \times 10$                              | $3,61 \times 10^2$                     |
| Pond 2             | 0                          | -                    | -              | $9,6 \times 10$                              | $4,32 \times 10^2$                     |
| Pond 3             | 0,8                        | 1,9                  | 0,02           | $1,1 \times 10$                              | $1,5 \times 10$                        |
| Reservatório final | 0                          | 1,618                | 0,022          | $1,72 \times 10^2$                           | $4,3 \times 10$                        |

FONTE: Adaptado de Günther (2000)

### 3.9 Desenvolvimento de processos aeróbios e anaeróbios no Brasil

Nos últimos anos, diversas pesquisas no âmbito do PROSAB 2 observaram que as associações do tipo anaeróbio + aeróbio poderiam constituir-se em uma tecnologia tão eficiente na remoção de matéria orgânica quanto os sistemas simplesmente aeróbios de tratamento de esgoto. Com a vantagem de ocuparem um espaço notoriamente inferior e reduzirem significativamente os gastos com energia elétrica.

As associações anaeróbio+aeróbio são também soluções bastante inteligentes para a difícil questão do manuseio e disposição final dos lodos aeróbios, uma vez que estes podem ser encaminhados para que sofram adensamento e digestão no reator anaeróbio. Assim, observa-se que não há necessidade de digestores exclusivos para estabilização do lodo aeróbio excedente (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994), acarretando vantagens operacionais e levando a uma considerável economia de custos. Outro atrativo está relacionado à possibilidade

de aproveitamento do potencial energético do biogás gerado, para alimentação dos equipamentos eletromecânicos

Pela análise da Tabela 3-5, pode-se observar algumas vantagens quando os sistemas aeróbios são combinados com sistemas anaeróbios (reator UASB). A combinação do UASB com lagoa de polimento apresenta como vantagem principal a redução dos requisitos de área, quando comparado com a utilização apenas de lagoa facultativa. Essa vantagem é muito importante quando se trata de implantar estações de tratamento dentro de áreas urbanas, onde espaço físico é limitado.

Já a combinação de reatores UASB com sistemas de lodos ativados ou filtros biológicos aerados submersos apresentam uma redução significativa do consumo de energia elétrica (potência) e da produção anual de lodo. Von Sperling et al. (2001) observaram uma economia de 30% no volume total das unidades e 70% no consumo de energia para aeração, através da conversão de um sistema de tratamento aeróbio tipo lodos ativados aeração prolongada para um sistema constituído por uma associação entre UASB e lodos ativados, sendo assegurados os padrões de qualidade do efluente final.

**Tabela 3-5:** Característica típica de alguns sistemas de tratamento de esgoto aeróbio e combinações anaeróbio+ aeróbio

| Sistemas                                   | Área (m <sup>2</sup> /hab) | Potência para aeração      |                                  | Volume de lodo                         |   | Custos               |                          |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|--|---|----------------------|--------------------------|
|  |                            | Potência instalada (W/hab) | Potência consumida (kWh/hab.ano) | Lodo líquido a ser tratado (L/hab.ano) | Lodo desidratado a ser disposto (L/hab.ano) | Instalação (R\$/hab) | Manutenção (R\$/hab.ano) |
| Lagoa facultativa                          | 2,0 - 4,0                  | 0,0                        | 0,0                              | 38 - 90                                | 15 - 30                                     | 40 - 80              | 2,0 - 4,0                |
| UASB + Lagoa de polimento                  | 1,5 - 2,5                  | 0,0                        | 0,0                              | 150 - 250                              | 10 - 35                                     | 40 - 70              | 4,5 - 7,0                |
| Lodos ativados convencional                | 0,12 - 0,25                | 2,5 - 4,5                  | 18 - 26                          | 1100 - 3000                            | 35 - 90                                     | 100 - 160            | 10 - 20                  |
| UASB + Lodos ativados                      | 0,08 - 0,2                 | 1,8 - 3,5                  | 14 - 20                          | 180 - 400                              | 15 - 60                                     | 70 - 110             | 7,0 - 12                 |
| Biofiltro aerado submerso com nitrificação | 0,1 - 0,15                 | 2,5 - 4,5                  | 18 - 26                          | 1100 - 3000                            | 35 - 90                                     | 70 - 120             | 8,0 - 15                 |
| UASB + Biofiltro aerado submerso           | 0,05 - 0,15                | 1,8 - 3,5                  | 14 - 20                          | 180 - 400                              | 15 - 55                                     | 65 - 100             | 7,0 - 12                 |

FONTE: Adaptado de von Sperling (2005)

### 3.9.1 Associação UASB + Biofiltros

Configurações de ETEs associando em série reatores UASB e BFs já têm sido objeto de pesquisa pela UFES desde 1996 (BOFF, 1996; VERONEZ, 2001). No Brasil, associações em série de reatores UASB e biofiltros aerados submersos (BF) já são utilizadas largamente como solução para o tratamento de esgoto em pequenos e médios municípios (GONÇALVES, et al., 2001).

Uma descrição sucinta desses dois sistemas de tratamento, baseada em von Sperling (2005), está apresentado a seguir:

- **Reator UASB**

Nos reatores UASB, a biomassa cresce dispersa e não-aderida a um meio-suporte, como no caso de filtros anaeróbios. A concentração de biomassa no reator é bastante elevada e por isso seu volume requerido é bastante reduzido, em comparação com outros sistemas de tratamento.

O líquido entra no fundo do reator e segue em fluxo ascendente passando pelo leito de lodo, onde grande parte da matéria orgânica é adsorvida pela biomassa. Como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases (principalmente metano e gás carbônico). A parte superior do reator apresenta uma estrutura (geralmente cônica) que possibilita as funções de separação e acúmulo de gás e de separação e retorno dos sólidos (biomassa). Essa estrutura é denominada separador trifásico, por separar o líquido, os sólidos e os gases. O gás é coletado na parte superior do reator e pode ser reaproveitado (energia do metano) ou queimado. Os sólidos se sedimentam, deslizando pelas paredes do separador. Dessa forma, tem-se a retenção de grande parte da biomassa no sistema, alcançada por simples retorno gravitacional. Devido à elevada retenção de sólidos, a idade do lodo é bastante elevada, e o tempo de detenção hidráulica pode ser bastante reduzido (da ordem de 6 a 10 horas). O efluente sai, então, do compartimento de sedimentação relativamente clarificado, e a concentração de biomassa no reator é mantida elevada.

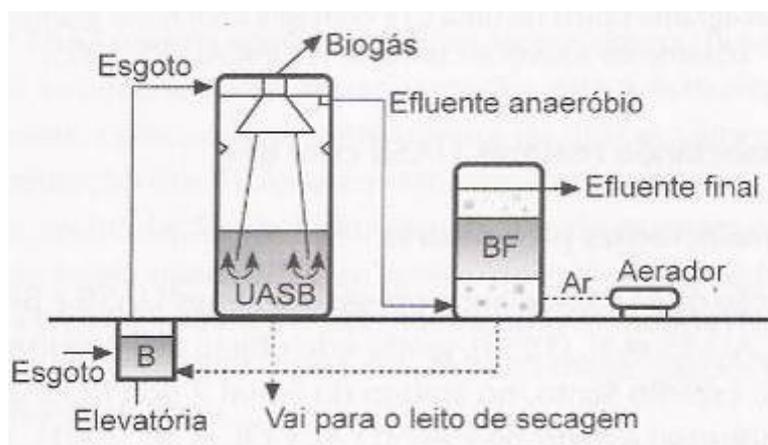
- **Biofiltro**

O biofiltro aerado submerso é constituído por um tanque preenchido com material poroso, através do qual esgoto e ar fluem permanentemente. O biofiltro é, portanto, um reator trifásico, composto por: fase sólida - constituído pelo meio-suporte e pelas colônias de microrganismos que nele se desenvolvem; fase líquida - composta pelo líquido em permanente escoamento em meio poroso; fase

gasosa - formada pela aeração artificial e, em reduzida escala, pelos gases subprodutos da atividade biológica.

Os biofiltros aerados submersos podem ser constituídos com meios granulares (BF) ou com meios estruturados (FBAS). Ambos realizam, no mesmo reator, a remoção de compostos orgânicos solúveis e de partículas em suspensão presentes no esgoto. No caso dos BFs, o material granular, além de servir de meio suporte para os microrganismos, constitui-se também de um eficaz meio filtrante. O mesmo não ocorre com o FBAS, que precisa de decantadores secundários para retenção da biomassa em suspensão. Entretanto, os BFs necessitam de lavagens periódicas para eliminar o excesso de biomassa acumulada no meio suporte. Durante a lavagem, com a alimentação do esgoto interrompida ou não, são realizadas diversas descargas hidráulicas seqüenciais de ar e água de lavagem.

Nos sistemas que associam os reatores supracitados (UASB + Biofiltro), o lodo proveniente da lavagem (BF) ou descarte do decantador secundário (FBAS) é retornado para dentro do reator UASB, onde o mesmo é adensado e digerido, conjuntamente com o lodo anaeróbio (Figura 3-13). O lodo misto resultante necessita apenas de desidratação. Como vantagem, há também a economia de energia nos biofiltros, advinda da maior eficiência de remoção de DBO nos reatores UASB.



FONTE: Gonçalves et al. (2001)

**Figura 3-13:** Croqui de uma ETE do tipo UASB + BFs

### **3.10 Sistemas anaeróbios + aeróbios em águas cinza**

A proposta desta pesquisa de utilizar a associação anaeróbia + aeróbia para o tratamento da água cinza é em virtude de suas características, apresentadas anteriormente. A principal delas é devido ao seu conteúdo orgânico ser facilmente biodegradável.

Outro fator que influenciou nessa escolha foram as condições climáticas favoráveis encontradas no Brasil. Em Vitória, onde o sistema foi implantado, as estações do ano não são bem definidas e as temperaturas variam de 18 a 38°C ao longo de todo o ano. Essa faixa de temperatura é considerada ótima para o balanço entre o oxigênio dissolvido e a atividade biológica (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Segundo Günther (2000), um dos problemas para a adoção de sistemas biológicos na Suécia são as baixas temperaturas que ocorrem durante o inverno, que acarretam na baixa atividade biológica e no potencial decréscimo da condutividade do efluente (causado pelo congelamento).

Diante desse contexto, a tecnologia adotada na pesquisa foi a combinação de um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) com um Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS). Esse tratamento foi ainda complementado com uma etapa de filtração terciária e de desinfecção.

#### **3.10.1 Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC**

O avanço da tecnologia de tratamento de esgotos em reatores UASB propiciou o surgimento de outros reatores similares baseados em sua concepção, de forma a aperfeiçoar a sua aplicação prática, procurando aproveitar todas as potencialidades dos processos anaeróbios: a formação e retenção de grande quantidade de biomassa e a melhoria do contato biomassa – esgoto.

O reator anaeróbio compartimentado (RAC) é uma das variantes do reator UASB. Ele tem sido estudado com o objetivo de reduzir ainda mais os custos de implantação e operação proporcionados pelos reatores UASB.

Constitui-se de um tanque de diversas câmaras dispostas em série, cada qual separada por paredes verticais, com separador trifásico na última câmara. O fluxo em cada câmara é vertical e ascendente. Em termos de processo, o reator compartimentado oferece a possibilidade de separar algumas fases do tratamento, como a digestão anaeróbia e a decantação, proporcionando um menor fluxo de sólidos para o compartimento de sedimentação e, conseqüentemente, um efluente anaeróbio mais clarificado.

Em reatores UASB convencionais, a ocorrência de grandes variações de vazões afluentes pode causar grandes velocidades ascensionais, particularmente nas aberturas para os compartimentos de decantação (CHERNICHARO e CARDOSO, 1999 apud SOARES et al., 2001). No reator UASB compartimentado, as variações de vazão são acomodadas em uma, duas ou três câmaras de digestão, fazendo com que as variações de velocidade ascensional em cada câmara sejam menores (BRITO et al., 2001). Apesar do bom desempenho dos reatores UASB, quanto à remoção de matéria orgânica com uma baixa produção de lodo em um tempo de detenção hidráulica baixo (horas), é necessária uma etapa posterior para a remoção complementar de matéria orgânica e principalmente de patógenos, que são pouco afetados pelo tratamento anaeróbio.

### **3.10.2 Filtro biológico aerado submerso - FBAS**

Os filtros biológicos aerados submersos (FBAS), também conhecidos como sistemas de aeração por contato, têm sido utilizados por mais de 50 anos no tratamento de esgoto sanitário. Pedra, coque, ripas de madeiras e material cerâmico eram alguns dos materiais suportes, utilizados no passado. Com o advento do material de contato feito de plástico, os filtros continuam atraindo o interesse de pesquisadores. Aisee e Além Sobrinho (2001) utilizaram um meio-suporte de material plástico estruturado em um FBAS utilizado como pós-tratamento de um reator UASB.

O FBAS pode operar com fluxo ascendente ou descendente e, como necessita de fornecimento de ar para aeração, este é feito por meio de difusores de bolhas grossas, colocados na parte inferior do filtro e alimentados por sopradores

(GONÇALVES et al., 2001). As bolhas de ar erodem o biofilme e previnem a colmatação do meio suporte. A turbulência também assegura o bom contato entre o substrato e os microorganismos (RUSTEN, 1984 apud AISEE e ALÉM SOBRINHO, 2001). O biofilme que se desprende do meio deve ser removido em uma etapa de decantação secundária.

O FBAS foi adotado nessa pesquisa, por ser de mais fácil operação que os biofiltros com leito granular, pois não necessitam de lavagens periódicas.

### **3.11 Filtração terciária**

O objetivo da filtração terciária é remover partículas suspensas e coloidais do efluente secundário ou do esgoto quimicamente tratado. Isso é conseguido pela passagem do esgoto através de um meio granular ou por uma tela de malha fina.

O filtro perde sua eficiência, à medida em que os sólidos vão sendo removidos. O ciclo de filtração termina quando há um aumento excessivo da perda de carga ou quando há liberação de sólidos suspensos no efluente. Ocorrendo um desses fatores, é necessário realizar a limpeza do leito filtrante. Essa limpeza é realizada através da retrolavagem, um processo onde a água e ar passam em fluxo ascendente através do leito. A água de lavagem é então descartada contendo os sólidos que se encontravam retidos e o leito fica preparado para o próximo ciclo de filtração (SANTOS NETO et al., 2003).

### **3.12 Cloração**

Como a água cinza tratada nessa pesquisa será reutilizada para descarga de vasos sanitários, existem alguns riscos à saúde associados a respingos e aerossóis que ocorrem com o uso do toailete. Bortone et al. (1999) realizaram alguns testes para avaliar a difusão dos aerossóis em diferentes distâncias e alturas dos toaletes utilizando água cinza sintética com quantidades conhecidas

de *Lactobacilos delbrueckii bulgaricus* (microrganismos não-patogênicos geralmente presentes no corpo humano) (Tabela 3-6).

**Tabela 3-6:** Contagem microbiológica de *Lactobacillus bulgaricus* em amostras de aerossóis de descarga de toaletes

| Distâncias do toalete |          | Concentração<br>Afluente<br>(ufc/L) | Posição                          |                                  |                                   |
|-----------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Horizontal            | Vertical |                                     | Frontal<br>(ufc/m <sup>3</sup> ) | Direita<br>(ufc/m <sup>3</sup> ) | Esquerda<br>(ufc/m <sup>3</sup> ) |
| 20 cm                 | 160 cm   | 10 <sup>4</sup>                     | ND*                              | ND*                              | ND*                               |
| 20 cm                 | 160 cm   | 10 <sup>5</sup>                     | 5                                | 4                                | ND*                               |
| 20 cm                 | 160 cm   | 10 <sup>6</sup>                     | 8                                | 17                               | 4                                 |
| 10 cm                 | 30 cm    |                                     | 610                              | 2342                             | 3067                              |

\* Não-detectáveis

FONTE: Bortone et al. (1999)

A desinfecção é um processo para eliminar os organismos patogênicos, sem no entanto produzir uma água esterilizada. Existem dois fatores importantes no processo de desinfecção, o tempo de contato e a concentração do agente desinfetante.

O cloro e seus derivados apresentam alto poder oxidante e reagem com vários compostos presentes nos esgotos. A demanda de cloro, calculada pela diferença entre a dose inicial e o residual de cloro, é proveniente dessa variedade de reações nas quais o cloro é consumido por vários constituintes das águas residuárias e por decomposição. De modo simplificado, o cloro reage com a amônia para produzir uma série de compostos chamados cloraminas e, eventualmente, oxida a amônia em gás nitrogênio (N<sub>2</sub>). O mecanismo de reação é complexo, e os produtos variam com o pH, razão entre cloro adicionado e a amônia presente e o tempo de contato. A monocloramina (NH<sub>2</sub>Cl) e a dicloramina (NHCl<sub>2</sub>), denominadas cloro combinado, têm poder desinfetante, apesar de este ser inferior ao dos produtos resultantes da dissociação de qualquer forma de cloro na água, conhecidos como cloro livre (HOCl e OCl<sup>-</sup>). As reações com outros compostos inorgânicos, como o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), ocorrem imediatamente após a aplicação de cloro. Das reações com compostos orgânicos pode haver formação de trihalometanos (AISSE et al., 2003).

### **3.12.1 Clorador de pastilha**

O clorador de pastilha consiste em um dispositivo simples, confeccionado de materiais resistentes à corrosão química, que promove a abrasão de pastilhas de hipoclorito de cálcio armazenadas em seu interior pela passagem de água ou líquido a ser tratado, formando a solução clorada que será aplicada ao efluente a ser desinfetado (AISSE et al., 2003)

## **3.13 Estocagem**

A estocagem é um importante elemento em todos os sistemas de reúso de água cinza e ela se faz necessária em algum ponto desse sistema, seja ele antes do tratamento ou depois dele. Segundo Dixon et al. (1999), se a água cinza for estocada antes do tratamento, existe a vantagem de alguns sólidos primários ficarem retidos antes de chegarem ao tratamento, entretanto, há o risco da geração de maus odores e do crescimento de microrganismos. A água cinza quando estocada na sua forma bruta passa por significantes mudanças de qualidade. Dixon et al. (1999) propuseram hipoteticamente quatro principais processos que podem governar essas mudanças. A sedimentação de partículas suspensas e a depleção do oxigênio dissolvido (provavelmente causado pelo crescimento de biomassa aeróbia) são dominantes nas primeiras horas de estocagem. Os outros dois processos-chaves são a reaeração do oxigênio dissolvido na superfície da água (comandado pela variação de temperatura) e a liberação da DQO solúvel devido à degradação anaeróbia do material particulado sedimentado (teoria baseada principalmente pela observação do aumento da DQO, após alguns dias de estocagem e pela produção de maus odores confirmando a anaerobiose).

### **3.14 Normas e legislação e padrões vigentes acerca do reúso em edificações**

Existem dois tipos de norma: as que estabelecem limites de qualidade para a água a ser reutilizada e as que regulamentam o uso da prática de reúso.

A utilização de sistemas de reúso traz o ônus de alguém se tornar “produtor de água” e, portanto, responsável pela gestão tanto qualitativa quanto quantitativa desse insumo. Cuidados específicos devem ser considerados para que não haja risco de contaminação a pessoas ou produto, ou danos em equipamento (FIESP, 2005).

O reúso de água requer medidas efetivas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente, e ambas devem ser tecnicamente e economicamente viáveis. Existem diversos países com diferentes níveis de desenvolvimento e quantidade de água disponível. Assim, é interessante que normas sejam feitas sob medida para se ajustar o equilíbrio entre disponibilidade, tecnologia e risco (ANDERSON, 2001).

Os padrões de reúso de água variam bastante de um lugar para outro. A Tabela 3-7 relaciona uma série de normas internacionais que estabelecem requisitos mínimos de qualidade, em alguns casos até mesmo níveis de tratamento, para a água de reúso em ambientes urbanos.

Diversos países têm desenvolvido diferentes alternativas para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Todavia, o fator econômico é que governa a escolha de uma estratégia, principalmente com relação aos custos do tratamento e de monitoramento. Grande parte dos países desenvolvidos estabeleceu diretrizes conservativas, com baixo risco e utilizando tecnologias de alto custo, como os padrões californianos. Entretanto, isso nem sempre garante um baixo risco, em virtude da falta de experiência operacional. Um grande número de países em desenvolvimento adota outra estratégia de controle dos riscos à saúde, através de tecnologias de baixo custo baseadas nas recomendações do *World Health Organization* (WHO).

De acordo com o EPA (2004), não existe nenhuma regulamentação federal nos Estados Unidos relacionada diretamente para prática do reúso. Entretanto, diversos Estados, de maneira individual, desenvolveram regulamentações ou guias para esse fim. Alguns Estados, como por exemplo, a Califórnia, desenvolveram amplos regulamentos e guias especificando requisitos de qualidade e/ou processos de tratamento, para as várias aplicações da água de reúso. O reúso em descarga de vasos sanitários está na categoria de reúso irrestrito urbano.

No Brasil, até a presente data, existem apenas poucas legislações que incentivam a prática do reúso de água. As tabelas 3-8 e 3-9 mostram alguns limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários e algumas legislações que regulamentam o uso de fontes alternativas de água respectivamente.

Um fator de grande importância relativo ao reúso diz respeito aos aspectos estéticos da água reciclada. Neste caso, o reúso está vinculado ao “adorno arquitetônico, exigindo grau de transparência, ausência de cor, odor, espuma, ou qualquer outra substância ou componentes flutuantes” (FIESP, 2005). O manual elaborado pela FIESP (2005) recomenda para a água de reúso classe 1 a detecção do cloro residual combinado em todo sistema de distribuição e o controle de agentes tensoativos, devendo seu limite de detecção ser abaixo de 0,5mg/L.

**Tabela 3-7:** Limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários – normas internacionais

|                                  | Tratamento                         | PARÂMETROS   |  |               |                        |                            |                            |                                |                          |                            |   |
|----------------------------------|------------------------------------|--|--|---------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|---|
|                                  |                                    | pH   | DBO <sub>5</sub><br>(mg/L)                             | SST<br>(mg/L) | Turbidez<br>(NTU)      | Coli. Total<br>(ufc/100mL) | Coli. Fecal<br>(ufc/100mL) | Cloro livre<br>Cl <sub>2</sub> | Cloro residual<br>(mg/L) |                            |   |
| 1<br>EPA (uso urbano irrestrito) | Arizona                            | Secundário,<br>Filtração e<br>Desinfecção                  | -  | -             | -                      | 2 (méd)<br>5 (máx)         | -<br>23 (Máx)              | ND (méd)                       | -                        | -                          |   |
|                                  | Califónia                          | Oxidação,<br>Coagulação,<br>Filtração e<br>Desinfecção     | -  | -             | -                      | 2 (méd)<br>5 (máx)         | 2,2 (méd)<br>23 (Máx)      | -                              | -                        | -                          |   |
|                                  | Flórida                            | Secundário,<br>Filtração e<br>Alto nível de<br>Desinfecção | -  | 20            | 5                      | -                          | -                          | ND (75%)<br>25 (Máx)           | -                        | -                          |   |
|                                  | Hawaii                             | Oxidação,<br>Filtração e<br>Desinfecção                    | -  | -             | -                      | 2 (máx)                    | -                          | 2,2 (méd)<br>23 (Máx)          | -                        | -                          |   |
|                                  | Nevada                             | Secundário,<br>Desinfecção                                 | -  | 30            | -                      | -                          | -                          | 2,2 (méd)<br>23 (Máx)          | -                        | -                          |   |
|                                  | Texas                              | -  | -  | 5             | -                      | 3                          | -                          | 20 (méd)<br>75 (Máx)           | -                        | -                          |   |
|                                  | Washington                         | Oxidação,<br>Coagulação,<br>Filtração e<br>Desinfecção     | -  | 30            | 30                     | 2 (méd)<br>5 (máx)         | 2,2 (méd)<br>23 (Máx)      | -                              | -                        | -                          |   |
|                                  | 2                                  | Austrália  | Desinfecção  | -             | < 10 (90%)<br>20 (máx) | < 10 (90%)<br>20 (máx)     | -                          | <1                             | <10 (90%)<br>30 (Máx)    | 0,5-2,0 (90%)<br>2,0 (máx) | - |
|                                  | 3                                  | South Australia  | Secundário,<br>filtração<br>terciária e<br>desinfecção | -             | < 20                   | < 10                       | 2 (méd)<br>5 (máx)         | < 10                           | -                        | -                          | - |
|                                  | 4                                  | Alemanha -<br>guideline                                    |  | 6 - 9         | 20                     | 30                         | 1 - 2                      | 500                            | 100                      | -                          | - |
|                                  | WHO                                |  | -  | -             | -                      | -                          | 1000 (m)<br>200 (g)        | -                              | -                        | -                          |   |
| 5                                | Japão                              |  | 6 - 9  | 10            | -                      | 5                          | 10                         | 10                             | -                        | -                          |   |
| 6                                | Padrões<br>Canadenses<br>propostos |  | -  | 30            | 30                     | 5                          | 200                        | 200                            | -                        | > 1                        |   |

1 - EPA (2004)  
2- NSW health, 2005  
3 - Citado em: KAYAALP (1996)  
4 - Citado em: JEFFERSON (1999).

5 - Citado em: LAZAROVA (2003)  
6 - CMHC (2004)  
m - mandatory  
g - guideline

**Tabela 3-8:** Limites estabelecidos para reúso em descarga de vasos sanitários – normas brasileiras

| Parâmetros                   | Manual de "Consevação e reúso de água em edificações " Classe 1 (FIESP, 2005) | NBR 13.969/97 item 5.6.4 Classe 3 |
|------------------------------|---|-----------------------------------|
| pH                           | 6,0 - 9,0   | -                                 |
| Cor (UH)                     | ≤ 10  | -                                 |
| Turbidez (NTU)               | ≤ 2   | < 10                              |
| Óleos e Graxas (mg/L)        | ≤ 1   | -                                 |
| DBO (mg/L)                   | ≤ 10  | -                                 |
| Coliformes Fecal (NMP/100mL) | Não detectáveis   | < 500                             |
| Compostos Orgânicos Voláteis | Ausentes  | -                                 |
| Nitrato (mg/L)               | ≤ 10  | -                                 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L)  | ≤ 20  | -                                 |
| Nitrito (mg/L)               | ≤ 1   | -                                 |
| Fósforo Total (mg/L)         | ≤ 0,1   | -                                 |
| SST (mg/L)                   | ≤ 5   | -                                 |
| SDT (mg/L)                   | ≤ 500   | -                                 |

**Tabela 3-9:** Legislações brasileiras que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água

|                    | Água de Chuva   | Água cinza  | Esgoto Sanitário   |
|--------------------|---|---|--|
| <b>Contenção</b>   | Lei Nº 13.276/2002 -São Paulo/SP  | -   | -  |
| <b>Uso predial</b> | Lei Nº 10.785/2003 -Curitiba/PR<br>Lei Nº 13.276/2002 -São Paulo/SP<br>Lei Nº 6.345/2003 - Maringá/PR | Lei Nº 10.785/2003 -Curitiba/PR<br>Lei Nº 6.345/2003 - Maringá/PR | NBR 13.969/1997  |
| <b>Urbano</b>      | -   | -   | Lei Nº 6.076/2003 -Maringá/PR<br>Lei Nº 13.309/2002 -São Paulo/SP<br>NBR 13.969/1997 |

### 3.15 Riscos associados ao reúso de água em edificações

As questões econômicas de uma região são um fator-chave na escolha da filosofia dos padrões de qualidade, pois a redução do risco está associada a uma elevação do custo. Dessa forma, é necessário que se defina o tamanho do risco, ou o risco aceitável. Os países desenvolvidos tendem a adotar caminhos que levam ao “risco zero” e, com isso, fazem uso de tecnologias de custos mais elevados.

Os riscos à saúde incluem tanto os riscos microbiológicos quanto os riscos devido a agentes químicos. Os riscos devido a produtos químicos na água de reúso são oriundos da presença de compostos orgânicos, compostos radioativos e de

metais, entretanto, esses riscos são muito mais baixos do que os causados por microrganismos patogênicos (GREGORY et al., 1996). Em virtude disso, os modelos de avaliação de risco para o reúso não-potável são baseados nos riscos microbiológicos.

Existem duas formas de avaliação dos riscos à saúde (ANDERSON, 2001; GREGORY et al., 1996):

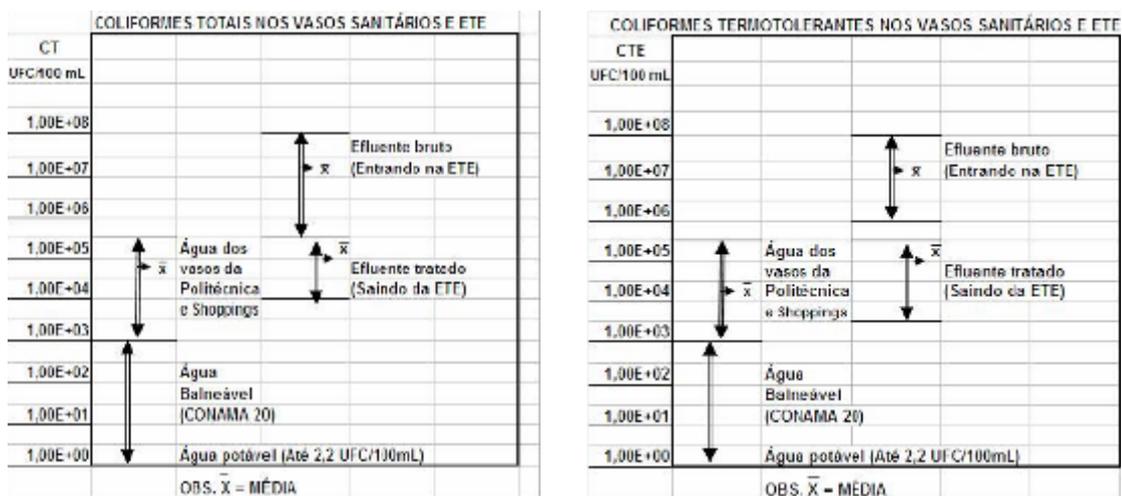
- *Avaliação quantitativa de riscos (AQR)*: utilizada quando a contagem de patógenos, a exposição da população e os dados de dose infecciosa são conhecidos. A AQR permite o cálculo teórico de riscos extremamente baixos que a comunidade está exposta com a prática do reúso. Ela é capaz de fornecer estimativas de riscos com duas ou mais ordens de magnitude inferior àqueles fornecidos por estudos epidemiológicos.
- *Riscos imputáveis (RI)*: Levam em consideração cadeias epidemiológicas, fatores físicos e sociais que afetam a probabilidade de desenvolvimento de doenças como um resultado da exposição à água de reúso. As diretrizes e padrões são então baseados no princípio da incorrência de nenhum incremento de risco para a população por meio da prática de reúso. Os riscos imputáveis não são tão sensíveis quanto o AQR na estimativa de risco, pois os estudos epidemiológicos são, por natureza, limitados.

Padrões ou diretrizes de reúso de água variam de acordo com o tipo de aplicação, com o contexto de cada região, e com os riscos oriundos dessa prática. Dependendo das especificações do projeto, irão existir diferentes requisitos de qualidade, processos de tratamento, critérios de operação e confiabilidade. Entretanto, o ponto de partida de qualquer projeto de reúso de água, independentemente do ponto de aplicação, é a segurança da saúde dos usuários. Por essa razão, os parâmetros microbiológicos são os que receberam a maior atenção nas regulamentações de reúso de água. Uma vez que é viável o monitoramento de todos os patógenos, indicadores biológicos específicos são utilizados para minimização desses riscos (EPA, 2004).

O governo da Austrália desenvolveu uma estratégia de gerenciamento nacional da qualidade da água (citado em ANDERSON, 2001). Essa estratégia inclui também um guia (*guideline*) para o uso de água reciclada. Esse guia estipulou quatro graus de qualidade para água reciclada em termos microbiológicos expressos pelo nível médio de coliformes fecais (CF) nela presentes, dependendo da intensidade do contato da água reciclada com o usuário:

- Contato alto: CF < 10 ufc/100ml
- Contato Médio: CF < 100 ufc/100ml
- Contato baixo: CF < 1000 ufc/100ml
- Acesso restrito: CF < 10000 ufc/100ml

Um estudo feito na Universidade Federal da Bahia (Escola Politécnica) avaliou a qualidade da água encontrada no selo hídrico de vasos sanitários de shopping centers de Salvador e da própria universidade (ORNELAS, 2004). Esse estudo mostrou que a qualidade da água dos selos hídricos coletados possui níveis de coliformes totais e termotolerantes equivalentes aos encontrados em efluentes tratados de estações de tratamento de esgoto (Figura 3-14).



FONTE: ORNELAS (2004)

**Figura 3-14:** Comparação entre coliformes totais e termotolerantes encontrados em vasos, efluente bruto e tratado

Diante desse contexto, os riscos potenciais aos quais os usuários estariam expostos, se utilizassem água de reúso em descarga de vasos sanitários, seriam, teoricamente, equivalentes aos riscos potenciais a que eles estão expostos na atual situação (com abastecimento de água potável). Um questionamento então pode ou deve ser feito: Os padrões para reúso em descarga de vasos sanitários precisam limitar a densidade de coliformes a níveis tão baixos? Quanto a água cinza precisa realmente ser tratada para ser reutilizada?

## ***4. Material e Métodos***

### **4.1 Contextualização da pesquisa**

Esta pesquisa fez parte de um projeto de pesquisa da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) financiado pelo edital 4/2004 do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), integrante da rede temática nº 05, que trata de novas tecnologias para minimização do consumo de água potável. Ela foi realizada no período de janeiro de 2004 a setembro de 2005, no Parque Experimental de Saneamento Básico da UFES, localizado no Campus Universitário de Goiabeiras, Vitória - Espírito Santo – Brasil.

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas:

- Caracterização qualitativa da água cinza segregada;
- Caracterização quantitativa da produção e da demanda de água cinza de uma edificação de ensino;
- Desempenho da estação de tratamento de água cinza para reúso em uma edificação de ensino.

### **4.2 Caracterização qualitativa da água cinza segregada**

Para a realização da caracterização qualitativa da água cinza segregada, foram coletadas e analisadas separadamente águas cinza provenientes de lavatório, chuveiro, pia de cozinha, tanque e de máquina de lavar roupa. Foi analisada também uma amostra composta preparada em laboratório, misturando frações da

água cinza coletada, proporcionais aos consumidos dentro de residências (40% chuveiro, 10% lavatório, 15% tanque, 15% máquina de lavar, 20% pia da cozinha). Essas porcentagens foram estabelecidas tendo como base os dados de distribuição de consumo de água de um prédio da Universidade de São Paulo (USP), de uma residência da Companhia de Desenvolvimento Habitacional Urbano (CDHU) e de uma simulação feita pela empresa de louças e peças sanitárias (DECA). Devido à escassez de dados brasileiros a esse respeito, foram utilizados também dados de alguns países europeus, dos Estados Unidos e da Austrália para a determinação dessas porcentagens (Tabela 4-1).

**Tabela 4-1:** Consumo de água potável e de água cinza por aparelho sanitário

| Setor da residência    | Simulação DECA* |            | Prédio USP* |            | CDHU  |            | Austrália (NSWhealth, 2000) |            | Dinamarca (Jensen, 1991)** |            | Holanda (IWSA, 1993)** |            | EUA (EPA, 1992) |            |
|------------------------|-----------------|------------|-------------|------------|-------|------------|-----------------------------|------------|----------------------------|------------|------------------------|------------|-----------------|------------|
|                        | Total           | Água cinza | Total       | Água cinza | Total | Água cinza | Total                       | Água cinza | Total                      | Água cinza | Total                  | Água cinza | Total           | Água cinza |
| <b>Bacia sanitária</b> | 14%             |            | 29%         |            | 5%    |            | 32%                         |            | 20%                        |            | 32%                    |            | 41%             |            |
| <b>Banheiro</b>        | 58%             | 68%        | 34%         | 48%        | 61%   | 64%        | 38%                         | 55%        | 30%                        | 43%        | 35%                    | 58%        | 33%             | 56%        |
| Pia                    | 12%             | 14%        | 6%          | 8%         | 7%    | 7%         | 5%                          | 7%         | 10%                        | 14%        |                        |            |                 |            |
| Chuveiro               | 47%             | 54%        | 28%         | 39%        | 54%   | 57%        | 33%                         | 48%        | 20%                        | 29%        | 29%                    | 48%        | 33%             | 56%        |
| Banheira               |                 |            |             |            |       |            |                             |            |                            |            | 6%                     | 10%        |                 |            |
| <b>Cozinha</b>         | 15%             | 17%        | 22%         | 31%        | 20%   | 21%        | 8%                          | 11%        | 25%                        | 36%        | 7%                     | 11%        | 5%              | 8%         |
| Pia de cozinha         | 15%             | 17%        | 17%         | 24%        | 17%   | 18%        |                             |            | 5%                         | 7%         |                        |            | 5%              | 8%         |
| Máq de lavar louça     |                 |            | 5%          | 7%         | 3%    | 3%         |                             |            | 20%                        | 29%        | 7%                     | 11%        |                 |            |
| <b>Área de serviço</b> | 13%             | 16%        | 15%         | 21%        | 14%   | 15%        | 23%                         | 34%        | 15%                        | 21%        | 19%                    | 31%        | 21%             | 36%        |
| Máq de lavar roupa     | 8%              | 10%        | 9%          | 13%        | 4%    | 4%         |                             |            | 15%                        | 21%        | 19%                    | 31%        | 21%             | 36%        |
| Tanque                 |                 |            | 6%          | 8%         | 10%   | 11%        |                             |            |                            |            |                        |            |                 |            |
| Torneira de uso geral  | 5%              | 6%         |             |            |       |            |                             |            |                            |            |                        |            |                 |            |
| <b>Outros</b>          |                 |            |             |            |       |            |                             |            | 10%                        | 14%        | 7%                     | 11%        |                 |            |
| Outros                 |                 |            |             |            |       |            |                             |            |                            |            | 7%                     | 11%        |                 |            |
| Lavagem de carro       |                 |            |             |            |       |            |                             |            | 10%                        | 14%        |                        |            |                 |            |

\* Disponível na Homepage da Deca

\*\* Citado em Tomaz (2000)

### 4.2.1 Pontos de coleta

A coleta das amostras foi realizada semanalmente durante o período da manhã e as análises iniciavam-se no período da tarde. Foi realizado um total de nove coletas.

As amostras de chuveiro, tanque e máquina de lavar foram coletadas em residências onde moravam apenas pessoas adultas. Os volumes coletados para cada amostra foram de 15 litros, sendo 5 litros somente para a análise de ovos de helmintos e os outros 10 para o preparo da amostra misturada e para as análises físico-químicas. Para a análise de *E. coli* e coliformes totais, a coleta foi feita com frascos plásticos autoclavados de 100ml.

#### 4.2.1.1 Lavatório

As amostras de lavatório foram coletadas no banheiro feminino do Laboratório de Saneamento da UFES. Essa coleta foi feita desviando-se o efluente da pia através de uma tubulação adaptada ao sifão para uma bombona de 50L (Figura 4-1). A abertura da coleta tinha início aproximadamente às 8h da manhã e término após o almoço, aproximadamente às 14h. Esse horário foi escolhido, por ser o período de maior movimento de pessoas escovando os dentes e lavando as mãos.



Figura 4-1: Coleta da amostra do lavatório

#### 4.2.1.2 Pia de cozinha

Foram coletadas amostras simples na caixa de gordura da cantina/restaurante do Centro Tecnológico da UFES. A coleta era feita com um *becker* e a água era armazenada em um balde (figura 4-2), em dois horários diferentes: o primeiro, quando os alimentos ainda estavam sendo preparados (~11h30) e o segundo, quando um volume grande de louça estava sendo lavado (~13h30).



**Figura 4-2:** Coleta da amostra de cozinha

#### **4.2.1.3 Chuveiro**

As amostras de chuveiro foram coletadas durante o banho de um ou mais moradores da residência. Uma banheira plástica de aproximadamente 40 litros serviu de reservatório para coletar toda a água proveniente do banho (Figura 4-3), posteriormente transferida para reservatório plástico de 10 litros.



**Figura 4-3:** Coleta da amostra de chuveiro

#### **4.2.1.4 Máquina de lavar roupa**

As amostras de máquina de lavar foram coletadas direcionando-se a mangueira de saída da máquina para um balde (Figura 4-4). O programa de lavagem escolhido (lavar, enxaguar e centrifugar) era composto por três ciclos. No primeiro e no segundo, ocorria a adição de sabão em pó, e no terceiro, era adicionado amaciante. A água descartada de cada ciclo era coletada em um balde diferente e, posteriormente, proporções iguais da água coletada dos três ciclos eram misturadas e colocadas em um reservatório plástico de 10 litros.



Figura 4-4: Coleta da amostra de máquina de lavar

#### 4.2.1.5 Tanque

Na residência onde foi realizada a coleta, o tanque era utilizado para lavagem de roupas mais finas e também para lavagem de peças muito sujas antes de serem colocadas na máquina (Figura 4-5). As roupas eram lavadas em bacias e a água utilizada era posteriormente colocada em um reservatório plástico de 10 litros.



Figura 4-5: Coleta da amostra de tanque

#### 4.2.2 Análises laboratoriais

Após o término da coleta, as amostras foram acondicionadas e transportadas em reservatórios plásticos para o laboratório de saneamento da UFES, onde eram realizadas as análises (Figura 4-6).



**Figura 4-6:** Transporte das amostras em bombonas

Antes do início das análises, a amostra composta era preparada de acordo com a descrição já apresentada anteriormente (40% chuveiro, 10% lavatório, 15% tanque, 15% máquina de lavar, 20% pia da cozinha).

#### **4.2.2.1 Análises físico-químicas**

Os parâmetros físico-químicos analisados foram pH, temperatura, OD, turbidez, alcalinidade, condutividade elétrica, dureza, cloreto, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, ST, O&G, P<sub>t</sub>, NTK, N-NH<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, S<sup>-2</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

As técnicas de análises laboratoriais obedeceram aos procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 19ª Edição (APHA et al., 1995) e encontram-se referenciadas no Anexo A.

#### **4.2.2.2 Análises microbiológicas**

A densidade de *E. coli* foi avaliada através da determinação do número mais provável (NMP), utilizando-se meio cromofluorogênico (LMX), com quantificação por meio de cartelas.

Para detecção dos ovos de helmintos foi utilizada a técnica de incubação para efluentes (ZERBINE e CHERNICHARO, 2001), onde as amostras passam pelas

seguintes etapas: sedimentação, centrifugações sucessivas com solução salina (NaCl 0,85%), flutuação com solução de sulfato de zinco (densidade 1,18), filtração em membrana de 47mm e 0,45 $\mu$ m de porosidade e incubação a 28°C durante 28 dias. Após os 28 dias de incubação, a contagem é realizada utilizando-se uma câmara de Sedgewick Rafter, com observação no microscópio dos ovos viáveis (com larva) e não-viáveis.

### **4.2.3 Análises estatísticas**

A análise estatística dos resultados físico-químicos e microbiológicos foi realizada utilizando o software Excel para obtenção da estatística descritiva dos parâmetros analisados (média, desvio padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação).

## **4.3 Descrição da edificação com reúso da UFES**

Uma edificação localizada no Parque Experimental de Saneamento Básico da UFES foi utilizada para implantação do sistema de monitoramento do consumo de água e da estação de tratamento de água cinza (ETAC) (Figura 4-7). Ele contém duas salas de professores com banheiros individuais e dois banheiros coletivos (masculino e feminino). Os banheiros individuais possuem um vaso sanitário e um lavatório. Os banheiros coletivos possuem dois vasos sanitários, dois lavatórios e um chuveiro. O banheiro masculino possui ainda dois mictórios.

O projeto hidro-sanitário desse prédio foi desenvolvido com algumas particularidades:

- segregação das águas residuárias. As águas cinza, águas negras (provenientes dos vasos sanitários) e águas amarelas (provenientes dos mictórios) utilizam tubulações distintas e são conduzidas a tratamentos diferenciados (Figura 4-8).

- abastecimento de água com rede dupla, uma de água potável, destinada a atender a lavatórios e chuveiros, e outra de água de reúso, que abastece os vasos sanitários e mictórios (Figura 4-9).



Figura 4-7: Edificação localizada no parque experimental de saneamento da UFES

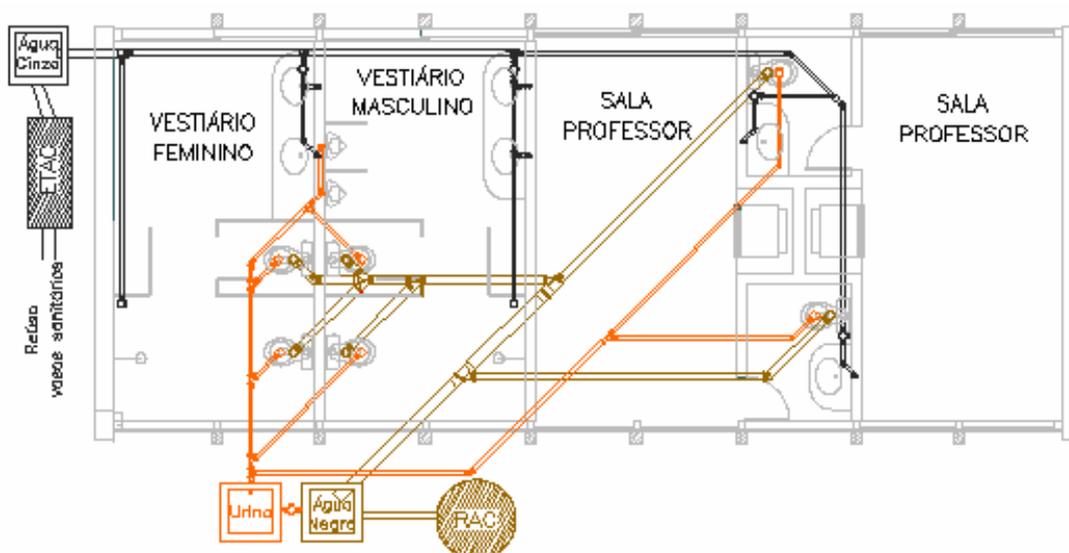


Figura 4-8: Projeto hidro-sanitário de esgoto da edificação da UFES

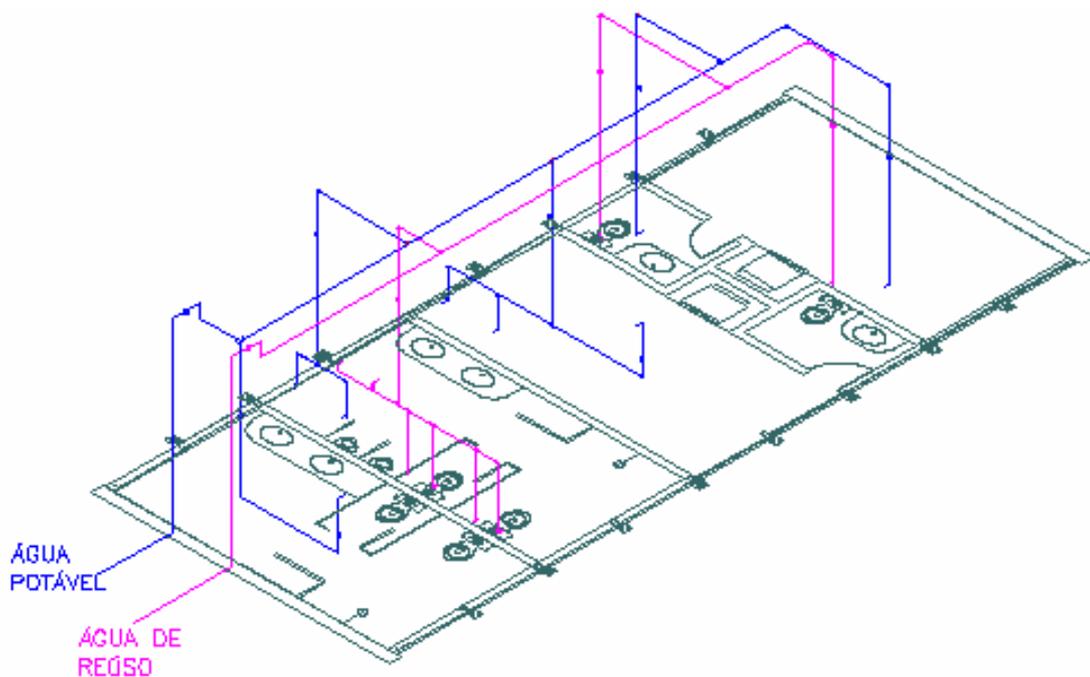


Figura 4-9: Isométrico de água da edificação da UFES

### 4.3.1 Funcionamento do prédio

Por se tratar de uma edificação dentro de uma instituição de ensino o horário de funcionamento do prédio é de acordo com o período de trabalho dos pesquisadores e professores. Em geral, esse horário é de 8:00 às 18:00h com duas horas de intervalo para almoço (12h às 14h).

## 4.4 Sistema de reúso de água cinza

Os lavatórios e chuveiros eram abastecidos pela água potável que está armazenada no reservatório superior de água potável (RSAP), antes de ser distribuída. A água cinza gerada pelo uso desses aparelhos era encaminhada à elevatória de água cinza bruta (EACB) e bombeada para dentro da estação, passando primeiramente pelo Reator anaeróbico compartimentado (RAC) e seguindo pelo Filtro biológico aerado submerso (FBAS), pelo decantador secundário (DEC) e pelo filtro terciário (FT) na seqüência. Após a saída da estação a água cinza seguia ainda para uma etapa de desinfecção por cloro, que ocorria dentro da própria elevatória de água cinza tratada (EACT). A água cinza

então, depois de clorada, era bombeada para o reservatório superior de água de reúso de onde era distribuída para os vasos sanitários e mictórios.

A água utilizada para lavagem do filtro terciário era a própria água cinza tratada que ficava armazenada no reservatório superior de água de reúso.

O lodo armazenado no decantador secundário e a água utilizada na lavagem do FT eram direcionados para a EACB quando descartados.

A figura 4-10 mostra o fluxograma do sistema de reúso do prédio da ETE-UFES.

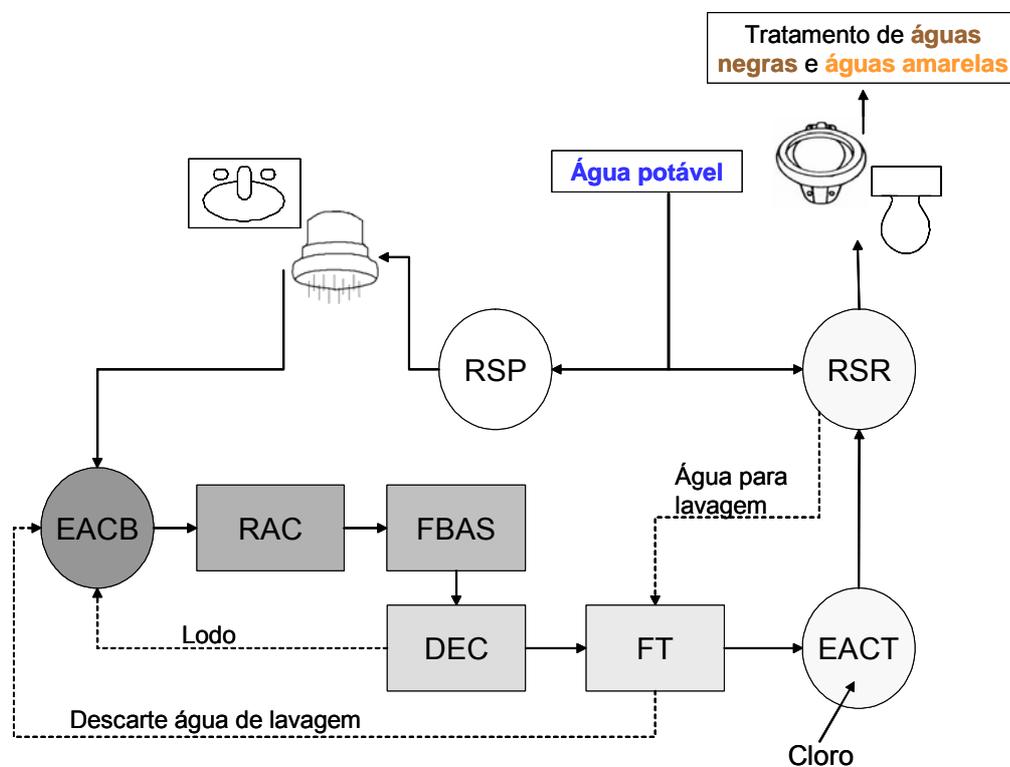


Figura 4-10: Fluxograma do sistema de reúso

#### 4.4.1 Descrição da Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC)

A estação de tratamento de águas cinza (ETAC) foi dimensionada para tratar as águas cinza produzidas por 60 pessoas (24L/hab.dia). Ela é composta por um RAC - reator anaeróbico compartimentado (1,08m<sup>3</sup>), um FBAS - filtro biológico aerado submerso (0,2m<sup>3</sup>), um DEC - decantador de placas (0,27m<sup>3</sup>), e um FT - filtro terciário (0,17m<sup>3</sup>). Esta ETAC foi construída em fibra de vidro, com estrutura compartimentada, contendo os quatro processos citados em volume único, com

dimensões totais de 0,6m x 1,7m x 2,2m (Figuras 4-11 a 4-13). O dimensionamento detalhado da ETAC encontra-se no anexo B.

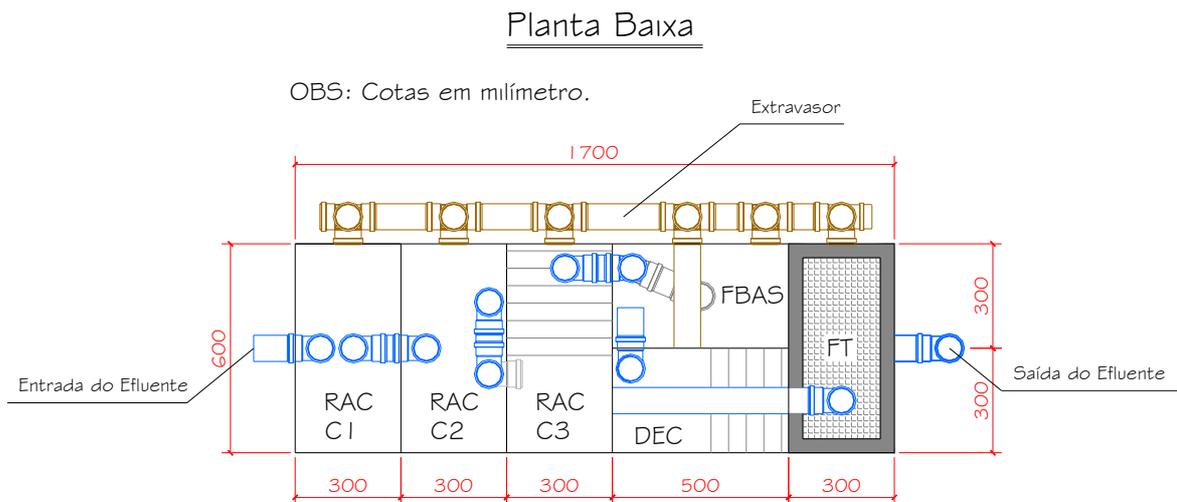
O fluxo da estação ocorre de acordo com os usos dos lavatórios e chuveiros dentro prédio.



**Figura 4-11:** Vista superior da ETAC



**Figura 4-12:** Vista frontal da ETAC



**Figura 4-13:** Planta baixa ETAC

#### **4.4.1.1 Reator anaeróbio compartimentado (RAC)**

O reator anaeróbio compartimentado possui forma prismática com dimensões totais de 0,6m x 0,9m x 2,10m. Ele subdivide-se em três compartimentos de mesmo volume (0,36m<sup>3</sup>).

A água cinza entra pela parte superior do primeiro compartimento e é encaminhada por meio de tubulação vertical até 10cm do fundo, de onde segue em fluxo ascendente até a parte superior da segunda câmara. O efluente segue para as demais câmaras da mesma forma.

Na primeira e na segunda câmara ocorre a etapa de digestão, pois é onde se localiza a manta de lodo e ocorrem, principalmente, as reações de estabilização de matéria orgânica.

A terceira câmara ocorre a etapa de sedimentação. Ela possui um decantador lamelar composto por placas paralelas e eqüidistantes, formando um ângulo de aproximadamente 50° com a horizontal. Na tampa do reator existe uma saída para o biogás.

Cada compartimento possui 3 torneiras nas alturas de 0,1m, 0,8m e 1,5m, a partir do fundo do reator, possuindo 9 torneiras no total. Elas foram colocadas para avaliação do perfil de lodo dentro do reator e para eventuais descartes do

mesmo. No decorrer da pesquisa, não houve necessidade de realizar nenhum descarte de lodo do RAC.

Para a partida do RAC foi colocado lodo de um Reator UASB na primeira câmara até altura de 0,8m (aproximadamente 140L). Este reator UASB, também se localiza no parque experimental ETE-UFES e trata esgoto sanitário de um bairro de classe média alta próximo ao campus universitário.

O RAC, além de tratar água cinza, também digere anaerobiamente o lodo aeróbio e o lodo terciário que são recirculados para a elevatória de água cinza bruta no momento do descarte do decantador e da lavagem do filtro terciário. Esses procedimentos serão detalhados mais adiante.

#### **4.4.1.2 Filtro biológico aerado submerso (FBAS)**

O polimento do efluente do RAC é realizado em um filtro biológico aerado submerso (FBAS). Ele possui dimensões totais de 0,3m x 0,5m x 2,2m e altura do leito de 1,38m.

Esse filtro funciona em fluxo normal ascendente e o seu leito é fluidizado. Possui meio-suporte composto por material plástico, onde as colônias de microorganismos responsáveis pela degradação biológica se fixam.

No FBAS não há retenção física da biomassa pela ação da filtração, sendo necessária uma etapa de decantação secundária para remoção do biofilme de excesso que cresce ao redor do meio suporte. Entretanto, ele não precisa ser retrolavado (autolimpante), suprimindo, assim, operações e instrumentações mais complexas e de maior custo.

O suprimento de ar é feito através de um compressor (Marca: Schulz S. A., Modelo: MSI 5,2ML) de forma contínua, a uma vazão de aproximadamente 1,4Nm<sup>3</sup>/h na maior parte do tempo.

- **Caracterização do meio suporte**

O meio suporte utilizado foi de material plástico, composto de conduítes elétricos corrugados de diâmetro de 1", cortados em pedaços de aproximadamente 2cm (Figura 4-14). Eles foram escolhidos por serem bem leves e por possuírem maior superfície específica, quando comparados com a brita.



**Figura 4-14:** Meio suporte utilizado no FBAS

Para caracterização do meio suporte foi realizado o seguinte procedimento (Figura 4-15):

- ✓ contabilização de quantos conduítes cabem em um recipiente de volume conhecido;
- ✓ tarar a balança com o recipiente utilizado;
- ✓ pesar o recipiente com os conduítes;
- ✓ encher o recipiente com água sem tirar os conduítes e pesar novamente;
- ✓ medir o volume de água que foi colocado no recipiente;
- ✓ repetir as etapas acima de 3 a 5 vezes;
- ✓ medir as dimensões de um conduíte.

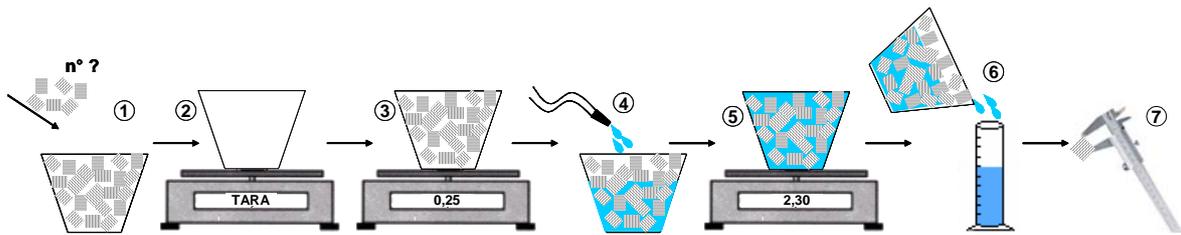


Figura 4-15: Esquema de caracterização do meio suporte

Com esses dados foi possível fazer um cálculo estimado da área superficial específica, da porosidade e da massa específica desse meio suporte (Tabela 4-2).

Tabela 4-2: Característica do meio suporte

| Meio suporte | Área superficial específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) | Porosidade (%) | Massa específica (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|---|----------------|---------------------------------------|
| Conduíte     | 202   | 92%            | 53                                    |

#### 4.4.1.3 Decantador secundário (DEC)

O decantador secundário opera em fluxo ascendente e possui 5 placas paralelas, eqüidistantes e inclinadas a 55° em relação à horizontal. Suas dimensões totais são de 0,3m x 0,5m x 2,1m. Ele possui o fundo em forma de tronco de pirâmide, para facilitar o depósito do lodo e sua posterior remoção.

- **Operação de descarte do lodo aeróbio**

O descarte do lodo aeróbio acumulado no decantador foi realizado semanalmente através do acionamento de uma bomba de máquina de lavar e retornado para elevatória de água cinza bruta, entrando novamente no tratamento (Figura 4-16). O acionamento da bomba era feito manualmente, embora o tempo de descarte fosse programado, através de um Sistema de Controle Programável (SCP). Esse tempo era de 1,0min, representando um volume de descarte de aproximadamente 23L.



Figura 4-16: Bomba utilizada no descarte do lodo aeróbio

#### **4.4.1.4 Filtro terciário (FT)**

O filtro terciário é a unidade de polimento do tratamento biológico e sua finalidade é, principalmente, a retenção de sólidos suspensos remanescentes.

O FT opera em fluxo descendente, possui dimensões totais de 0,3m x 0,6m x 2,10m e um volume útil de 0,17m<sup>3</sup>, composto por uma tela de aço inox que fica perpendicular ao fluxo, funcionando como uma peneira.

- **Operação de lavagem**

A lavagem do FT era feita com ar e água no fluxo ascendente, ou seja, contrária ao fluxo no filtro. O suprimento de ar vinha de um compressor e era disponibilizado para o FT através de uma válvula solenóide. A água para a lavagem vinha do reservatório superior de água cinza tratada e era liberada para o filtro através de uma válvula pneumática. A água descartada da lavagem (lodo terciário) retornava para a caixa de água cinza bruta, entrando novamente na estação (Figura 4-17).

A frequência de lavagem era semanal. O acionamento foi feito manualmente, embora a seqüência de lavagem fosse automática, sendo a abertura e o fechamento das válvulas controlados pelo mesmo sistema (SCP) utilizado no descarte do lodo aeróbio. A programação foi feita com a seguinte seqüência de lavagem:

- ✓ 2 minutos de ar;
- ✓ 2 minutos de ar e água;
- ✓ 1 minuto de água;

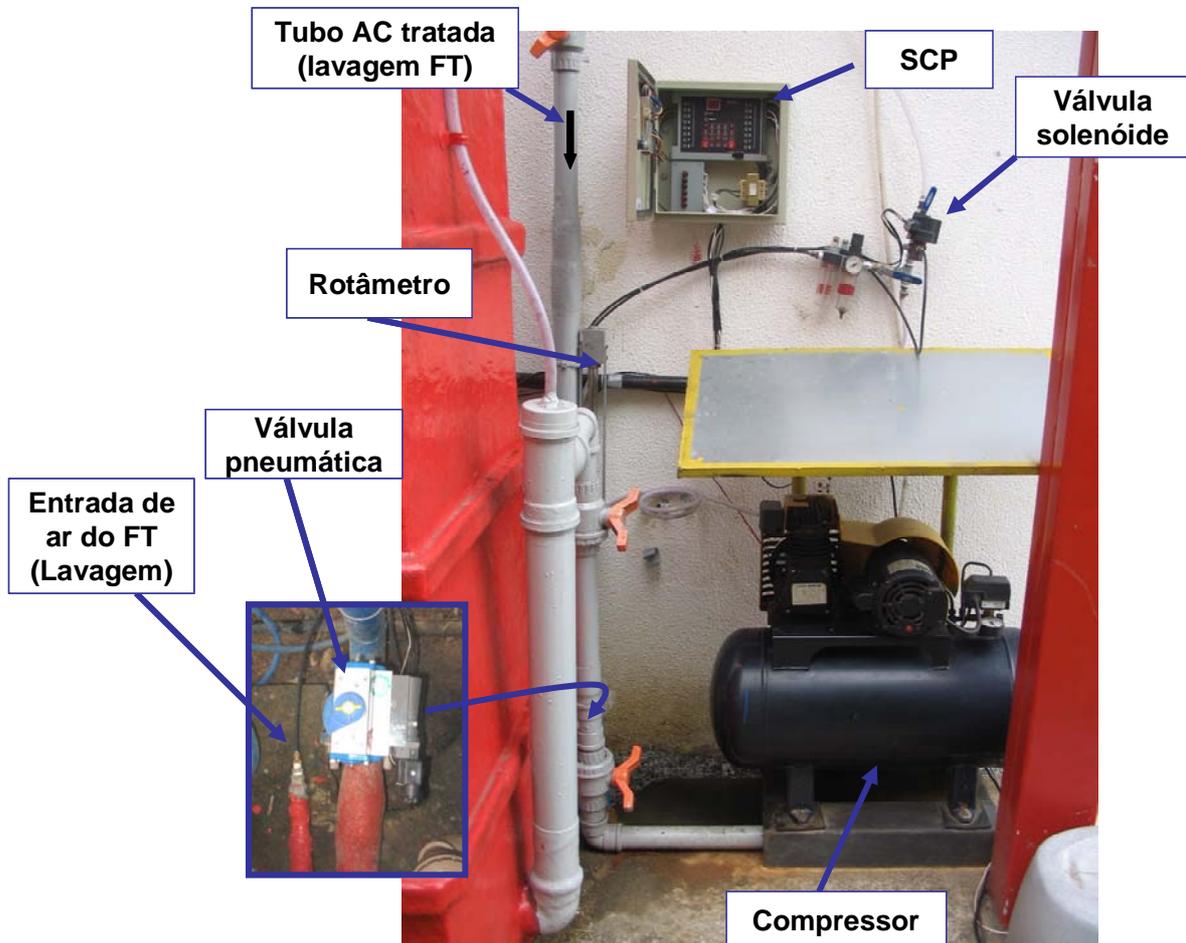


Figura 4-17: Esquema da operação de lavagem do FT

#### 4.4.1.5 Desinfecção

A etapa de desinfecção foi inserida objetivando a destruição de patógenos ainda presentes no efluente tratado, tornando-o mais seguro para seu uso posterior (descarga de vasos sanitários). Entretanto, a desinfecção não produz uma água esterilizada. O agente desinfetante utilizado foi o cloro, que foi escolhido, pois além de proporcionar a desinfecção no tanque de contato, ainda deixa uma concentração residual, garantindo a desinfecção em caso de recontaminação.

Para cloração, foi utilizada uma pastilha de cloro 200g, cujas características estão descritas na Tabela 4-3. Ela foi acoplada a um flutuador e, este conjunto, inserido

na elevatória de água cinza tratada (Figura 4-18). A aplicação de cloro era feita de forma gradativa, na medida em que a pastilha ia se dissolvendo. A dosagem era controlada por uma grelha localizada na parte inferior do flutuador. A grelha foi mantida praticamente toda fechada para que a dosagem aplicada fosse a mínima possível. Cada pastilha de cloro durou aproximadamente dois meses.



**Figura 4-18:** Flutuador utilizado na desinfecção

**Tabela 4-3:** Características da pastilha de cloro

| Nome  | Fornecedor | Características   |
|---|------------|---|
| Pace tricloro<br>(cloro estabilizado em<br>tablete) | Hth        | <u>Ingrediente ativo:</u><br>Tricloro-S-Triazina-Triona<br>(90% de cloro ativo).....99% |
|   |            | <u>Composição:</u><br>Água, hidróxido de cálcio.....1%                                  |

#### **4.4.2 Monitoramento do sistema de reúso**

Após a construção e a realização de testes hidráulicos na ETAC, iniciou-se a fase de monitoramento em março de 2005.

#### **4.4.2.1 Medidas adotadas para o aumento da produção de Água Cinza**

Para aumentar a produção de água cinza e para que o efluente gerado ficasse mais próximo ao de uma residência, foi colocado no banheiro feminino uma máquina de lavar de funcionamento manual com capacidade de até 4kg de roupa (Lavamatic super – Suggar). Ela foi acoplada em um dos lavatórios e utilizada quase que diariamente (Figura 4-19). Também foi adicionada na estação amostra de pia de cozinha, que foi coletada na caixa de gordura da cantina/restaurante do Centro Tecnológico da UFES. Eram coletados, em média, 40 litros e inseridos na elevatória de água cinza bruta três vezes por semana (Figura 4-20)



**Figura 4-19:** Máquina de lavar acoplada ao lavatório



**Figura 4-20:** Introdução do efluente de cozinha na elevatória de água cinza bruta

#### **4.4.2.2 Pontos de coleta**

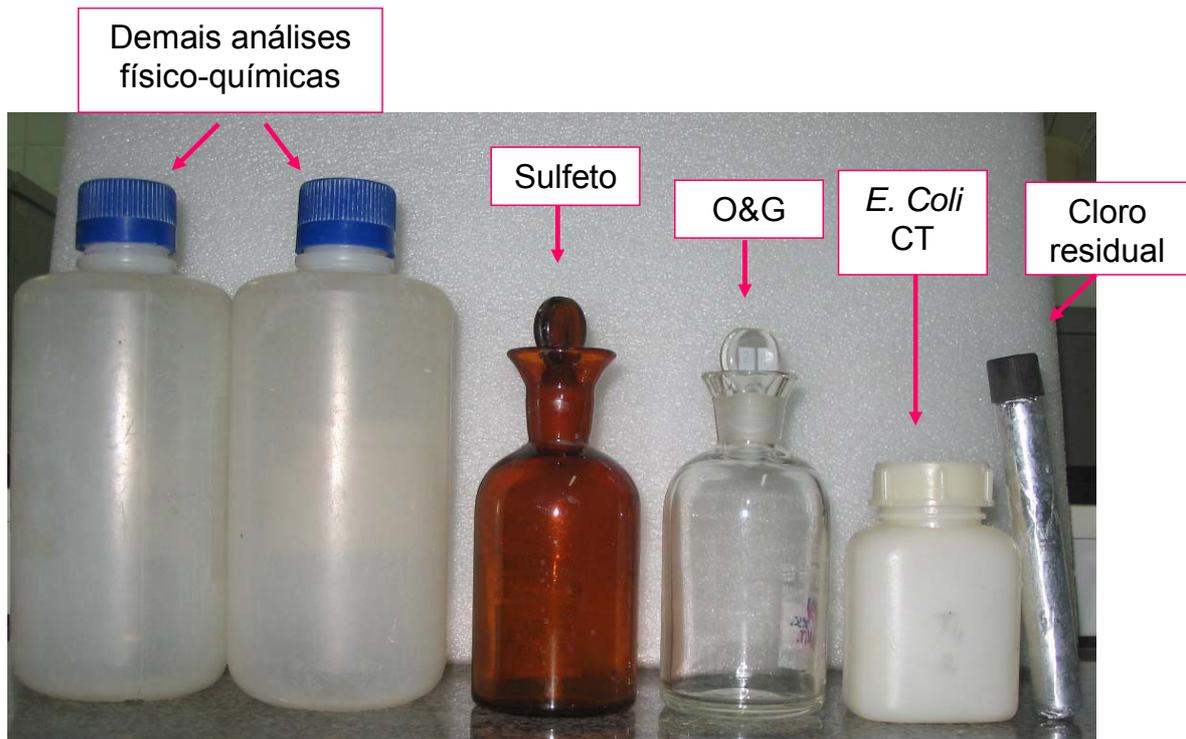
- ✓ Água cinza bruta; coletada na elevatória de água cinza bruta;
- ✓ Água cinza efluente ao RAC e afluyente ao FBAS; coletada na saída da terceira câmara do RAC;
- ✓ Água cinza efluente ao decantador secundário do FBAS e afluyente ao FT; coletada na saída do DEC;
- ✓ Água cinza efluente ao FT e afluyente à desinfecção; coletada na saída do FT;
- ✓ Água cinza efluente à desinfecção (efluente final); coletada na elevatória de água cinza tratada;
- ✓ Vasos sanitários; coletada nos vasos sanitários dos banheiros do prédio;
- ✓ Lodo anaeróbico; coletado nas torneiras localizadas a 10cm do fundo câmara 1 e 2 do RAC;
- ✓ Lodo aeróbico; coletado no momento do descarte do lodo do DEC antes de entrar na elevatória de água cinza bruta;
- ✓ Lodo terciário; coletado no momento da lavagem do FT antes de entrar na elevatória de água cinza bruta.

#### **4.4.2.3 Vazão de água cinza**

Como a vazão de água cinza não era constante ao longo do dia, o sistema não funcionava em fluxo contínuo. Dessa forma, o controle da vazão foi feito através do registro do tempo em que a bomba de água cinza bruta permaneceu ligada durante um dia. Esses tempos foram monitorados automaticamente através de um sistema de aquisição de dados (o mesmo dos hidrômetros) e armazenados no computador segundo a segundo. Anteriormente foi medida a vazão da bomba de água cinza bruta (0,5L/s) e com o dado de quantos segundos ela ficou ligada em cada dia, era calculada a vazão diária de água cinza em L/dia.

#### 4.4.2.4 Fase líquida

Para a fase líquida, foram feitas coletas de amostras simples duas vezes por semana, sempre na parte da manhã. O volume coletado para cada amostra era de aproximadamente 2,7L, distribuídos nos frascos de coleta como mostra a Figura 4-21.



**Figura 4-21:** Frascos de coleta de amostras

Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, temperatura, OD, turbidez, cor verdadeira, alcalinidade, condutividade elétrica, dureza, cloreto, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, O&G, Pt, NTK, N-NH<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, S<sup>-2</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, surfactante aniônico. Como indicador do potencial de contaminação por patógenos, avaliou-se a densidade de *E. coli*. As metodologias utilizadas em cada análise estão referenciadas no Anexo A.

#### 4.4.2.5 Fase sólida

O lodo anaeróbico foi coletado na primeira e na segunda câmara do RAC na torneira que fica a 10cm do fundo do reator. As amostras foram coletadas em

becker e levadas para o laboratório, onde foram analisadas os parâmetros ST e SV, de acordo com a metodologia referenciada no Anexo A.

O lodo aeróbio e o lodo terciário foram coletados no momento do descarte do lodo do decantador secundário e da lavagem do FT, respectivamente, antes deles entrarem na elevatória de água cinza bruta. A coleta do lodo terciário foi realizada em dois momentos: no início e ao final da lavagem. Os parâmetros analisados foram os mesmo do lodo anaeróbio.

#### 4.4.3 Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o software Excel, para a obtenção da estatística descritiva dos parâmetros analisados (média, mediana, desvio padrão, máximo, mínimo e percentis). Foram gerados gráficos do tipo Box e Whiskers (Figura 4-22), séries temporais e distribuição da frequência acumulada.

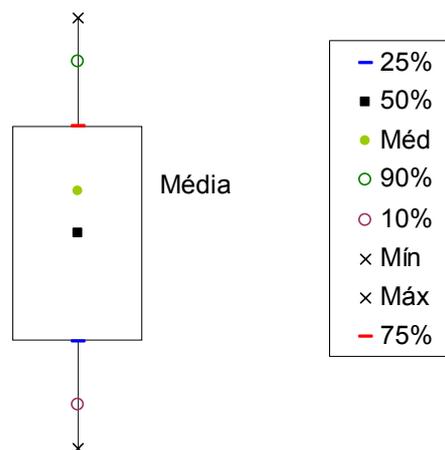


Figura 4-22: Forma de expressão dos resultados

#### 4.4.4 Condições operacionais da ETAC durante o monitoramento

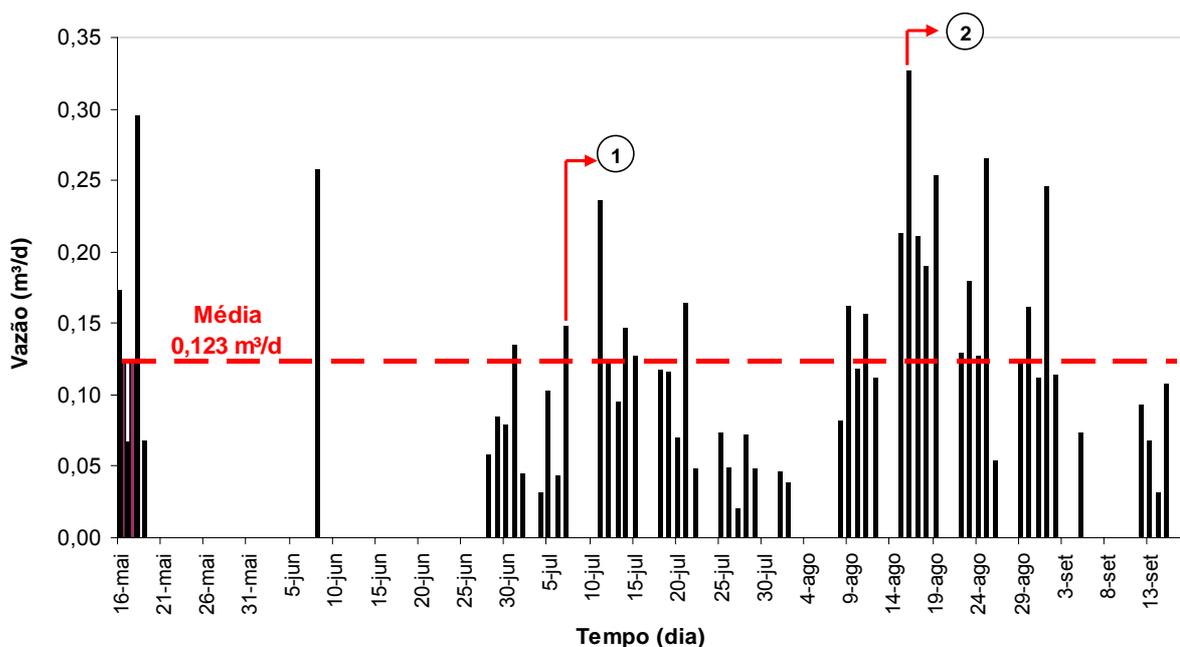
Para avaliação das condições operacionais durante o monitoramento da ETAC, foram calculadas as cargas volumétrica e superficial diárias aplicadas em cada etapa de tratamento. Elas foram calculadas a partir da geometria da estação, da vazão de entrada e da concentração afluente, em termos de DQO.

A vazão começou a ser monitorada em meados de maio de 2005, embora, por problemas na captura *on-line* do funcionamento da bomba de água cinza bruta, os dados só tenham sido registrados continuamente a partir do mês de julho. Para determinação da vazão média foram excluídos os dias em que a bomba não funcionou (principalmente finais de semana e feriados). Dessa forma, calculou-se a vazão média de entrada na estação ( $0,123\text{m}^3/\text{dia}$ ) a partir dos dias em que a bomba funcionou efetivamente. A estação operou com tempo de detenção hidráulica (TDH) médio de 12 dias (Tabela 4-4).

**Tabela 4-4:** Tempos de detenção hidráulicos médios

|           | RAC | FBAS | FT | Total |
|-----------|-----|------|----|-------|
| TDH (dia) | 9   | 2    | 1  | 12    |

Duas medidas foram tomadas no intuito de aumentar a vazão de água cinza no prédio. A primeira, representada pelo número 1 nas figuras 4-23 a 4-25, foi a utilização de uma máquina de lavar roupa. A segunda, representada pelo número 2, foi a colocação de efluente de cozinha, oriundo da caixa de gordura da cantina/restaurante do Centro Tecnológico da UFES. Ambas as medidas serviram também para aumentar a carga de DQO aplicada na estação.



LEGENDA: 1 – Início lavagem de roupa; 2 – Início inserção efluente de cozinha

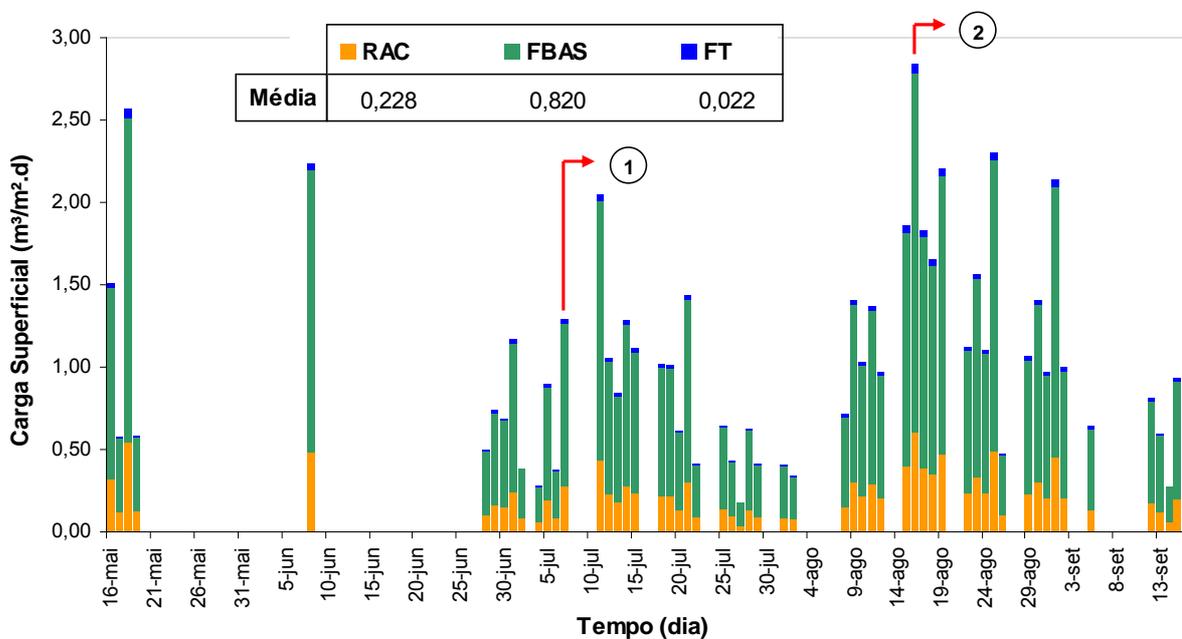
**Figura 4-23:** Vazão média diária de entrada na ETAC

A carga superficial aplicada (CSUP) foi calculada a partir da relação entre a vazão afluente (Q) e a área superficial de cada reator (As) (equação 4-1). O RAC, o FBAS e o FT operaram com carga superficial média de 0,228, 0,820 e 0,022m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, respectivamente (Figura 4-24).

$$C_{\text{SUP}} \left( \text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d} \right) = \frac{Q \left( \text{m}^3 / \text{d} \right)}{A_s \left( \text{m}^2 \right)} \quad (\text{Equação 4-1})$$

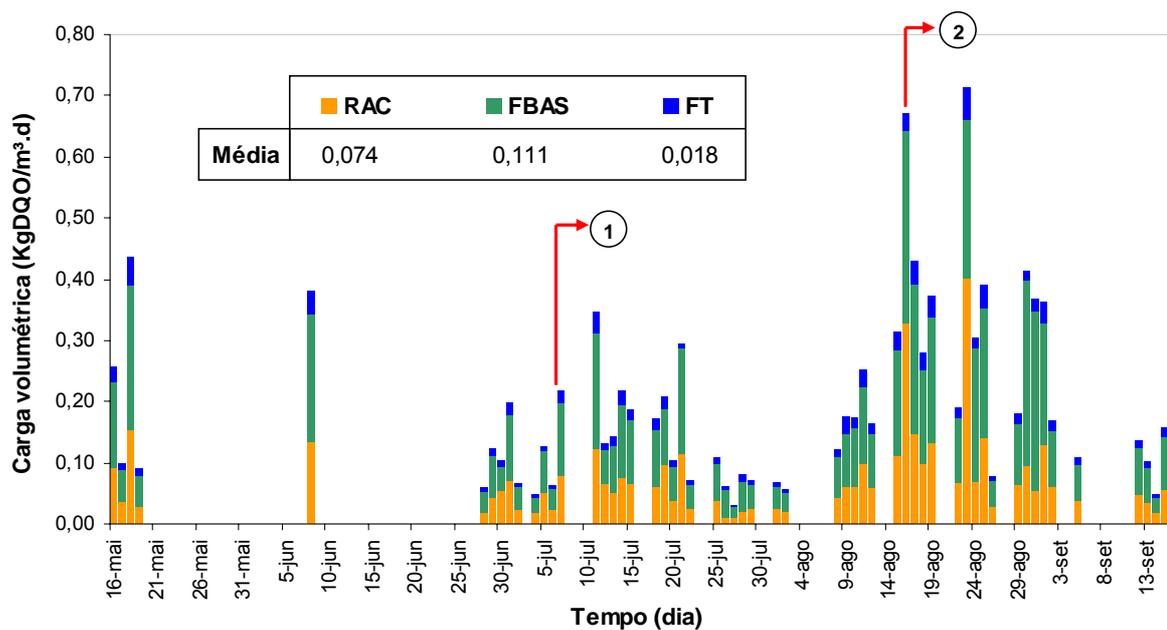
A carga volumétrica aplicada (CVOL) foi calculada a partir da relação entre o produto da concentração de DQO (CDQO) e da vazão afluente (Q) pelo volume útil de cada reator (VU) (Equação 4-2). A variabilidade da alimentação da ETAC, tanto em termos de vazão quanto em termos de concentrações de DQO afluentes, faz com que as cargas volumétricas também variem. Os valores médios aplicados no RAC, FBAS e FT no período do experimento foram, respectivamente, de 0,074, 0,111, 0,018 kgDQO/m<sup>3</sup>.d (Figura 4-25).

$$C_{\text{VOL}} \left( \text{kgDQO} / \text{m}^3 \cdot \text{d} \right) = \frac{C_{\text{DQO}} \left( \text{mg} / \text{L} \right) \cdot Q \left( \text{m}^3 / \text{d} \right)}{V_U \left( \text{m}^3 \right)} \cdot 10^{-3} \quad (\text{Equação 4-2})$$



LEGENDA: 1 – Início lavagem de roupa; 2 – Início inserção efluente de cozinha

**Figura 4-24:** Carga superficial média diária em cada etapa de tratamento da ETAC



LEGENDA: 1 – Início lavagem de roupa; 2 – Início inserção efluente de cozinha

Figura 4-25: Carga volumétrica média diária em cada etapa de tratamento da ETAC

Tabela 4-5: Características geométricas da ETAC

| Compartimento | Dimensões      |                    |                    | Área superficial<br>As<br>(m <sup>2</sup> ) | Volume útil<br>Vu<br>(m <sup>3</sup> ) |
|---------------|----------------|--------------------|--------------------|---|--|
|               | Largura<br>(m) | Comprimento<br>(m) | Altura útil<br>(m) |   |  |
| RAC           | 0,6            | 0,9                | 2,00               | 0,54  | 1,08                                   |
| FBAS          | 0,3            | 0,5                | 1,81               | 0,15  | 0,27                                   |
| FT            | 0,6            | 0,3                | 0,94               | 0,18  | 0,17                                   |

## 4.5 Quantificação da produção e demanda de águas cinza

### 4.5.1 Produção e demanda teórica de águas cinza

Para o cálculo da produção e da demanda teórica máxima de água cinza do prédio, foram consideradas as seguintes variáveis:

- ✓ Número máximo de usuários: 60 pessoas;
- ✓ Vazão de cada aparelho sanitário: dados dos fabricantes e, quando possível, medidas *in loco* de volume e tempo;
- ✓ Frequência e duração do uso de cada aparelho sanitário: (TOMAZ, 2000).

Como no Brasil não há registros de pesquisas sobre frequência e duração de uso em aparelhos sanitários, eles foram estimados a partir de dados americanos e europeus e adaptados para a nossa realidade (TOMAZ, 2000). Esses dados foram úteis para o dimensionamento da Estação de Tratamento de Águas cinza (ETAC). As Tabelas 4-6 e 4-7 mostram as variáveis adotadas e os resultados da produção e demanda de água cinza, respectivamente.

**Tabela 4-6:** Estimativa da produção de água cinza no prédio da ETE UFES

| Nº de usuários:<br>60 pessoas | Vazão do aparelho<br>(L/min) | Duração do uso<br>(min/hab.dia) | Frequência de uso | Produção de água cinza<br>(L/dia) | L/hab.dia |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|
| Lavatório                     | 7                            | 2                               | 1 *               | 840                               | 14        |
| Chuveiro                      | 10                           | 10                              | 0,1 **            | 600                               | 10        |
| <b>Total</b>                  |                              |                                 |                   | <b>1440</b>                       | <b>24</b> |

\* dia

\*\* banho/hab.dia

**Tabela 4-7:** Estimativa da demanda de água cinza no prédio da ETE UFES

| Nº de usuários:<br>60 pessoas | Volume<br>(L/descarga) | Frequência de uso<br>(descarga/hab.d) | Vazamento<br>(%/descarga) | Demanda de água cinza<br>(L/dia) | L/hab.dia |
|-------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------|
| Vaso sanitário                | 7                      | 2                                     | 10                        | 924                              | 15        |
| Mictório                      | 0,5                    | 2                                     | 5                         | 63                               | 1         |
| <b>Total</b>                  |                        |                                       |                           | <b>987</b>                       | <b>16</b> |

#### 4.5.2 Produção e demanda real de águas cinza

Para quantificação da produção e da demanda real de água cinza do prédio, cada aparelho sanitário (num total de 16) foi monitorado por um hidrômetro com saída de sinal (Figura 4-26). Cada hidrômetro instalado recebeu um número correspondente, de acordo com a Tabela 4-8. Os hidrômetros foram doados pelo Liceu de Artes e Ofício de São Paulo (LAO).



**Figura 4-26:** Hidrômetros instalados no lavatório, chuveiro, vaso sanitário

**Tabela 4-8:** Hidrômetro correspondente em cada aparelho sanitário

| Hidrômetro | Aparelho sanitário | Local               |
|------------|--------------------|---------------------|
| H1         | Vaso sanitário     | Sala de professor 1 |
| H2         | Lavatório          | Sala de professor 1 |
| H3         | Lavatório          | Sala de professor 2 |
| H4         | Vaso sanitário     | Sala de professor 2 |
| H5         | Lavatório          | Banheiro masculino  |
| H6         | Lavatório          | Banheiro masculino  |
| H7         | Chuveiro           | Banheiro masculino  |
| H8         | Vaso sanitário     | Banheiro masculino  |
| H9         | Lavatório          | Banheiro feminino   |
| H10*       | Lavatório          | Banheiro feminino   |
| H11        | Mictório           | Banheiro masculino  |
| H12        | Mictório           | Banheiro masculino  |
| H13        | Vaso sanitário     | Banheiro feminino   |
| H14        | Vaso sanitário     | Banheiro masculino  |
| H15        | Vaso sanitário     | Banheiro feminino   |
| H16        | Chuveiro           | Banheiro feminino   |

\* Lavatório utilizado para acoplar a máquina de lavar roupa.

#### 4.5.2.1 O uso da máquina de lavar roupa

A máquina de lavar roupa modelo Lavamatic Super da Suggar, com capacidade de até 4kg de roupa, foi utilizada para aumentar a produção de água cinza do prédio da ETE-UFES. Ela era acoplada ao lavatório monitorado pelo hidrômetro H10 apenas no momento em que se iniciava lavagem de roupa. Em geral, eram lavados jalecos utilizados por pesquisadores do Núcleo Água. A lavagem era realizada da seguinte forma:

- ✓ Colocação das roupas a serem lavadas;

- ✓ Abertura e fechamento da torneira até o nível desejado (35L a 45L);
- ✓ Lavagem por turbilhonamento com adição de sabão em pó;
- ✓ Esvaziamento manual da água de lavagem para o ralo de água cinza;
- ✓ Abertura e fechamento da torneira até o nível desejado (35L a 45L);
- ✓ Lavagem por turbilhonamento com adição de amaciante;
- ✓ Esvaziamento manual da água de lavagem para o ralo de água cinza.

Após cada uso da máquina, ela era desacoplada da torneira para que a mesma pudesse ser utilizada normalmente. Em geral, o volume de água utilizado para cada lavagem era de aproximadamente 70 litros.

#### **4.5.2.2 Sistema de monitoramento**

Os hidrômetros com saída de sinal são aparelhos que possuem a característica de fornecer, através de cabo com fios, sinais elétricos. Estes sinais são proporcionais à vazão do próprio hidrômetro. Os aparelhos fornecidos pela LAO produzem uma saída em tensão pulsada, na proporção de um pulso a cada 100ml de água que atravessa o hidrômetro (resolução do hidrômetro).

Para contar os pulsos dos hidrômetros e para convertê-los em dados que possam ser analisados, foram utilizados módulos locais. Esses módulos são equipamentos baseados em microcontrolador (uma espécie de microprocessador com alguns periféricos integrados). Nesse sentido, os módulos locais funcionam da seguinte maneira: quando um pulso é gerado por um hidrômetro, o microcontrolador se encarrega de detectá-lo e contabilizá-lo, para que a cada segundo se tenha disponível a informação de vazão (ml/s) daquele hidrômetro específico, bastando para isso multiplicar a contagem de pulsos por 100.

Esta informação de vazão é transmitida ao sistema supervisorio remoto, porém, essa transmissão não pode ser feita diretamente, sendo necessária a presença de um conversor de comunicação entre o sistema supervisorio e os módulos locais. Os módulos locais implementados têm capacidade de varredura de até oito hidrômetros simultaneamente, além de outros sinais eletrônicos.

O conversor de comunicação é um equipamento simples que promove a interface de comunicação entre os módulos locais e o sistema supervisor. Isto se faz necessário porque o sistema supervisor (que será visto mais adiante) está no computador e este, por sua vez, permite apenas a comunicação em protocolo RS232. Para que mais de um módulo pudesse ser conectado simultaneamente, foi necessário implementá-los com o protocolo RS485. Dessa forma, houve a necessidade de se instalar um conversor de comunicação para realizar a tarefa de converter a comunicação de RS232 para RS485 e vice-versa, possibilitando assim a conexão de mais de um módulo local.

O sistema supervisor utilizado foi o Eclipse Scada 32 bits Real time 300. É ele que recebe as informações sobre as vazões dos hidrômetros conectados a cada módulo e as separa por hidrômetro. A cada segundo, os módulos locais se encarregam de preparar pacotes com os dados de vazões dos hidrômetros relativos ao segundo imediatamente anterior. O sistema supervisor, por sua vez, recolhe esse pacote e o decifra, separando os dados de vazão de cada hidrômetro por coluna e gerando um histórico de dados que periodicamente é convertido para o formato texto. Os arquivos em txt são convertidos em planilhas eletrônicas para melhor manipulação dos dados. A Figura 4-27 mostra a tela de monitoramento do sistema supervisor (Eclipse Scada).

A Figura 4-28 ilustra esquematicamente as interconexões de rede e as ligações do sistema.

O sistema de monitoramento entrou em operação na sua forma plena no final do mês de junho/2005 e os dados utilizados na pesquisa foram de julho/2005 a setembro/2005, representando um total de 44 dias de monitoramento.

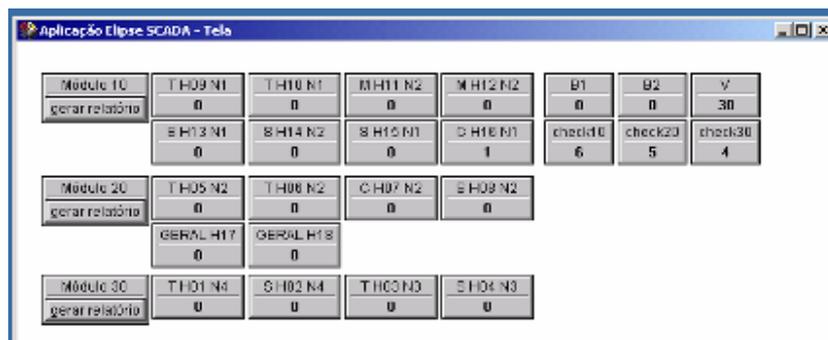


Figura 4-27: Tela de monitoramento do sistema supervisor

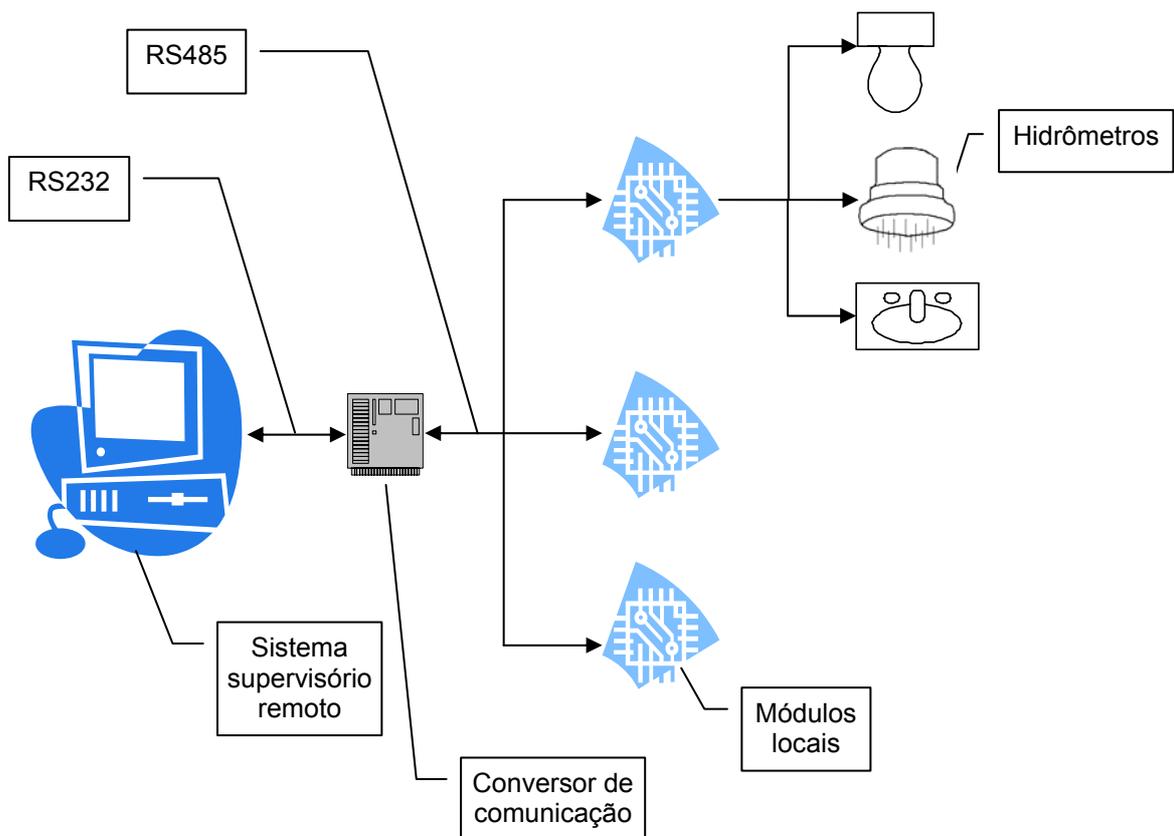


Figura 4-28: Esquema das interconexões de rede das ligações

#### 4.5.2.3 Aferição dos hidrômetros

Foram feitos testes de calibração para validação dos resultados obtidos no computador. Os testes, de maneira geral, foram feitos medindo-se volumes em tempos determinados em cada aparelho e comparando com os dados gerados no computador.

Nos lavatórios e chuveiros, os volumes *in loco* foram medidos através de reservatórios graduados e também através de leituras iniciais e finais nos próprios hidrômetros. Nos mictórios e nos vasos sanitários esses volumes só puderam ser medidos através das leituras nos hidrômetros. Para os chuveiros e lavatórios, a comparação foi feita entre a vazão medida e a vazão obtida no computador e para os vasos sanitários e mictórios, a comparação foi feita com relação aos volumes medidos e do computador (Anexo C).

#### **4.5.2.4 Análises estatísticas**

Os arquivos txt gerados no computador pelo sistema supervisorio foram convertidos em planilhas em Excel para uma melhor manipulação. As seguintes análises foram realizadas:

- Consumo de água total médio do prédio em cada um dos meses monitorados: somatório dos resultados obtidos em todos os aparelhos sanitários por dia e calculada a média ao final de cada mês;
- Consumo de água médio de cada aparelho sanitário em cada um dos meses monitorados
- Distribuição do consumo diário de água por tipo de aparelho sanitário: somatórios dos consumos médios diários de chuveiros, lavatórios, vasos sanitários e mictórios e distribuídos em um gráfico “pizza”;
- Análises mensais, diárias e horárias da produção e demanda da água cinza.
- Análise do consumo de água potável e da produção de águas residuárias do prédio, considerando quatro cenários distintos.

Para esses cálculos foram excluídos finais de semana e feriados, pois não havia praticamente nenhum uso nos aparelhos sanitários.

## ***5. Resultados e Discussão***

### **5.1 Considerações Gerais**

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes à caracterização qualitativa da água cinza segregada, monitoramento quantitativo da produção e demanda de água cinza no prédio da ETE-UFES, monitoramento do sistema de reúso implantado nesse mesmo prédio.

### **5.2 Caracterização qualitativa da água cinza segregada**

Neste item discute-se a caracterização qualitativa da água cinza coletada em diversas fontes: Chuveiro, Lavatório, Tanque, Máquina de lavar roupa, e Cozinha. As características das águas cinza obtidas na pesquisa serão sempre comparadas com as características de águas cinza obtidas por outros autores e também com esgotos domésticos de características fortes, médias e fracas.

#### ***5.2.1 Características físicas***

O resumo estatístico descritivo dos resultados referentes às características físicas (turbidez, sólidos suspensos totais e sólidos totais) encontra-se disposto na tabela 5-1.

As águas cinza, de maneira geral, apresentam uma quantidade de sólidos em suspensão bastante elevada, evidenciada tanto pelos resultados de turbidez quanto pela concentração de sólidos suspensos totais. Resíduos de alimentos, cabelos e fibras de tecidos são alguns exemplos de material sólido nas águas

cinza de cozinha, banheiro (chuveiro e lavatório) e lavanderia (tanque e máquina de lavar), respectivamente. Esses materiais em suspensão conferem um aspecto desagradável ao efluente, além de servirem de abrigo para microrganismos, podendo ocasionar rejeição por parte dos usuários no caso de um reúso sem tratamento.

Pode-se observar que, para os três parâmetros físicos analisados, os resultados foram discrepantes tanto para uma mesma fonte de coleta (desvio padrão alto) quanto de uma fonte para outra. Por exemplo, enquanto que para as amostras de lavatório os resultados médios de turbidez, SST e ST foram 158NTU, 146mg/L e 500mg/L, respectivamente, para amostras de cozinha esses resultados foram, nessa mesma ordem, 250NTU, 336mg/L e 2160mg/L.

A tabela 5-2 permite uma comparação dos resultados obtidos no presente estudo, com os obtidos por Siegrist et al. (1976, apud Eriksson et al., 2002), Christova-Boal et al. (1996), Almeida et al. (1999), Borges (2003), Jamrah et al. (2004), Burnat e Mahmoud (2004).

Christova-Boal et al. (1996) encontraram, para amostras de banheiro e de lavanderia, turbidez bem próximas às obtidas na pesquisa, assim como os valores encontrados por Borges (2004). Almeida et al. (1999) encontraram, para amostras de lavatório, chuveiro e cozinha, concentrações de SST de 181, 200 e 235 mg/L, respectivamente, enquanto que as concentrações médias obtidas na pesquisa foram, nessa mesma ordem, de 146, 103 e 336mg/L.

Quando comparada com o esgoto doméstico, a água cinza misturada possui concentrações de SST e ST médias semelhantes às de um esgoto médio e forte, respectivamente (Tabela 5-3).

**Tabela 5-1:** Caracterização qualitativa da água cinza segregada - Parâmetros físicos

| Parâmetro             | Ponto      | n  | Med  | Mín  | Máx  | DP   | CV   |
|-----------------------|------------|----|------|------|------|------|------|
| <b>Turbidez (NTU)</b> | Lavatório  | 9  | 158  | 95   | 327  | 72   | 0,46 |
|                       | Chuveiro   | 9  | 109  | 45   | 345  | 97   | 0,90 |
|                       | Tanque     | 9  | 299  | 111  | 507  | 141  | 0,47 |
|                       | Máq. Lavar | 9  | 58   | 32   | 100  | 23   | 0,40 |
|                       | Cozinha    | 8  | 250  | 60   | 750  | 225  | 0,90 |
|                       | Misturada  | 7  | 166  | 90   | 289  | 65   | 0,39 |
| <b>SST (mg/L)</b>     | Lavatório  | 10 | 146  | 84   | 209  | 35   | 0,24 |
|                       | Chuveiro   | 10 | 103  | 15   | 483  | 139  | 1,35 |
|                       | Tanque     | 10 | 221  | 68   | 756  | 202  | 0,91 |
|                       | Máq. Lavar | 10 | 53   | 17   | 106  | 27   | 0,50 |
|                       | Cozinha    | 8  | 336  | 101  | 1103 | 325  | 0,97 |
|                       | Misturada  | 7  | 134  | 70   | 220  | 52   | 0,39 |
| <b>ST (mg/L)</b>      | Lavatório  | 9  | 500  | 225  | 1609 | 433  | 0,87 |
|                       | Chuveiro   | 8  | 437  | 224  | 1009 | 258  | 0,59 |
|                       | Tanque     | 9  | 1862 | 723  | 4578 | 1155 | 0,62 |
|                       | Máq. Lavar | 8  | 1004 | 227  | 1586 | 561  | 0,56 |
|                       | Cozinha    | 8  | 2160 | 1131 | 5124 | 1321 | 0,61 |
|                       | Misturada  | 6  | 1536 | 686  | 4691 | 1550 | 1,01 |

**Tabela 5-2:** Características físicas de águas cinza obtidas em outras pesquisas

| Referência                   | Fonte de água cinza | Local      | Parâmetros Físicos |           |            |
|------------------------------|---------------------|------------|--------------------|-----------|------------|
|                              |                     |            | Turbidez (NTU)     | ST (mg/L) | SST (mg/L) |
| Siegrist et al. (1976) *     | Chuveiro/ Banheira  | EUA        | -                  | 250       | 120        |
|                              | Lava Roupas         |            | -                  | 1340      | 280        |
|                              | Enxague de roupa    |            | -                  | 410       | 120        |
|                              | Pia de Cozinha      |            | -                  | 2410      | 720        |
|                              | Lava Louças         |            | -                  | 1500      | 440        |
| Christova-Boal et al. (1996) | Banheiro            | Austrália  | 60 - 240           | -         | -          |
|                              | Lavanderia          |            | 50 - 210           | -         | -          |
| Almeida et al. (1999)        | Lavatório           | Inglaterra | -                  | -         | 181        |
|                              | Chuveiro            |            | -                  | -         | 200        |
|                              | Banheira            |            | -                  | -         | 54         |
|                              | Máquina de lavar    |            | -                  | -         | 165        |
|                              | Pia de Cozinha      |            | -                  | -         | 235        |
| Borges (2003)                | Banheiro            | Curitiba   | 2,0 - 189          | -         | -          |
| Jamrah et al. (2004)         | Chuveiro            | Al-Mwaleh  | 307                | 800       | 410        |
|                              |                     | Al-Hail    | 539                | 1000      | 470        |
|                              |                     | Al-Khodh   | 278                | 250       | 180        |
|                              | Lavanderia          | Al-Mwaleh  | 439                | 4500      | 665        |
|                              |                     | Al-Hail    | 494                | 3150      | 120        |
|                              |                     | Al-Khodh   | 400                | 450       | 160        |
|                              | Pia de cozinha      | Al-Mwaleh  | 120                | 1250      | 925        |
|                              |                     | Al-Hail    | 168                | 750       | 305        |
|                              |                     | Al-Khodh   | 111                | 450       | 285        |
| Burnat & Mahmoud (2004)      | Misturada           | Palestina  | -                  | -         | 94 - 181   |

\* (apud Eriksson et al., 2000)

**Tabela 5-3:** Características típicas de sólidos no esgoto bruto

| Matéria sólida | Esgoto Forte | Esgoto Médio | Esgoto Fraco |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| SST (mg/L)     | 360          | 230          | 120          |
| ST (mg/L)      | 1.160        | 730          | 370          |

FONTE: Jordão &amp; Pessoa (2005)

### 5.2.2 Características químicas

Os parâmetros químicos analisados foram divididos em cinco grupos:

- Compostos Nitrogenados: NTK,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$
- Compostos fosforados:  $\text{P}_{\text{Total}}$
- Compostos de enxofre:  $\text{S}^{-2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$
- Compostos orgânicos e inorgânicos:  $\text{DBO}_5$ , DQO
- Outros: pH, OD, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, cloreto e O&G.

#### 5.2.2.1 Compostos nitrogenados

Os resultados das características químicas referentes aos compostos nitrogenados estão estatisticamente resumidos na Tabela 5-4. As concentrações médias de NTK obtidas na pesquisa foram de 3,4mg/L, para amostras de chuveiro, e de 13,7mg/L, para amostras de cozinha. Já as concentrações de nitrogênio amoniacal variaram de 0,5mg/L, para amostras de lavatório, a 2,5mg/L para amostras de cozinha. Estas concentrações são de 2 a 4 vezes inferiores às usualmente encontradas em esgotos domésticos típicos, onde a principal fonte de nitrogênio é a urina (Tabela 5-6). Para se ter uma idéia, somente a urina contribui para cerca de 80% do nitrogênio presente no esgoto convencional (SCHÖNNING, 2001). No caso da água cinza, a principal fonte de nitrogênio vem dos alimentos (efluente da cozinha).

As concentrações de NTK e  $\text{NH}_3\text{-N}$  encontradas por outros autores foram bastante similares às encontradas nesta pesquisa. Apenas Christova-Boal et al. (1996), para amostras de chuveiro e lavanderia, e Burnat e Mahmoud (2004), para amostra de água cinza misturada, encontraram concentrações de NTK um pouco superiores.

As concentrações de nitrito encontradas na pesquisa foram baixas e similares às de um esgoto bruto. Já as de nitrato, para todas as amostras foram um pouco superiores às usualmente encontradas em esgotos domésticos forte (Tabela 5-4). Almeida et al. (1999) e Jamrah et al. (2004) encontraram concentrações de nitrato ainda maiores, variando de 2,0 a 34,5mg/L (Tabela 5-5).

Tabela 5-4: Caracterização qualitativa da água cinza segregada - Compostos nitrogenados

| Parâmetro                          | Ponto      | n  | Med  | Mín  | Máx  | DP   | CV   |
|------------------------------------|------------|----|------|------|------|------|------|
| <b>Nitrogênio Amoniacal (mg/L)</b> | Lavatório  | 10 | 0,5  | 0,2  | 1,1  | 0,2  | 0,52 |
|                                    | Chuveiro   | 10 | 0,8  | 0,2  | 1,4  | 0,4  | 0,57 |
|                                    | Tanque     | 10 | 3,8  | 1,0  | 15,2 | 4,1  | 1,07 |
|                                    | Máq. Lavar | 10 | 1,5  | 0,3  | 4,4  | 1,4  | 0,94 |
|                                    | Cozinha    | 9  | 2,5  | 1,0  | 6,4  | 1,6  | 0,64 |
|                                    | Misturada  | 7  | 1,9  | 0,9  | 4,1  | 1,1  | 0,59 |
| <b>NTK (mg/L)</b>                  | Lavatório  | 9  | 5,6  | 0,7  | 21,2 | 6,4  | 1,14 |
|                                    | Chuveiro   | 9  | 3,4  | 1,2  | 6,6  | 2,2  | 0,65 |
|                                    | Tanque     | 9  | 10,3 | 2,5  | 27,8 | 8,3  | 0,81 |
|                                    | Máq. Lavar | 9  | 3,6  | 0,2  | 5,9  | 2,0  | 0,56 |
|                                    | Cozinha    | 8  | 13,7 | 5,1  | 22,1 | 5,0  | 0,37 |
|                                    | Misturada  | 6  | 6,6  | 2,3  | 11,2 | 3,4  | 0,51 |
| <b>Nitrito (mg/L)</b>              | Lavatório  | 9  | 0,03 | 0,01 | 0,14 | 0,04 | 1,43 |
|                                    | Chuveiro   | 9  | 0,03 | 0,00 | 0,11 | 0,03 | 1,28 |
|                                    | Tanque     | 9  | 0,20 | 0,01 | 0,36 | 0,13 | 0,68 |
|                                    | Máq. Lavar | 9  | 0,11 | 0,01 | 0,52 | 0,16 | 1,38 |
|                                    | Cozinha    | 7  | 0,09 | 0,01 | 0,36 | 0,13 | 1,34 |
|                                    | Misturada  | 5  | 0,09 | 0,00 | 0,19 | 0,07 | 0,78 |
| <b>Nitrato (mg/L)</b>              | Lavatório  | 8  | 0,57 | 0,00 | 0,93 | 0,30 | 0,53 |
|                                    | Chuveiro   | 9  | 0,46 | 0,01 | 0,73 | 0,25 | 0,54 |
|                                    | Tanque     | 8  | 0,71 | 0,18 | 1,42 | 0,53 | 0,75 |
|                                    | Máq. Lavar | 8  | 0,46 | 0,14 | 0,76 | 0,26 | 0,56 |
|                                    | Cozinha    | 7  | 0,65 | 0,07 | 1,17 | 0,41 | 0,63 |
|                                    | Misturada  | 6  | 0,46 | 0,19 | 0,98 | 0,34 | 0,75 |

**Tabela 5-5:** Características químicas de águas cinza obtidas em outras pesquisas – compostos nitrogenados

| Referência                   | Fonte de água cinza    | Local      | Parâmetros (mg/L) |     |                    |                    |         |
|------------------------------|------------------------|------------|-------------------|-----|--------------------|--------------------|---------|
|                              |                        |            | N-total           | NTK | NH <sub>3</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N |         |
| Siegrist et al. (1976) *     | Chuveiro/ Banheira     | EUA        | 17                |     | 2                  | 0,4                |         |
|                              | Lava Roupas            |            | 21                |     | 0,7                | 0,6                |         |
|                              | Enxague de roupa       |            | 6                 |     | 0,4                | 0,4                |         |
|                              | Pia de Cozinha         |            | 74                |     | 6                  | 0,3                |         |
|                              | Lava Louças            |            | 40                |     | 4,5                | 0,3                |         |
| Butler et al. (1995)         | Lavatório              | Inglaterra |                   |     | 0,16               | 0,7                |         |
|                              |                        | Malta      |                   |     | 0,23               | 1,02               |         |
|                              | Banheira e chuveiro    | Inglaterra |                   |     | 1,5                | 0,36               |         |
|                              |                        | Malta      |                   |     | 1,6                | 0,39               |         |
|                              | Máquina de lavar roupa | Inglaterra |                   |     | 10                 | 1,93               |         |
|                              |                        | Malta      |                   |     | 10,5               | 1,98               |         |
|                              | Pia de cozinha         | Inglaterra |                   |     | 4,2                | 0,38               |         |
| Christova-Boal et al. (1996) | Banheiro               | Austrália  |                   |     | 4,6 - 20           | <0,1 - 15          |         |
|                              | Lavanderia             |            |                   |     | 1,0 - 40           | <0,1 - 1,9         |         |
| Almeida et al. (1999)        | Lavatório              | Inglaterra |                   |     | 0,3                | 6                  |         |
|                              | Chuveiro               |            |                   |     | 1,2                | 6,3                |         |
|                              | Banheira               |            |                   |     | 1,1                | 4,2                |         |
|                              | Máquina de lavar       |            |                   |     | 2,0                | 2,0                |         |
|                              | Pia de Cozinha         |            |                   |     | 0,3                | 5,8                |         |
| Jamrah et al. (2004)         | Chuveiro               | Al-Mwaleh  |                   |     |                    | 6,6                |         |
|                              |                        | Al-Hail    |                   |     |                    | 34,5               |         |
|                              |                        | Al-Khodh   |                   |     |                    | 45                 |         |
|                              | Lavanderia             | Al-Mwaleh  |                   |     |                    | <2,5               |         |
|                              |                        | Al-Hail    |                   |     |                    | 49                 |         |
|                              |                        | Al-Khodh   |                   |     |                    | 2,6                |         |
|                              | Pia de cozinha         | Al-Mwaleh  |                   |     |                    | 3,2                |         |
| Al-Hail                      |                        |            |                   |     | 26,8               |                    |         |
| Burnat & Mahmoud (2004)      | Misturada              | Palestina  |                   |     | 16 - 17            | 7 - 12             | 0 - 1,3 |

\* (apud Eriksson et al 2002)

**Tabela 5-6:** Características típicas de compostos nitrogenados no esgoto bruto

| Parâmetro (mg/L)         | Esgoto Forte | Esgoto Médio | Esgoto Fraco |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| N-total                  | 85           | 40           | 20           |
| N-orgânico               | 35           | 20           | 10           |
| Amônia livre             | 50           | 20           | 10           |
| Nitrito, NO <sub>2</sub> | 0,10         | 0,05         | 0            |
| Nitrato, NO <sub>3</sub> | 0,40         | 0,20         | 0,10         |

FONTE: Jordão &amp; Pessoa (2005)

### 5.2.2.2 Compostos fosforados

A principal fonte de fósforo na água cinza são os detergentes e os sabões contendo fosfatos. Isso explica o fato de que os valores encontrados nas

amostras de tanque, máquina de lavar e cozinha foram maiores do que nas amostras de lavatório e chuveiro (tabela 5-7). A água cinza misturada possui concentrações médias de 9,0mg/L, semelhante a um esgoto sanitário com características médias (Tabela 5-9).

Siegrist et al. (1976, apud Eriksson et al., 2002) encontraram concentrações de P-total de 2,0mg/L, para amostras de chuveiro, a 74mg/L, para amostras de pia de cozinha. Esses valores foram bem superiores aos encontrados nesta pesquisa, que obteve, para esses mesmos tipos de amostra, concentrações máximas de 1,1 e 13,3mg/L (Tabela 5-8).

**Tabela 5-7:** Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Compostos fosforados

| Parâmetro                   | Ponto      | n | Med  | Mín | Máx  | DP   | CV   |
|-----------------------------|------------|---|------|-----|------|------|------|
| <b>Fósforo total (mg/L)</b> | Lavatório  | 9 | 0,6  | 0,1 | 1,1  | 0,3  | 0,48 |
|                             | Chuveiro   | 9 | 0,2  | 0,0 | 0,5  | 0,2  | 1,04 |
|                             | Tanque     | 9 | 17,7 | 0,4 | 34,7 | 14,2 | 0,80 |
|                             | Máq. Lavar | 9 | 14,4 | 2,8 | 26,1 | 8,7  | 0,60 |
|                             | Cozinha    | 8 | 9,1  | 3,5 | 13,3 | 3,2  | 0,35 |
|                             | Misturada  | 6 | 9,0  | 1,1 | 13,2 | 4,5  | 0,50 |

**Tabela 5-8:** Características químicas de águas cinza obtida em outras pesquisas – compostos fosforados

| Referência                   | Fonte de água cinza    | Local      | Parâmetros (mg/L) |                    |
|------------------------------|------------------------|------------|-------------------|--------------------|
|                              |                        |            | P-total           | PO <sub>4</sub> -P |
| Siegrist et al. (1976) *     | Chuveiro/ Banheira     | EUA        | 2                 | 1                  |
|                              | Lava Roupas            |            | 57                | 15                 |
|                              | Enxague de roupa       |            | 21                | 4                  |
|                              | Pia de Cozinha         |            | 74                | 31                 |
|                              | Lava Louças            |            | 68                | 32                 |
| Butler et al. (1995)         | Lavatório              | Inglaterra | -                 | 30                 |
|                              |                        | Malta      | -                 | 44                 |
|                              | Banheira e chuveiro    | Inglaterra | -                 | 0,89               |
|                              |                        | Malta      | -                 | 0,98               |
|                              | Máquina de lavar roupa | Inglaterra | -                 | 31                 |
|                              |                        | Malta      | -                 | 32                 |
|                              | Pia de cozinha         | Inglaterra | -                 | 14                 |
| Malta                        |                        | -          | 12                |                    |
| Christova-Boal et al. (1996) | Banheiro               | Austrália  | 0,11 - 1,8        | -                  |
|                              | Lavanderia             |            | 0,062 - 42        | -                  |
| Almeida et al. (1999)        | Lavatório              | Inglaterra | -                 | 13,3               |
|                              | Chuveiro               |            | -                 | 19,2               |
|                              | Banheira               |            | -                 | 5,3                |
|                              | Máquina de lavar       |            | -                 | 21,0               |
|                              | Pia de Cozinha         |            | -                 | 26,0               |
| Borges (2003)                | Banheiro               | Curitiba   | 0,51 - 38,4       | -                  |
| Burnat & Mahmoud (2004)      | Misturada              | Palestina  | 15 - 17           | 4,5 - 5,2          |

\* (apud Eriksson et al 2002)

**Tabela 5-9:** Características típicas do esgoto bruto - compostos fosforados

| Parâmetro (mg/L) | Esgoto Forte | Esgoto Médio | Esgoto Fraco |
|------------------|--------------|--------------|--------------|
| P-Total          | 20           | 10           | 5            |
| P-orgânico       | 7            | 4            | 2            |
| P-inorgânico     | 13           | 6            | 3            |

FONTE: Jordão &amp; Pessoa (2005)

### 5.2.2.3 Compostos orgânicos

Mesmo não possuindo contribuições dos vasos sanitários, o conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente na água cinza é bastante significativo. A maior parte dela é oriunda de resíduos de alimento, óleos e gorduras, resíduos corporais, cabelo, sabão etc. Já a matéria inorgânica provém principalmente dos produtos químicos e detergentes utilizados para limpeza.

Os resultados de demanda química e bioquímica de oxigênio estão estatisticamente resumidos na tabela 5-10. Eles se apresentaram bastante variados, tanto para diferentes frações de água cinza quanto para uma mesma fração. As medidas de DQO de todas as amostras apresentaram uma variação média de 521 a 1712mg/l, enquanto que para as de DBO<sub>5</sub> essa variação foi bem mais baixa (165-633mg/l). Em algumas amostras, os valores se aproximam (em alguns casos até superam) dos valores esperados para um esgoto doméstico com características forte (Tabela 5-12).

**Tabela 5-10:** Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Compostos orgânicos

| Parâmetro                               | Ponto      | n  | Med  | Mín | Máx  | DP   | CV   |
|---|------------|----|------|-----|------|------|------|
| <b>DBO<sub>5</sub></b><br><b>(mg/L)</b> | Lavatório  | 8  | 265  | 90  | 675  | 183  | 0,69 |
|   | Chuveiro   | 6  | 165  | 100 | 188  | 32   | 0,20 |
|   | Tanque     | 5  | 570  | 100 | 875  | 347  | 0,61 |
|   | Máq. Lavar | 7  | 184  | 90  | 300  | 70   | 0,38 |
|   | Cozinha    | 6  | 633  | 190 | 1200 | 353  | 0,56 |
|   | Misturada  | 5  | 571  | 425 | 725  | 143  | 0,25 |
| <b>DQO</b><br><b>(mg/L)</b>             | Lavatório  | 10 | 653  | 190 | 1200 | 309  | 0,47 |
|   | Chuveiro   | 10 | 582  | 216 | 1127 | 290  | 0,50 |
|   | Tanque     | 10 | 1672 | 558 | 3958 | 908  | 0,54 |
|   | Máq. Lavar | 10 | 521  | 190 | 920  | 258  | 0,50 |
|   | Cozinha    | 9  | 1712 | 480 | 4793 | 1387 | 0,81 |
|   | Misturada  | 7  | 857  | 190 | 1331 | 404  | 0,47 |

Concentrações similares, quando comparados os mesmo tipos de fonte, também foram observados por Siegrist et al. (1976, apud Eriksson et al., 2002), Buttler et al. (1995), Christova-Boal et al. (1996), Almeida et al. (1999), Borges (2003) e Burnat e Mahmoud (2004). Jamrah et al. (2004) encontrou, porém concentrações bem mais baixas de DBO e DQO para o efluente de pia de cozinha (tabela 5-11).

As concentrações de DBO e de DQO nas amostras indicam o risco de depleção de oxigênio devido à degradação da matéria orgânica. Se o oxigênio dissolvido for todo consumido (efluente anaeróbio), ocorre produção de sulfetos pela redução de sulfatos e, conseqüentemente, emanação de odores desagradáveis.

**Tabela 5-11:** Características químicas de águas cinza obtida em outras pesquisas – compostos orgânico

| Referência                   | Fonte de água cinza    | Local      | Parâmetros (mg/L) |           |
|------------------------------|------------------------|------------|-------------------|-----------|
|                              |                        |            | DBO <sub>5</sub>  | DQO       |
| Siegrist et al. (1976) *     | Chuveiro/ Banheira     | EUA        | 170               | -         |
|                              | Lava Roupas            |            | 380               | -         |
|                              | Enxague de roupa       |            | 150               | -         |
|                              | Pia de Cozinha         |            | 1460              | -         |
|                              | Lava Louças            |            | 1040              | -         |
| Butler et al. (1995)         | Lavatório              | Inglaterra | 148               | -         |
|                              |                        | Malta      | 215               | -         |
|                              | Banheira e chuveiro    | Inglaterra | 250               | -         |
|                              |                        | Malta      | 274               | -         |
|                              | Máquina de lavar roupa | Inglaterra | 662               | -         |
|                              |                        | Malta      | 682               | -         |
|                              | Pia de cozinha         | Inglaterra | 756               | -         |
|                              | Malta                  | 669        | -                 |           |
| Christova-Boal et al. (1996) | Banheiro               | Austrália  | 76 - 200          | -         |
|                              | Lavanderia             |            | 48 - 290          | -         |
| Almeida et al. (1999)        | Lavatório              | Inglaterra | -                 | 298       |
|                              | Chuveiro               |            | -                 | 501       |
|                              | Banheira               |            | -                 | 210       |
|                              | Máquina de lavar       |            | -                 | 1815      |
|                              | Pia de Cozinha         |            | -                 | 644       |
| Borges (2003)                | Banheiro               | Curitiba   | 17 - 287          | -         |
| Jamrah et al. (2004)         | Chuveiro               | Al-Mwaleh  | 60                | 116       |
|                              |                        | Al-Hail    | 156               | 695       |
|                              |                        | Al-Khodh   | 174               | 72        |
|                              | Lavanderia             | Al-Mwaleh  | 212               | 340       |
|                              |                        | Al-Hail    | 236               | 278       |
|                              |                        | Al-Khodh   | 91                | 76        |
|                              | Pia de cozinha         | Al-Mwaleh  | 25                | 60,9      |
|                              |                        | Al-Hail    | 156               | 77,5      |
|                              |                        | Al-Khodh   | 28,2              | 35,5      |
| Burnat & Mahmoud (2004)      | Misturada              | Palestina  | 222 - 375         | 600 - 850 |

\* (apud Eriksson et al 2002)

**Tabela 5-12:** Características típicas do esgoto bruto - compostos orgânicos

| Parâmetro (mg/L) | Esgoto Forte | Esgoto Médio | Esgoto Fraco |
|------------------|--------------|--------------|--------------|
| DBO <sub>5</sub> | 400          | 200          | 100          |
| DQO              | 800          | 400          | 200          |

FONTE: Jordão &amp; Pessoa (2005)

### 5.2.2.4 Compostos de enxofre

Quanto aos compostos de enxofre, as concentrações de sulfeto encontradas foram baixas em todas as amostras (tabela 5-13). Entretanto, essas concentrações podem ser aumentadas em virtude das elevadas concentrações de sulfato e de matéria orgânica, pois em ambientes anaeróbios o sulfato é reduzido a sulfeto durante a oxidação de compostos orgânicos. A formação do gás sulfídrico ( $H_2S$ ) gera odores desagradáveis quando observados acima de 1mg/L.

Burnat e Mahmoud (2004) observaram, para amostras de uma água cinza misturada, valores de sulfato em torno de 53mg/L. Este valor foi bem abaixo dos encontrados para a água cinza misturada sintética desta pesquisa. Uma razão é que as proporções utilizadas para o preparo da água cinza sintética foram estimadas a partir de um consumo diário total de água. Já na água cinza caracterizada por Burnat e Mahmoud (2004), as coletas eram feitas em horários diferentes, e provavelmente, nem todas as fontes de água cinza foram utilizadas.

**Tabela 5-13:** Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Compostos de enxofre

| Parâmetro             | Ponto      | n  | Med   | Mín   | Máx    | DP    | CV   |
|-----------------------|------------|----|-------|-------|--------|-------|------|
| <b>Sulfeto (mg/L)</b> | Lavatório  | 8  | 0,11  | 0,00  | 0,19   | 0,07  | 0,60 |
|                       | Chuveiro   | 8  | 0,09  | 0,06  | 0,17   | 0,04  | 0,42 |
|                       | Tanque     | 7  | 0,09  | 0,01  | 0,23   | 0,08  | 0,80 |
|                       | Máq. Lavar | 8  | 0,11  | 0,05  | 0,25   | 0,07  | 0,61 |
|                       | Cozinha    | 7  | 0,14  | 0,07  | 0,29   | 0,07  | 0,54 |
|                       | Misturada  | 6  | 0,11  | 0,06  | 0,22   | 0,06  | 0,54 |
| <b>Sulfato (mg/L)</b> | Lavatório  | 10 | 112,4 | 9,4   | 325,5  | 93,3  | 0,83 |
|                       | Chuveiro   | 10 | 162,1 | 22,4  | 439,5  | 128,4 | 0,79 |
|                       | Tanque     | 9  | 554,9 | 18,2  | 1149,3 | 366,4 | 0,66 |
|                       | Máq. Lavar | 9  | 355,4 | 38,4  | 1011,1 | 275,7 | 0,78 |
|                       | Cozinha    | 9  | 130,4 | 25,4  | 326,2  | 103,7 | 0,80 |
|                       | Misturada  | 7  | 305,1 | 121,1 | 377,3  | 87,1  | 0,29 |

### 5.2.2.5 Outros parâmetros de qualidade

Os resultados estatísticos descritivos dos demais parâmetros analisados estão expressos na tabela 5-14.

O pH da água cinza depende basicamente do pH da água de abastecimento. Entretanto, alguns produtos químicos utilizados podem contribuir para o seu

aumento. Isso pode ser observado nas amostras da máquina de lavar e do tanque, onde seu pH alcalino pode ser atribuído ao uso do sabão em pó e do amaciante. Christova-Boal et al. (1996) e Jamrah et al. (2004) também observaram valores de pH alcalino para amostras de lavanderia (Tabela 5-15). As amostras de água cinza misturada, no entanto, apresentaram o pH bem próximo da neutralidade, assim como em esgotos domésticos típicos.

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) foram relativamente altas, pois a análise desse parâmetro era realizada logo após a coleta. Desse modo, não houve tempo de consumo durante o transporte, como ocorre, em geral, com os esgotos sanitários.

Os valores médios de condutividade elétrica observados na pesquisa, para todas as amostras, variaram de 116mg/L (lavatório) a 938mg/L (tanque) (tabela 5-14). Valores bastante superiores foram observados por Jamrah et al. (2004), principalmente para efluentes de chuveiro e de cozinha (tabela 5-15).

A alcalinidade é um parâmetro muito importante quando se pretende tratar a água cinza pela via de digestão anaeróbia, visto que uma redução do pH pode afetar os microrganismos responsáveis pela depuração. As amostras de tanque foram as que apresentaram os maiores valores (206,9mg/L), enquanto que nas amostras de cozinha a alcalinidade foi praticamente nula (1,9mg/L). Entretanto, para as amostras de água cinza misturada o valor médio encontrado foi de 114,7mg/L, ou seja, dentro da faixa observada para esgoto doméstico típico (Tabela 5-16). Outros autores encontraram valores de alcalinidade um pouco abaixo dos obtidos nesta pesquisa, quando correlacionados os mesmo tipos de fonte, com exceção dos obtidos por Jamrah et al. (2004) para efluente de cozinha.

Segundo von Sperling (2005), apesar de não haver evidências de que a dureza cause problemas sanitários, uma água dura reduz a formação de espuma, implicando um maior consumo de sabão, e pode causar incrustações em tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores. Os resultados médios de dureza obtidos neste trabalho, entretanto, mostraram que todas as frações de água cinza possuem característica de água mole (dureza < 50mg/LCaCO<sub>3</sub>). Isso

é uma vantagem e também um indicativo de que água cinza, depois de tratada, pode ser reutilizada também para lavagem de roupas.

Os cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) são advindos da dissolução de sais, como por exemplo, o cloreto de sódio. Isso explica as altas concentrações desse íon no efluente da cozinha (130mg/L). Burnat e Mahmoud (2004) também encontraram concentrações de cloretos elevadas para uma água cinza misturada, contendo também contribuições de cozinha (180 – 220mg/L). As demais frações de água cinza, com exceção da amostra do tanque, apresentaram concentrações de cloretos similares às do esgoto doméstico típico (Tabela 5-14).

As principais fontes de óleos e graxas (O&G) na água cinza são os óleos e gorduras utilizados no preparo de alimento, resíduos presentes no corpo e nas roupas, oriundos da transpiração humana. Dessa forma, as amostras da cozinha foram as que apresentaram maior concentração desses compostos (176,4mg/L), seguidas pelas amostras de tanque (140,6mg/L) e chuveiro (95,2mg/L). A amostra de água cinza misturada apresentou uma concentração média de 101,3mg/L, similar a de um esgoto doméstico típico. Caso não haja a remoção prévia de O&G, a presença desses compostos em quantidade pode diminuir a eficiência de tratamentos biológicos subseqüentes.

Tabela 5-14: Caracterização qualitativa da água cinza segregada – Outros parâmetros

| Parâmetro                                  | Ponto      | n  | Med   | Min   | Máx   | DP    | CV   |
|--|------------|----|-------|-------|-------|-------|------|
| pH   | Lavatório  | 7  | 8,03  | 6,63  | 8,97  | 0,92  | 0,11 |
|  | Chuveiro   | 7  | 7,34  | 6,83  | 8,14  | 0,41  | 0,06 |
|  | Tanque     | 7  | 8,85  | 7,71  | 9,55  | 0,80  | 0,09 |
|  | Máq. Lavar | 7  | 9,06  | 7,92  | 9,73  | 0,67  | 0,07 |
|  | Cozinha    | 7  | 5,14  | 4,21  | 5,95  | 0,70  | 0,14 |
|  | Misturada  | 5  | 7,05  | 5,99  | 7,58  | 0,64  | 0,09 |
| OD<br>(mg/L)                               | Lavatório  | 6  | 6,9   | 4,7   | 8,9   | 1,6   | 0,23 |
|  | Chuveiro   | 6  | 6,6   | 5,9   | 7,5   | 0,6   | 0,09 |
|  | Tanque     | 6  | 7,1   | 5,1   | 8,6   | 1,2   | 0,16 |
|  | Máq. Lavar | 6  | 7,1   | 5,3   | 8,7   | 1,3   | 0,18 |
|  | Cozinha    | 6  | 4,2   | 1,8   | 6,4   | 1,7   | 0,40 |
|  | Misturada  | 4  | 6,5   | 5,5   | 7,6   | 0,9   | 0,14 |
| Condutividade<br>elétrica<br>( $\mu$ S/cm) | Lavatório  | 8  | 116   | 86    | 150   | 26    | 0,23 |
|  | Chuveiro   | 10 | 124   | 63    | 261   | 55    | 0,45 |
|  | Tanque     | 10 | 938   | 220   | 1817  | 500   | 0,53 |
|  | Máq. Lavar | 10 | 524   | 194   | 966   | 233   | 0,44 |
|  | Cozinha    | 9  | 528   | 78    | 1023  | 320   | 0,61 |
|  | Misturada  | 7  | 430   | 307   | 600   | 105   | 0,24 |
| Alcalinidade<br>(mg/L)                     | Lavatório  | 5  | 88,0  | 45,5  | 204,0 | 65,4  | 0,74 |
|  | Chuveiro   | 6  | 38,3  | 21,3  | 103,3 | 32,0  | 0,84 |
|  | Tanque     | 4  | 206,9 | 102,5 | 262,5 | 71,1  | 0,34 |
|  | Máq. Lavar | 5  | 74,2  | 28,9  | 109,5 | 36,9  | 0,50 |
|  | Cozinha    | 5  | 1,9   | 0,0   | 5,4   | 2,3   | 1,23 |
|  | Misturada  | 4  | 114,7 | 39,0  | 312,4 | 132,4 | 1,15 |
| Dureza<br>(mg/L)                           | Lavatório  | 6  | 44,2  | 21,7  | 104,9 | 31,1  | 0,70 |
|  | Chuveiro   | 5  | 30,1  | 12,8  | 79,9  | 25,5  | 0,85 |
|  | Tanque     | 5  | 38,5  | 16,8  | 94,9  | 38,5  | 0,87 |
|  | Máq. Lavar | 6  | 38,7  | 12,8  | 84,9  | 38,7  | 0,71 |
|  | Cozinha    | 4  | 12,1  | 0,0   | 48,4  | 12,1  | 2,00 |
|  | Misturada  | 4  | 21,2  | 0,0   | 65,2  | 21,2  | 1,45 |
| Cloreto<br>(mg/L)                          | Lavatório  | 6  | 10,1  | 1,3   | 18,8  | 6,9   | 0,69 |
|  | Chuveiro   | 6  | 20,0  | 5,2   | 36,6  | 12,7  | 0,63 |
|  | Tanque     | 9  | 76,3  | 2,7   | 158,8 | 55,3  | 0,73 |
|  | Máq. Lavar | 7  | 23,6  | 4,9   | 69,0  | 22,2  | 0,94 |
|  | Cozinha    | 9  | 130,0 | 2,6   | 307,9 | 81,0  | 0,62 |
|  | Misturada  | 5  | 64,0  | 20,6  | 100,0 | 34,9  | 0,55 |
| O&G<br>(mg/L)                              | Lavatório  | 9  | 81,9  | 30,4  | 124,7 | 27,0  | 0,33 |
|  | Chuveiro   | 9  | 95,2  | 34,0  | 319,8 | 89,9  | 0,94 |
|  | Tanque     | 7  | 140,6 | 22,0  | 282,2 | 105,9 | 0,75 |
|  | Máq. Lavar | 9  | 24,2  | 7,1   | 41,8  | 12,4  | 0,51 |
|  | Cozinha    | 8  | 176,4 | 52,0  | 339,8 | 98,4  | 0,56 |
|  | Misturada  | 6  | 101,3 | 51,5  | 217,8 | 58,9  | 0,58 |

**Tabela 5-15:** Características químicas de águas cinza obtidas em outras pesquisas – outros parâmetros

| Referência                   | Fonte de água cinza | Local     | Parâmetros Químicos |            |   |                 |            |                |
|------------------------------|---------------------|-----------|---------------------|------------|---|-----------------|------------|----------------|
|                              |                     |           | pH                  | OD         | Condutiv. Elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Alcalin. (mg/L) | O&G (mg/L) | Cloreto (mg/L) |
| Christova-Boal et al. (1996) | Banheiro            | Austrália | 6,4 - 8,1           |            | 82 - 250                                | 24 - 43         | 37 - 78    | 9,0 - 18       |
|                              | Lavanderia          |           | 9,3 - 10            |            | 190 - 1400                              | 83 - 200        | 8,0 - 35   | 9,0 - 88       |
| Borges (2003)                | Banheiro            | Curitiba  | 6,7 - 8,5           | 2,67 - 5,9 |   |                 |            |                |
| Jamrah et al. (2004)         | Chuveiro            | Al-Mwaleh | 7,88                | 2,3        | 1171                                    | 19              |            |                |
|                              |                     | Al-Hail   | 7,69                | 2,6        | 1584                                    | 17              |            |                |
|                              |                     | Al-Khodh  | 6,77                | 2,8        | 1362                                    | 9               |            |                |
|                              | Lavanderia          | Al-Mwaleh | 8,04                | 2,5        | 392                                     | 42              |            |                |
|                              |                     | Al-Hail   | 8,87                | 2,7        | 311                                     | 27              |            |                |
|                              |                     | Al-Khodh  | 8,08                | 3,5        | 1755                                    | 16              |            |                |
|                              | Pia de cozinha      | Al-Mwaleh | 7,69                | 2,8        | 1038                                    | 20              |            |                |
|                              |                     | Al-Hail   | 7,06                | 2,3        | 1605                                    | 15              |            |                |
|                              | Al-Khodh            | 6,68      | 3,9                 | 1708       | 5                                       |                 |            |                |
| Burnat & Mahmoud (2004)      | Misturada           | Palestina | 6,6 - 7,4           | 5,24 - 6,5 |   |                 |            | 180 - 220      |

**Tabela 5-16:** Características químicas típicas no esgoto bruto

| Parâmetro            | Concentração |        |
|----------------------|--------------|--------|
|                      | Faixa        | Típico |
| pH                   | 6,7 - 7,5    | 7,0    |
| Alcalinidade (mg/L)  | 110 - 170    | 140    |
| Cloretos (mg/L)      | 20 - 50      | 35     |
| Óleo e Graxas (mg/L) | 55 - 170     | 110    |
| OD (mg/L)            | 0            | 0      |

FONTE: Von Sperling (2005); Jordão & Pessoa (2005)

### 5.2.3 Características microbiológicas

No que diz respeito à característica microbiológica, embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microorganismos patogênicos, as amostras de água cinza apresentaram resultado positivo de *E. coli*. A limpeza das mãos após o uso do toalete, lavagem de roupas e alimentos fecalmente contaminados ou o próprio banho, são algumas das possíveis fontes de contaminação.

Os resultados dos parâmetros microbiológicos estão estatisticamente resumidos na tabela 5-17. As amostras de chuveiro foram as que apresentaram maior densidade, tanto de coliformes totais quanto de *E.coli* (ambos em torno de  $10^4$ ).

Além disso, por representar a maior fração na água cinza misturada (40%), os resultados na amostra composta também foram bastante significativos.

Outros autores também identificaram a presença de contaminação fecal, através de resultados positivos de coliformes fecais. Borges (2003), por exemplo, encontrou concentrações de até sete unidades logarítmicas para amostras de banheiro (Tabela 5-18).

Apesar das densidades dos indicadores de contaminação fecal na água cinza serem menores do que as encontradas no esgoto, elas não são desprezíveis e evidenciam a necessidade de uma desinfecção prévia no caso de reúsos mais restritivos (Tabela 5-19).

**Tabela 5-17:** Caracterização qualitativa da água cinza segregada - Parâmetros microbiológicos

| Parâmetro                            | Ponto      | n | Med      | Mín      | Máx      | DP       | CV   |
|--------------------------------------|------------|---|----------|----------|----------|----------|------|
| <b>CT</b><br><b>(NMP/100mL)</b>      | Lavatório  | 2 | 1,35E+02 | 1,35E+02 | 1,35E+02 | 0,00E+00 | 0,00 |
|                                      | Chuveiro   | 3 | 3,95E+04 | 2,76E+04 | 7,27E+04 | 2,52E+04 | 0,58 |
|                                      | Tanque     | 4 | 2,06E+02 | 1,00E+00 | 5,79E+03 | 2,70E+03 | 1,34 |
|                                      | Máq. Lavar | 3 | 5,37E+00 | 1,00E+00 | 1,55E+02 | 8,89E+01 | 1,70 |
|                                      | Cozinha    | 4 | 1,47E+03 | 1,00E+00 | 1,12E+06 | 5,58E+05 | 1,97 |
|                                      | Misturada  | 2 | 6,14E+04 | 2,90E+04 | 1,30E+05 | 7,14E+04 | 0,90 |
| <b>E. coli</b><br><b>(NMP/100mL)</b> | Lavatório  | 8 | 1,01E+01 | 1,00E+00 | 9,00E+01 | 3,55E+01 | 1,20 |
|                                      | Chuveiro   | 5 | 2,63E+04 | 2,42E+03 | 1,98E+05 | 8,02E+04 | 1,28 |
|                                      | Tanque     | 7 | 2,87E+01 | 1,00E+00 | 2,14E+03 | 7,82E+02 | 1,95 |
|                                      | Máq. Lavar | 7 | 2,73E+01 | 1,00E+00 | 2,61E+04 | 9,80E+03 | 2,53 |
|                                      | Cozinha    | 5 | 6,47E+02 | 1,00E+00 | 1,90E+05 | 8,06E+04 | 1,63 |
|                                      | Misturada  | 3 | 3,25E+04 | 1,01E+04 | 1,30E+05 | 6,51E+04 | 1,17 |

**Tabela 5-18:** Características microbiológicas de águas cinza obtida em outras pesquisas

| Referência                   | Fonte de água cinza                     | Local     | Parâmetros (NMP/100ml)              |                          |                                       |
|------------------------------|---|-----------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
|                              |   |           | Coliformes Totais                   | Coliformes Fecais        | E. coli                               |
| Siegrist et al. (1976) *     | Chuveiro/ Banheira                      | EUA       | 70 - 8200                           | 1 - 2500                 | -                                     |
|                              | Lava Roupas                             |           | 85 - $8,9 \times 10^5$              | 9 - $1,6 \times 10^4$    | -                                     |
|                              | Enxague de roupa                        |           | 190 - $1,5 \times 10^5$             | 35 - $7,1 \times 10^3$   | -                                     |
| Rose et al (1991)            | Chuveiro/ Banheira                      | EUA       | $10^5$                              | $6 \times 10^3$          | -                                     |
|                              | Lava Roupas                             |           | 199                                 | 126                      | -                                     |
|                              | Enxague de roupa                        |           | 56                                  | 25                       | -                                     |
| Hargelius et al (1995) *     | Lavanderia                              | Suécia    | -                                   | -                        | $28,2 \times 10^6$                    |
|                              | Cozinha                                 |           | -                                   | -                        | $0,16 \times 10^6 - 96,6 \times 10^6$ |
|                              | Banheiro/Cozinha                        |           | -                                   | -                        | $236 \times 10^6$                     |
| Christova-Boal et al. (1996) | Banheiro                                | Austrália | $500 - 2,4 \times 10^7$             | $170 - 3,3 \times 10^3$  | -                                     |
|                              | Lavanderia                              |           | $2,3 \times 10^3 - 3,3 \times 10^5$ | $110 - 1,09 \times 10^3$ | -                                     |
| Nolde (1999)                 | Chuveiro/ Banheira                      | Berlim    | $10^2 - 10^3$                       | $10^1 - 10^1$            | -                                     |
|                              | Chuveiro                                |           | $10^1 - 10^3$                       | $10^1 - 10^1$            | -                                     |
|                              | Chuv./ Banheira e maq de lavar (fralda) |           | $10^4 - 10^6$                       | $10^4 - 10^6$            | -                                     |
| Borges (2003)                | Banheiro                                | Curitiba  | $5,1 - 1,6 \times 10^8$             | $2,0 - 1,6 \times 10^7$  | -                                     |

\* (apud Eriksson et al, 2002)

**Tabela 5-19:** Características microbiológicas típicas no esgoto bruto

| Parâmetro (NMP/100ml) | Concentração  |
|-----------------------|---------------|
| Coliformes totais     | $10^6 - 10^9$ |
| Coliformes fecais     | $10^5 - 10^8$ |

FONTE: Von Sperling (2005)

### 5.2.4 Ensaio de biodegradabilidade

No ensaio de biodegradabilidade utilizou-se um aparelho que armazena os dados do consumo de oxigênio durante os 5 dias da análise de DBO. A partir daí, ajustou-se, pelo método dos mínimos quadrados, curvas de biodegradabilidade aeróbia e determinou-se o coeficiente de desoxigenação (k1) para cada amostra de água cinza. O mesmo foi feito para uma amostra de esgoto sanitário bruto, a título de comparação.

Sabe-se que quanto menor o valor de k1 mais lenta é a taxa de decomposição. Seguindo esse raciocínio, apenas as amostras de chuveiro e de cozinha apresentaram valores de k1 inferiores ao do esgoto sanitário. Isso indica que alguns tipos de águas cinza apresentam uma taxa de consumo de oxigênio mais rápida do que o esgoto sanitário convencional, mostrando que períodos longos de estocagem podem comprometer significativamente as características iniciais

dessas águas (Figura 5-1). Os resultados foram bastante semelhantes aos obtidos em um estudo realizado na Suécia em 1967 (OLSON et al. (1968, citados em [www.greywater.com](http://www.greywater.com)), onde foram encontrados valores de  $k_1$  de 0,45 para água cinza.

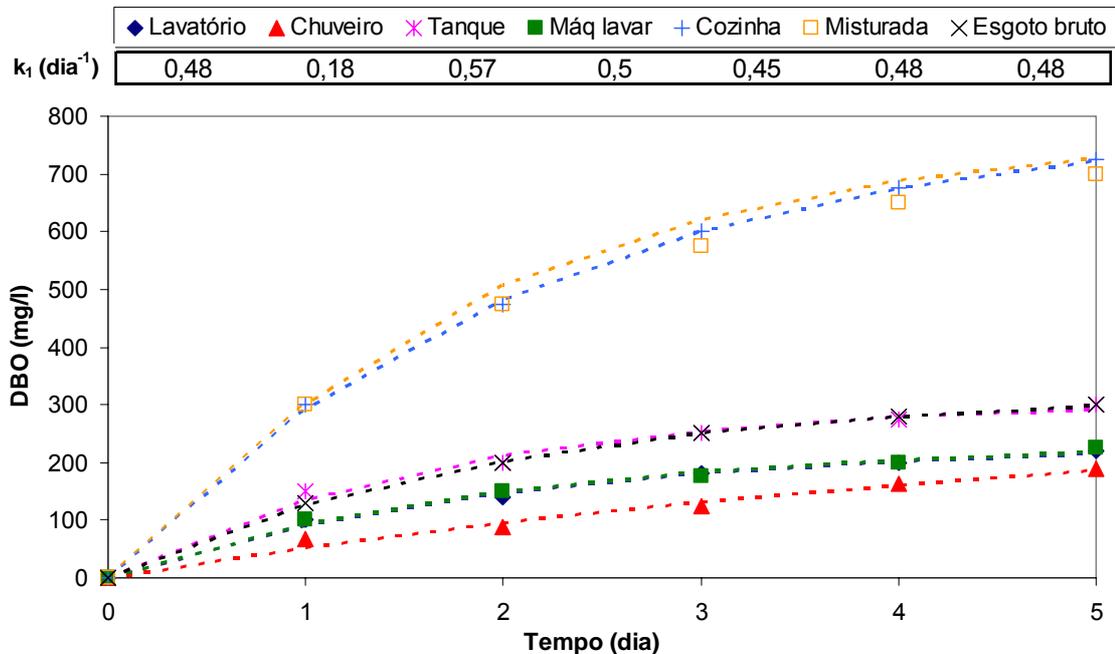


Figura 5-1: Curvas de biodegradabilidade de águas cinza e de esgoto bruto

### 5.3 Desempenho da ETAC no tratamento das águas cinza de uma edificação educacional

Neste item discute-se o desempenho de cada etapa de tratamento que compõe a ETAC tratando águas cinza de uma das edificações da UFES. O desempenho é avaliado em relação à remoção de sólidos, cor, matéria orgânica e *E. coli* e Coliformes Totais. A evolução de alguns parâmetros como sulfeto e sulfato também foram avaliados.

A temperatura, durante todo o período de monitoramento, ficou entre 20 e 30°C.

### **5.3.1 Características gerais da água cinza bruta**

As características médias da água cinza bruta apresentadas durante toda a pesquisa foram: 533uC (cor verdadeira), 168NTU (turbidez), 283mg/L (DBO<sub>5</sub>), 498mg/L (DQO), 11,8mg/L (SST), 5,42 x 10<sup>5</sup>NMP/100ml (*E. coli*) e 1,87x10<sup>7</sup>NMP/100ml (Coliforme total).

Assim como os resultados obtidos na etapa de caracterização, os resultados referentes à água cinza bruta (afluente) apresentaram grande dispersão. Isso pode ser observado pela extensão da caixa nos gráficos de *Boxplot and Whiskers* em todos os parâmetros analisados (Figuras 5-2 a 5-12).

### **5.3.2 Remoção de sólidos, turbidez e cor**

Analisando a ETAC como um todo, no que tange ao conteúdo de sólidos suspensos (SST e turbidez) e dissolvidos (cor verdadeira), a maior eficiência de remoção ocorreu na etapa biológica (anaeróbia + aeróbia). O RAC apresentou eficiência de remoção de turbidez, cor e SST da água cinza bruta de 56%, 53% e 72%, respectivamente. O polimento do efluente anaeróbio, realizado pelo FBAS, apresentou eficiências de 96% para turbidez, 83% para cor e 95% para SST (Figura 5-2 a Figura 5-4).

Não houve remoção significativa desses parâmetros nem na etapa de filtração terciária, nem na de desinfecção, e em alguns casos, houve uma ligeira piora na qualidade da água cinza tratada biologicamente. Isso ocorreu provavelmente devido a problemas decorrentes da lavagem do FT e a eventuais sujeiras oriundas do ambiente externo à caixa de água cinza tratada (poeira, areia, insetos, etc.).

Após a filtração terciária, era possível perceber uma coloração ligeiramente amarelada quando se acumulava um volume maior de água tratada. Essa coloração ficou bastante reduzida com o advento da cloração. A redução da turbidez e do SST nessa etapa foi, possivelmente, devido à sedimentação de algumas partículas em suspensão na elevatória de água cinza tratada (EACT).

Após a desinfecção, a água cinza tratada atendeu à qualidade mínima requerida pelo padrão mais restritivo para turbidez (2NTU), cor (10uC) e SST (5mg/L).

A qualidade da água cinza tratada coletada nos vasos sanitários apresentou uma ligeira piora para os três parâmetros em questão. Isso pode ter ocorrido em virtude da limpeza dos mesmos não estar sendo feita na frequência adequada.

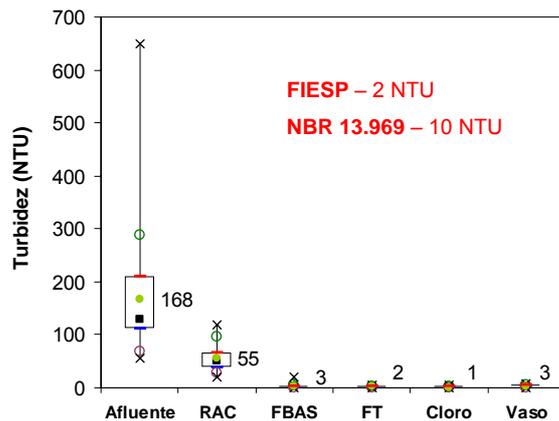


Figura 5-2: Remoção de turbidez

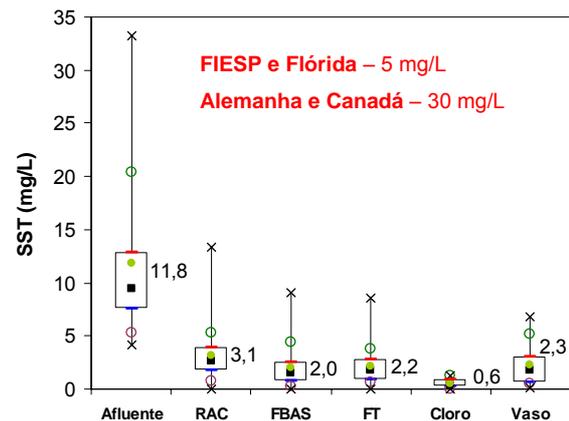


Figura 5-3: Remoção de SST

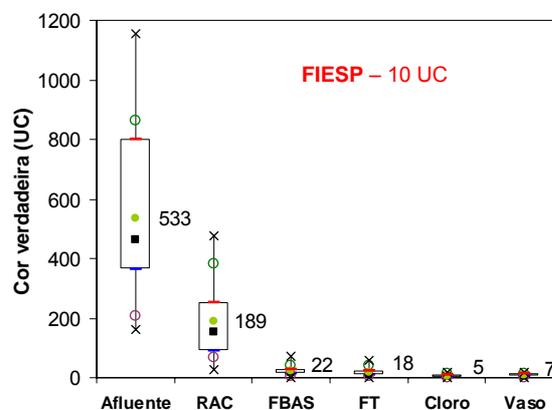


Figura 5-4: Remoção de cor verdadeira

### 5.3.3 Remoção de matéria orgânica

A remoção de matéria orgânica na ETAC, assim como a de sólidos, foi mais intensa na etapa biológica. Isso já era esperado, pois o conteúdo orgânico na água cinza é de fácil degradação. O RAC apresentou, em média, uma eficiência de remoção de 69% para  $DBO_5$  e 74% para DQO oriunda da água cinza bruta. O FBAS realizou o polimento do efluente anaeróbico e apresentou uma eficiência

complementar de 90% e 74% para DBO<sub>5</sub> e DQO, respectivamente (Figura 5-5 e Figura 5-6).

O FT, como já era esperado, não apresentou redução significativa do material orgânico em relação às concentrações remanescentes do FBAS, sendo essa remoção de apenas 23%, tanto para DBO<sub>5</sub> quanto para DQO.

Na desinfecção, o cloro atuou também como um agente oxidante na remoção da pequena parcela de matéria orgânica remanescente do FT. Entretanto, como praticamente toda fração orgânica da DQO já tinha sido removida até o tratamento terciário, a cloração contribuiu com apenas 6% de sua eficiência de remoção.

A qualidade da água cinza tratada, no que diz respeito ao conteúdo de DBO<sub>5</sub> atendeu aos padrões requeridos para o reúso em descarga de vasos sanitários preconizados pelo EPA (2004) e FIESP (2005).

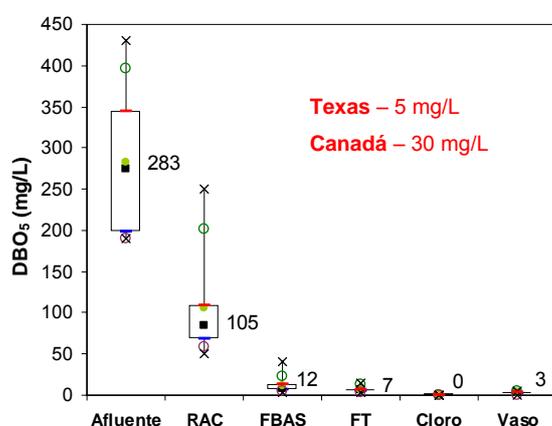


Figura 5-5: Remoção de DBO<sub>5</sub>

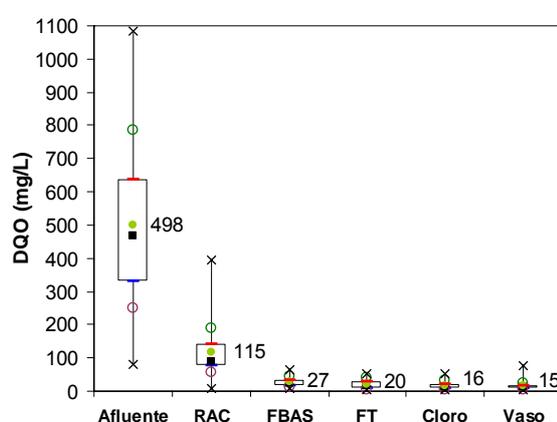


Figura 5-6: Remoção de DQO

### 5.3.4 Remoção de microrganismos

Como já dito anteriormente, utilizou-se a densidade de *Escherichia coli* como indicação de contaminação fecal e como indicação da eficiência de remoção de patógenos no processo de tratamento da água cinza.

A água cinza bruta apresentou, em média (geométrica), níveis de *E. coli* e coliformes totais (CT) com aproximadamente duas unidades logarítmicas inferior ao do esgoto sanitário convencional ( $5,4 \times 10^5$  e  $1,9 \times 10^7$  NMP/100mL). Entretanto,

essas densidades são consideradas altas quando comparadas com as normas para reúso em vasos sanitários, preconizadas, por exemplo, pela FIESP (2005) e pelo EPA (2004) (Figura 5-7 e figura 5-8).

O tratamento anaeróbio removeu, em média, 90% da densidade inicial de *E. coli* e 99% da de coliformes totais. Embora esses números pareçam elevados, isso corresponde a apenas 1 log e 2 logs de remoção de *E. coli* e CT respectivamente.

O FBAS, complementando o tratamento realizado pelo RAC, apresentou, em média, uma remoção de 2 unidades logs para *E. coli*, chegando a concentrações em torno de  $1,6 \times 10^2$  NMP/100mL. A remoção de CT não foi tão expressiva, removendo nesse tratamento apenas 1 unidade log.

No FT a remoção tanto de *E. coli* quanto de CT foi praticamente nula. Em algumas amostras coletadas as concentrações foram maiores no FT do que no FBAS.

A cloração, como já se esperava, foi bastante eficiente na remoção dos dois grupos de microrganismos estudados. Essa etapa removeu aproximadamente 2 logs e 4 logs de *E.coli* e CT, respectivamente, chegando a concentrações compatíveis com padrões de reúso mais restritivos.

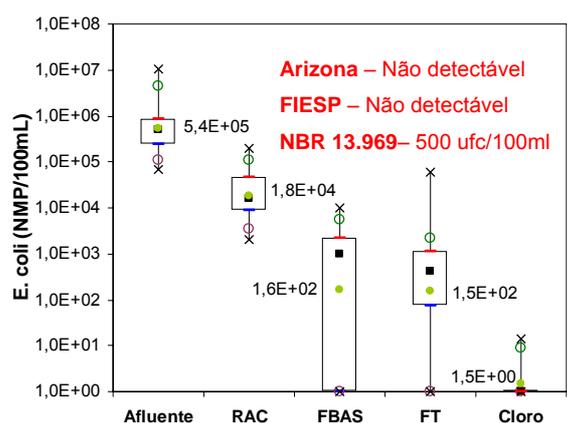


Figura 5-7: Remoção de *E.coli*

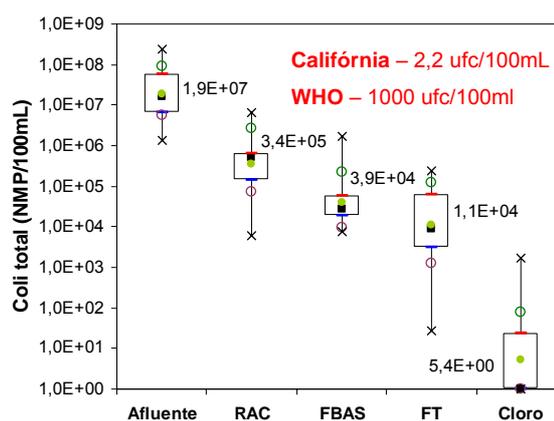
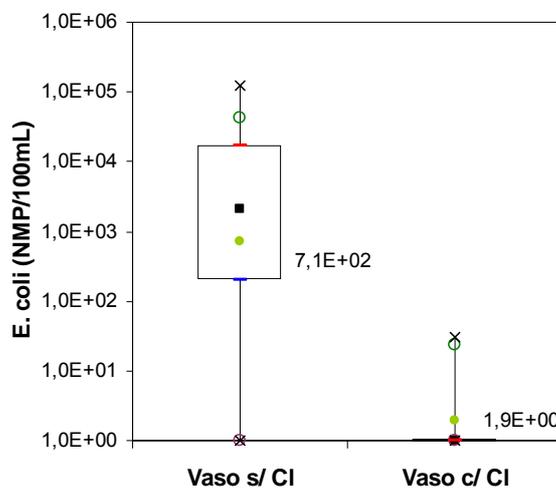


Figura 5-8: Remoção de Coliformes totais

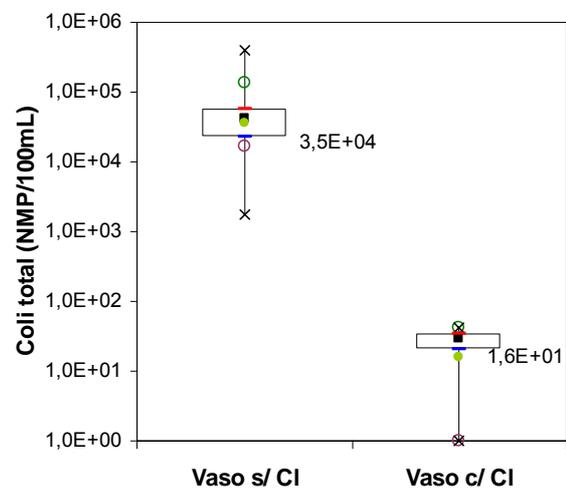
Assim como para os outros parâmetros, foram analisadas, em termos de *E. coli* e CT, as amostras coletadas nos vasos sanitários do prédio. Houve coleta antes e depois do início da cloração. As figuras 5-9 e 5-10 mostram que quando a desinfecção ainda não estava sendo realizada, as densidades de *E. coli* e CT

mantiveram-se praticamente iguais às do tratamento terciário. Após o início da cloração, as densidades de ambos não diferiram tanto das encontradas na elevatória de água cinza tratada. Isso mostra que não houve recontaminação da água de reúso utilizada na descarga dos vasos sanitários. Isso se deve principalmente ao elevado teor de cloro residual na água cinza tratada após a cloração (Figura 5-11).

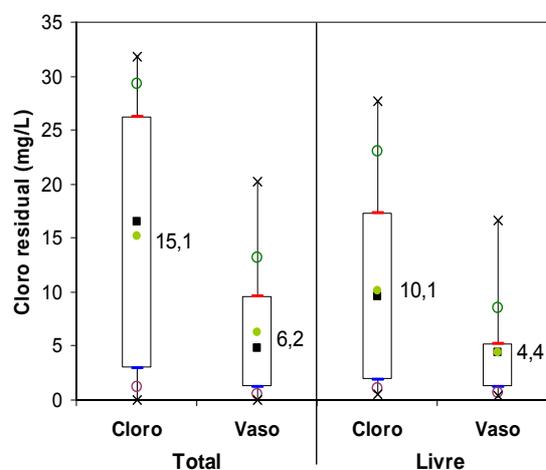
Entretanto, estudos feitos por Ornelas (2004) mostraram que, mesmo utilizando água potável nas descargas de vaso sanitários, é possível encontrar densidade de coliformes termotolerantes e totais na ordem de  $10^3$  a  $10^5$  (NMP/100ml).



**Figura 5-9:** Comparação do vaso sem cloro e com cloro – *E. coli*



**Figura 5-10:** Comparação do vaso sem cloro e com cloro – coliformes totais



**Figura 5-11:** Teor de cloro residual total e livre

### **5.3.5 Sulfato e sulfeto**

O íon sulfato, assim como no esgoto sanitário, está presente também na água cinza. Entretanto, em virtude da água cinza ser composta por uma matéria orgânica de mais fácil degradação, ela torna-se anaeróbia mais rapidamente do que o esgoto convencional. Esse sulfato presente pode ser então reduzido a sulfeto, causando odor desagradável. Durante todo o período de monitoramento não foram observados problemas de odor nas proximidades da elevatória de água cinza bruta (Figura 5-12 e Figura 5-13).

Já no RAC, pelo mesmo motivo citado anteriormente, as concentrações de sulfato foram levemente reduzidas, e as de sulfeto aumentadas. O odor característico de sistemas anaeróbios, proveniente do gás sulfídrico ( $H_2S$ ), foi detectado nas amostras coletadas desse reator. No entanto, como a estação é coberta, esse odor não causou transtornos aos usuários do prédio.

O tratamento aeróbio, como polimento do efluente do RAC, fez com que as concentrações de sulfeto fossem novamente reduzidas e as de sulfato aumentadas (processo inverso), promovendo, dessa forma, a desodorização do efluente anaeróbio. Esse foi, então, mais um dos motivos de adoção do FBAS, pois sistemas de reúso podem ser rejeitados se a água utilizada apresentar, além de cor, mau cheiro.

Nas demais etapas de tratamento, as concentrações tanto de sulfato quanto de sulfeto não sofreram alteração significativa. Entretanto, as de sulfato apresentaram dispersão bastante acentuada. No caso das concentrações de sulfeto, as dispersões foram bem pequenas.

Apesar de não existir padrões estabelecidos por norma para as concentrações desses íons, eles não podem ser negligenciados, pois estão diretamente ligados ao controle de odor e conseqüentemente, à satisfação dos usuários.

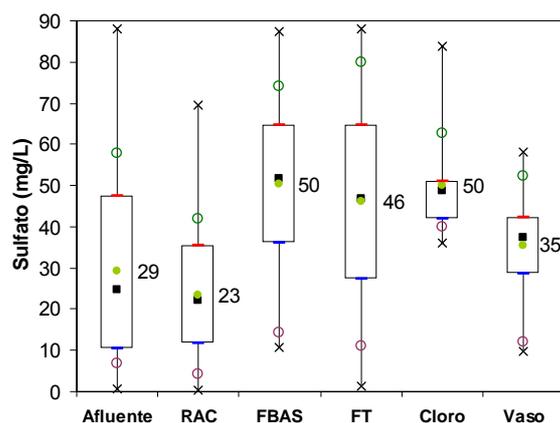


Figura 5-12: Evolução dos teores de sulfato

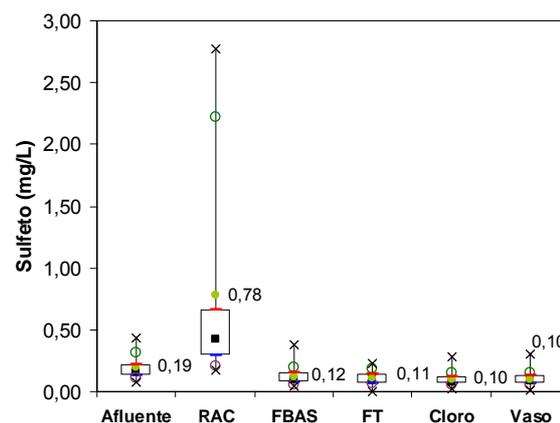


Figura 5-13: Evolução dos teores de sulfeto

### 5.3.6 Resumo do desempenho de cada tratamento

A Tabela 5-20 apresenta um resumo de como cada etapa de tratamento que compõe a ETAC contribui para a qualidade final da água cinza tratada. Observou-se que a maior parte dos compostos presentes na água cinza bruta foi removida no tratamento biológico RAC + FBAS.

O RAC foi de fundamental importância, pois removeu boa parte dos sólidos e da matéria orgânica presente na água cinza bruta sem praticamente nenhum aporte energético. Além disso, esse reator produziu pouco lodo e a operação foi bastante simples.

Embora no FBAS necessite-se de aeração constante (fornecida pelo compressor) e de descartes periódicos de lodo do decantador, ele complementou significativamente a remoção do material particulado e da matéria orgânica remanescente do reator anaeróbio, já chegando a níveis de concentração que atendem, em alguns parâmetros, a normas e padrões mais restritivos. Além disso, o efluente tratado pelo FBAS é completamente desprovido de odor.

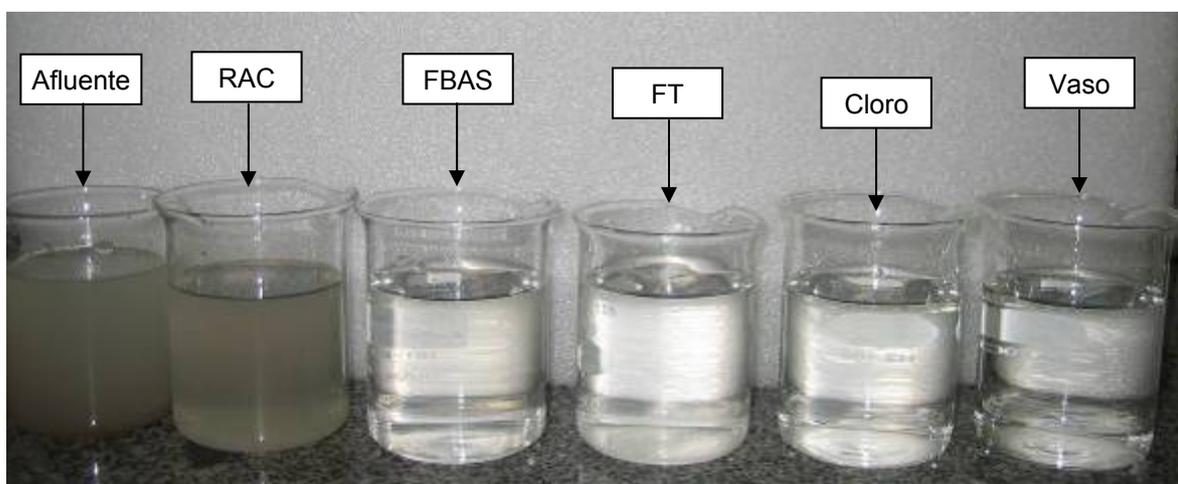
O FT praticamente não contribuiu para o aumento da eficiência de remoção dos parâmetros analisados. Em alguns casos, o efluente, após passar pelo tratamento terciário, apresentou uma piora na sua qualidade. Além disso, a necessidade de operações mais complexas como, por exemplo, as lavagens periódicas com ar e água, justifica que o tratamento em nível terciário não se faz tão necessário no sistema de reúso estudado (Figura 5-14).

Em contrapartida, a etapa de desinfecção é de extrema importância, pois enquadra o efluente tratado para o reúso em termos de concentrações de microrganismos. O cloro remove também a cor remanescente dos tratamentos anteriores, percebida principalmente quando armazenada em grandes volumes, além de ser mais uma garantia de eliminação do odor.

**Tabela 5-20:** Resumo da remoção das etapas do tratamento para a qualidade final da água cinza tratada

| Parâmetros             | Tratamentos |      |    |       |
|------------------------|-------------|------|----|-------|
|                        | RAC         | FBAS | FT | Cloro |
| <b>Cor</b>             | +++         | ++++ | +  | +++   |
| <b>Turbidez</b>        | +++         | ++++ | ++ | ↓     |
| <b>SST</b>             | ++++        | +++  | ↓  | +     |
| <b>DBO<sub>5</sub></b> | +++         | ++++ | ++ |       |
| <b>DQO</b>             | ++++        | ++++ | ++ | +     |
| <b>E.coli</b>          | ++          | +++  | +  | ++    |
| <b>Coli total</b>      | +++         | ++   | +  | ++++  |

LEGENDA: ++++ - Eficiência de remoção de 100 a 70% (ou 4 logs)  
 +++ - Eficiência de remoção de 69 a 40% (ou 3 logs)  
 ++ - Eficiência de remoção de 39 a 10% (ou 2 logs)  
 + - Eficiência de remoção < 10% (ou < 1 log)  
 ↓ - Piora na qualidade em relação ao tratamento anterior



**Figura 5-14:** Amostras coletadas em cada etapa de tratamento e no vaso sanitário

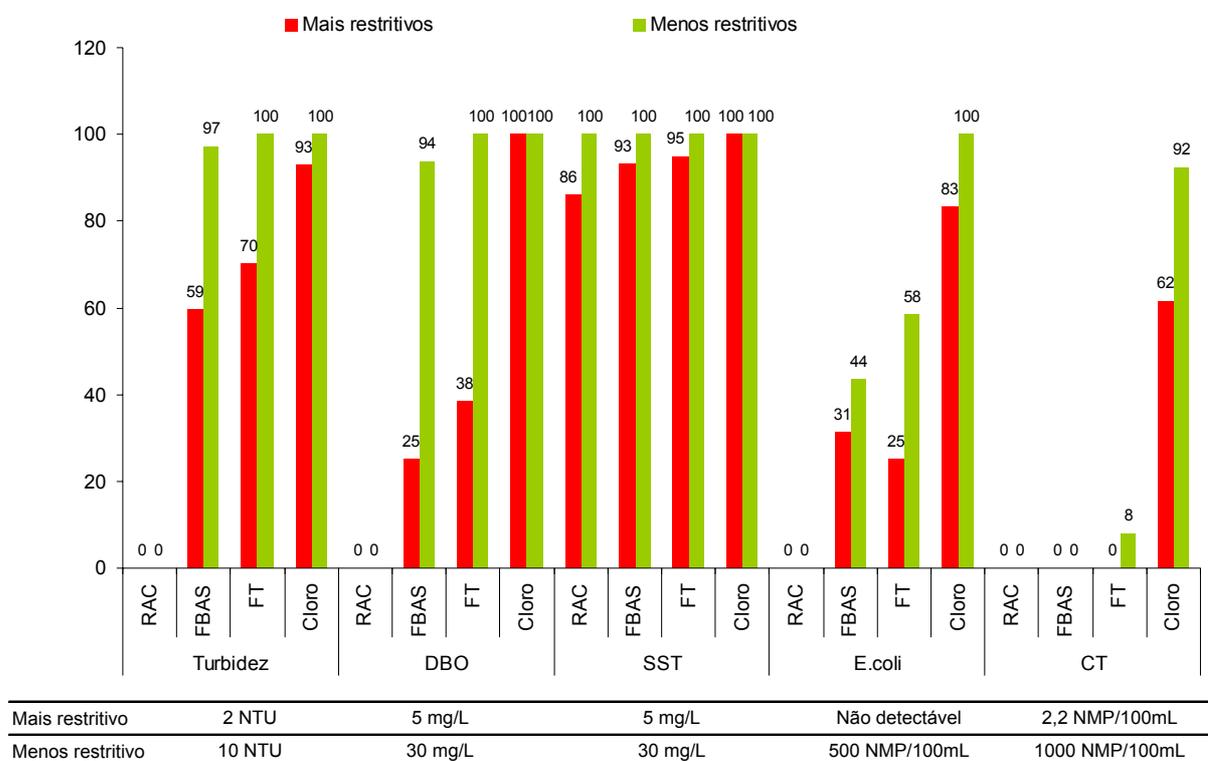
### 5.3.7 Atendimento aos limites e padrões

Foi realizada uma análise da frequência de atendimento aos padrões (mais e menos restritivos), de acordo com as tabelas 3-6 e 3-7. Essa análise foi feita em termos de porcentagem para cada tratamento e parâmetro analisado.

Dessa forma, pode-se observar que somente o RAC não foi suficiente para produzir água cinza tratada de qualidade compatível com o uso em descarga de vasos sanitários. Com exceção da concentração de SST (que foi atendida em 85% das amostras para o padrão mais restritivo e para 100% das amostras para o menos restritivo), os demais parâmetros não apresentaram nenhuma amostra dentro dos padrões, após passar pelo reator anaeróbio. Entretanto, ele foi imprescindível, pois proporciona a redução da carga orgânica para os tratamentos subsequentes (Figura 5-15).

Parâmetros como turbidez e DBO já são praticamente alcançados em todas as amostras, ao passar pelo FBAS, em termos dos padrões menos restritivos (97% e 94%, respectivamente). Entretanto, para que o padrão mais restritivo seja alcançado é necessária a desinfecção.

No caso dos parâmetros microbiológicos, o padrão mais restritivo só é alcançado em 83% das amostras, no caso de *E. coli*, e em 62% das amostras no caso de coliformes totais.



**Figura 5-15:** Porcentagem de atendimento aos padrões mais e menos restritivos

### 5.3.8 Outros parâmetros monitorados

Os resultados do monitoramento do pH, Condutividade elétrica, OD, Alcalinidade, cloreto e dureza estão estatisticamente resumidos na Tabela 5-21. Esses parâmetros, assim como na etapa de caracterização, mostraram-se bastante variados, evidenciado pelo alto desvio padrão e coeficiente de variação.

**Tabela 5-21:** Resultado do monitoramento da ETAC

| Parâmetro                      | Ponto    | n  | média | mín  | máx   | DP    | CV   |
|--------------------------------|----------|----|-------|------|-------|-------|------|
| pH                             | Afluente | 37 | 7,07  | 4,87 | 9,03  | 0,79  | 0,11 |
|                                | RAC      | 37 | 6,80  | 6,41 | 7,29  | 0,24  | 0,04 |
|                                | FBAS     | 37 | 7,18  | 6,46 | 7,78  | 0,24  | 0,03 |
|                                | FT       | 28 | 7,19  | 6,71 | 7,79  | 0,28  | 0,04 |
|                                | Cloro    | 15 | 6,80  | 6,07 | 7,30  | 0,39  | 0,06 |
|                                | Vaso     | 32 | 7,17  | 6,63 | 7,71  | 0,23  | 0,03 |
| Condutividade elétrica (uS/cm) | Afluente | 36 | 291   | 95   | 764   | 174   | 0,60 |
|                                | RAC      | 37 | 414   | 187  | 863   | 179   | 0,43 |
|                                | FBAS     | 37 | 378   | 6    | 807   | 178   | 0,47 |
|                                | FT       | 28 | 384   | 152  | 888   | 193   | 0,50 |
|                                | Cloro    | 15 | 478   | 271  | 924   | 185   | 0,39 |
|                                | Vaso     | 32 | 255   | 101  | 747   | 128   | 0,50 |
| OD (mg/L)                      | Afluente | 29 | 0,7   | 0,0  | 4,9   | 1,0   | 1,39 |
|                                | RAC      | 29 | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   |      |
|                                | FBAS     | 29 | 4,7   | 2,5  | 5,8   | 0,9   | 0,19 |
|                                | FT       | 21 | 5,2   | 3,1  | 7,1   | 1,2   | 0,24 |
|                                | Cloro    | 11 | 7,6   | 7,0  | 3,1   | 0,3   | 0,04 |
|                                | Vaso     | 24 | 7,3   | 5,1  | 8,9   | 1,3   | 0,17 |
| Alcalinidade (mg/L)            | Afluente | 36 | 90,3  | 24,9 | 197,5 | 43,6  | 0,48 |
|                                | RAC      | 36 | 171,2 | 79,1 | 292,9 | 66,7  | 0,39 |
|                                | FBAS     | 35 | 86,2  | 41,7 | 161,7 | 35,2  | 0,41 |
|                                | FT       | 28 | 93,5  | 22,0 | 229,8 | 50,3  | 0,54 |
|                                | Cloro    | 15 | 77,1  | 28,9 | 113,0 | 26,3  | 0,34 |
|                                | Vaso     | 31 | 46,0  | 15,4 | 98,5  | 23,0  | 0,50 |
| Cloreto (mg/L)                 | Afluente | 36 | 21,7  | 1,6  | 125,5 | 21,1  | 0,97 |
|                                | RAC      | 37 | 10,6  | 0,0  | 100,4 | 19,2  | 1,81 |
|                                | FBAS     | 37 | 32,0  | 12,0 | 92,4  | 20,8  | 0,65 |
|                                | FT       | 35 | 29,8  | 10,9 | 77,6  | 17,3  | 0,58 |
|                                | Cloro    | 15 | 38,5  | 20,5 | 122,0 | 27,0  | 0,70 |
|                                | Vaso     | 32 | 21,7  | 2,1  | 70,7  | 13,5  | 0,62 |
| Dureza (mg/L)                  | Afluente | 35 | 107,4 | 12,0 | 681,6 | 164,7 | 1,53 |
|                                | RAC      | 36 | 86,2  | 42,0 | 280,8 | 45,7  | 0,53 |
|                                | FBAS     | 36 | 108,2 | 37,9 | 708,2 | 120,8 | 1,12 |
|                                | FT       | 29 | 92,5  | 37,9 | 273,1 | 62,0  | 0,67 |
|                                | Cloro    | 14 | 109,5 | 4,1  | 778,9 | 194,3 | 1,77 |
|                                | Vaso     | 31 | 96,2  | 35,9 | 758,4 | 129,9 | 1,35 |

- **Compostos nitrogenados e fosforados**

Conforme observado na etapa de caracterização, as concentrações dos compostos nitrogenados e fosforados mostraram-se bastante inferiores às de um

esgoto com características médias. A ETAC, de maneira geral, não apresentou redução significativa de fósforo total, NTK e nitrogênio amoniacal (Tabela 5-22).

**Tabela 5-22:** Resultado do monitoramento da ETAC – compostos nitrogenados e fosforados

| Parâmetro                      | Ponto    | n  | média | mín | máx  | DP   | CV   |
|--------------------------------|----------|----|-------|-----|------|------|------|
| <b>P<sub>T</sub> (mg/L)</b>    | Afluente | 36 | 2,3   | 0,1 | 9,3  | 2,9  | 1,26 |
|                                | RAC      | 36 | 2,2   | 0,2 | 7,9  | 2,0  | 0,94 |
|                                | FBAS     | 36 | 2,0   | 0,2 | 7,7  | 2,0  | 0,99 |
|                                | FT       | 31 | 1,9   | 0,0 | 7,8  | 1,9  | 1,00 |
|                                | Cloro    | 14 | 3,0   | 0,1 | 7,0  | 2,3  | 0,76 |
|                                | Vaso     | 30 | 1,6   | 0,1 | 6,8  | 2,0  | 1,21 |
| <b>NTK (mg/L)</b>              | Afluente | 31 | 11,9  | 0,4 | 44,7 | 11,0 | 0,93 |
|                                | RAC      | 31 | 15,5  | 0,4 | 84,2 | 17,1 | 1,10 |
|                                | FBAS     | 30 | 8,8   | 0,4 | 81,4 | 15,4 | 1,76 |
|                                | FT       | 30 | 8,1   | 0,0 | 49,5 | 12,4 | 1,54 |
|                                | Cloro    | 10 | 7,3   | 1,7 | 21,6 | 6,6  | 0,90 |
|                                | Vaso     | 26 | 7,3   | 0,2 | 81,0 | 15,5 | 2,13 |
| <b>NH<sub>3</sub>-N (mg/L)</b> | Afluente | 32 | 6,1   | 0,2 | 20,1 | 4,8  | 0,78 |
|                                | RAC      | 32 | 11,0  | 1,3 | 38,7 | 7,7  | 0,70 |
|                                | FBAS     | 32 | 5,7   | 0,1 | 44,9 | 8,6  | 1,51 |
|                                | FT       | 32 | 5,8   | 0,0 | 49,3 | 10,6 | 1,83 |
|                                | Cloro    | 10 | 0,1   | 0,0 | 0,2  | 0,1  | 0,60 |
|                                | Vaso     | 27 | 1,4   | 0,0 | 5,2  | 1,5  | 1,11 |

### • **Óleos e graxas e surfactantes**

A ETAC apresentou uma eficiência de remoção de O&G e surfactante aniônico bastante considerável já no reator anaeróbio, sendo 25% e 34% respectivamente (Tabela 5-23).

A remoção de surfactantes é muito importante quando se trata de reúso em descarga de vasos sanitários, devido à possível formação de espuma no momento da descarga.

Observou-se que após o início da introdução do efluente da cozinha na elevatória de água cinza bruta, as concentrações de O&G afluente aumentaram e houve, conseqüentemente, uma ligeira piora no desempenho da estação. Isso evidencia que para sistemas de reúso predial a introdução de efluentes oriundos de cozinha não é muito vantajosa.

**Tabela 5-23:** Resultado do monitoramento da ETAC – O&G e Surfactante aniônico

| Parâmetro                          | Ponto    | n  | média | mín | máx  | DP  | CV   |
|------------------------------------|----------|----|-------|-----|------|-----|------|
| <b>O&amp;G (mg/L)</b>              | Afluente | 26 | 8,5   | 2,9 | 15,7 | 4,2 | 0,49 |
|                                    | RAC      | 25 | 1,4   | 0,1 | 3,8  | 0,8 | 0,60 |
|                                    | FBAS     | 26 | 1,0   | 0,0 | 3,1  | 0,8 | 0,78 |
|                                    | FT       | 22 | 1,1   | 0,0 | 3,5  | 1,1 | 0,96 |
|                                    | Cloro    | 8  | 1,0   | 0,2 | 1,5  | 0,5 | 0,52 |
|                                    | Vaso     | 18 | 0,9   | 0,1 | 2,5  | 0,5 | 0,62 |
| <b>Surfactante aniônico (mg/L)</b> | Afluente | 34 | 2,4   | 0,9 | 14,9 | 2,7 | 1,09 |
|                                    | RAC      | 34 | 1,2   | 0,1 | 5,4  | 1,2 | 0,95 |
|                                    | FBAS     | 34 | 0,4   | 0,0 | 1,6  | 0,4 | 1,06 |
|                                    | FT       | 26 | 0,3   | 0,0 | 0,9  | 0,2 | 0,85 |
|                                    | Cloro    | 15 | 0,5   | 0,2 | 1,7  | 0,4 | 0,73 |
|                                    | Vaso     | 30 | 0,3   | 0,0 | 1,2  | 0,3 | 0,94 |

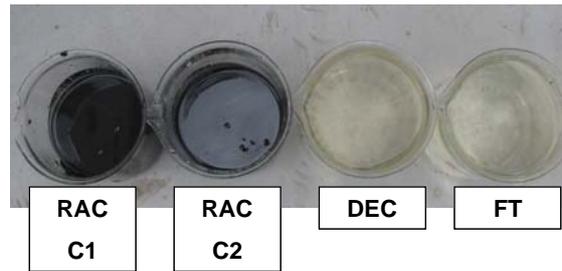
## 5.4 Características dos lodos gerados

Conforme comentado anteriormente, para partida do RAC foi colocado em sua primeira câmara aproximadamente 140 litros de lodo proveniente de um reator UASB tratando esgoto sanitário. Esse lodo foi coletado na torneira situada a 0,1m do fundo e possuía teor de sólidos totais de 0,6% e relação SV/ST de 74%.

A caracterização dos lodos gerados na estação de tratamento de água cinza iniciou-se aproximadamente dois meses após a sua partida. A Tabela 5-24 ilustra as características dos lodos provenientes das câmaras 1 e 2 do RAC, do descarte do decantador do FBAS e da lavagem do FT (Figura 5-16).

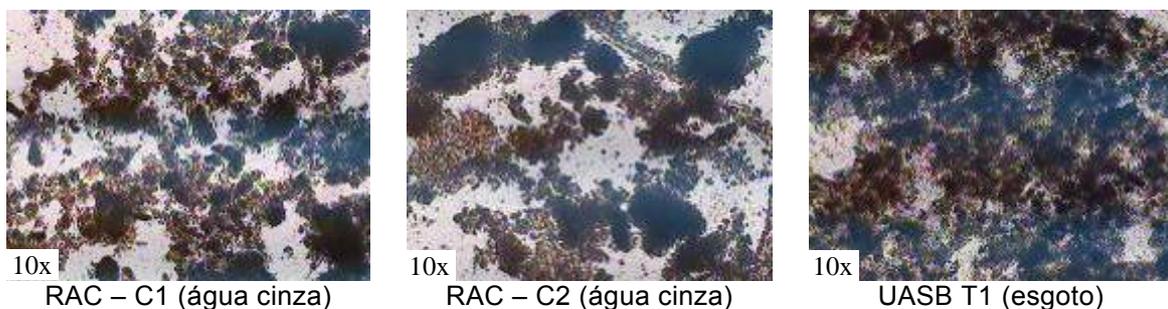
**Tabela 5-24:** Características do lodo produzido nos sistemas de tratamento

| Lodo            | ST (%) | SV/ST (%) |
|-----------------|--------|-----------|
| RAC - C1        | 0,59   | 77,0%     |
| RAC - C2        | 0,54   | 73,9%     |
| DEC             | 0,004  | 32,1%     |
| FT <sub>1</sub> | 0,008  | 60,1%     |
| FT <sub>2</sub> | 0,004  | 25,3%     |



**Figura 5-16:** Lodos provenientes das câmaras 1 e 2 do RAC, do descarte do decantador do FBAS e da lavagem do FT

Os lodos anaeróbios coletados na primeira e na segunda câmara do RAC apresentaram teores de sólidos totais médios bem próximos um do outro (0,59% para C1 e 0,54% para C2). Ambos podem ser considerados como lodo fluido, segundo van Haandel e Lettinga (1994). Observou-se, através de microscopia ótica com aumento de 10 vezes, que os lodos das duas câmaras do RAC apresentaram a estrutura do floco mais dispersa, quando comparados com o lodo do reator UASB inicialmente colocado para partida. Entretanto, ambos os lodos são floculentos e possuem também alguns grânulos dispersos (Figura 5-17). A elevada relação SV/ST indica que esses lodos possuem um bom grau de estabilização, característicos de lodos digeridos anaerobiamente.



**Figura 5-17:** Comparação através de microscopia ótica de lodos anaeróbios tratando água cinza e esgoto sanitário

Os lodos aeróbio e terciário são ainda mais fluidos que os anaeróbios. Eles possuem teores de sólidos totais baixíssimos, 0,008% para o lodo do início da lavagem do FT (FT<sub>1</sub>) e 0,004% tanto para o lodo de descarte do decantador (DEC) quanto para o de final de lavagem do FT (FT<sub>2</sub>). Esses lodos também se apresentaram menos estabilizados que o lodo anaeróbio, todavia eles retornam ao início do tratamento, onde são digeridos no próprio RAC. Dessa forma, pode-se considerar que o lodo coletado no RAC é um lodo misto.

## 5.5 Quantificação da produção e da demanda de águas cinza do prédio ETE-UFES

Os resultados a seguir foram obtidos a partir dos dados de monitoramento dos hidrômetros instalados nos aparelhos sanitários durante os meses de julho a setembro de 2005, correspondendo a um total de 44 dias (excluindo finais de semana e feriados). As análises dos consumos de água do prédio foram realizadas considerando o uso da máquina de lavar roupa e desconsiderando o seu uso.

### 5.5.1 Consumo de água global

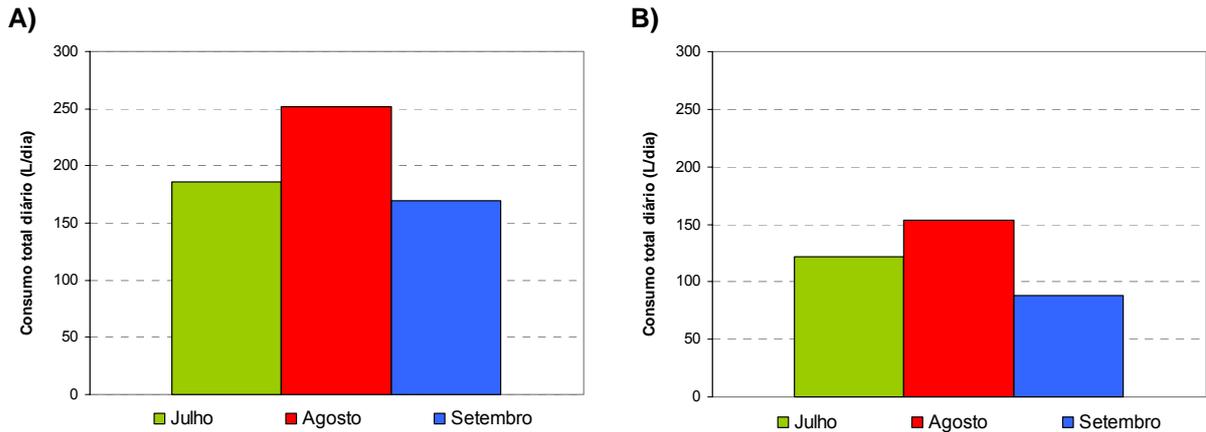
O consumo de água foi avaliado em termos do consumo total de água no prédio e do consumo medido em cada aparelho sanitário

#### 5.5.1.1 Consumo total

O consumo diário médio de água (reúso + potável) do prédio foi em média 202,1L/dia (Figura 5-18A). Esse consumo representou apenas 8,3% do consumo teórico calculado anteriormente (tabelas 4-1 e 4-2). Além de ter sido considerada uma população usuária máxima de 60 pessoas, que não foi atingida em nenhum momento do monitoramento, as frequências e durações de uso dos aparelhos foram superestimadas para efeito de dimensionamento da ETAC.

Estimando-se que a população usuária real do prédio fosse de 20 pessoas por dia, o *per capita* de água seria, em média, de 10,1L/pessoa.dia. Von Sperling (2005) cita os consumos de água típicos de alguns estabelecimentos e, no caso de banheiros públicos, a faixa de vazão típica é de 10 a 25L/usuário.dia.

Se o cálculo do consumo de água for feito desconsiderando o uso da máquina de lavar, o consumo de água no prédio seria reduzido em torno de 40% (Figura 5-18B).

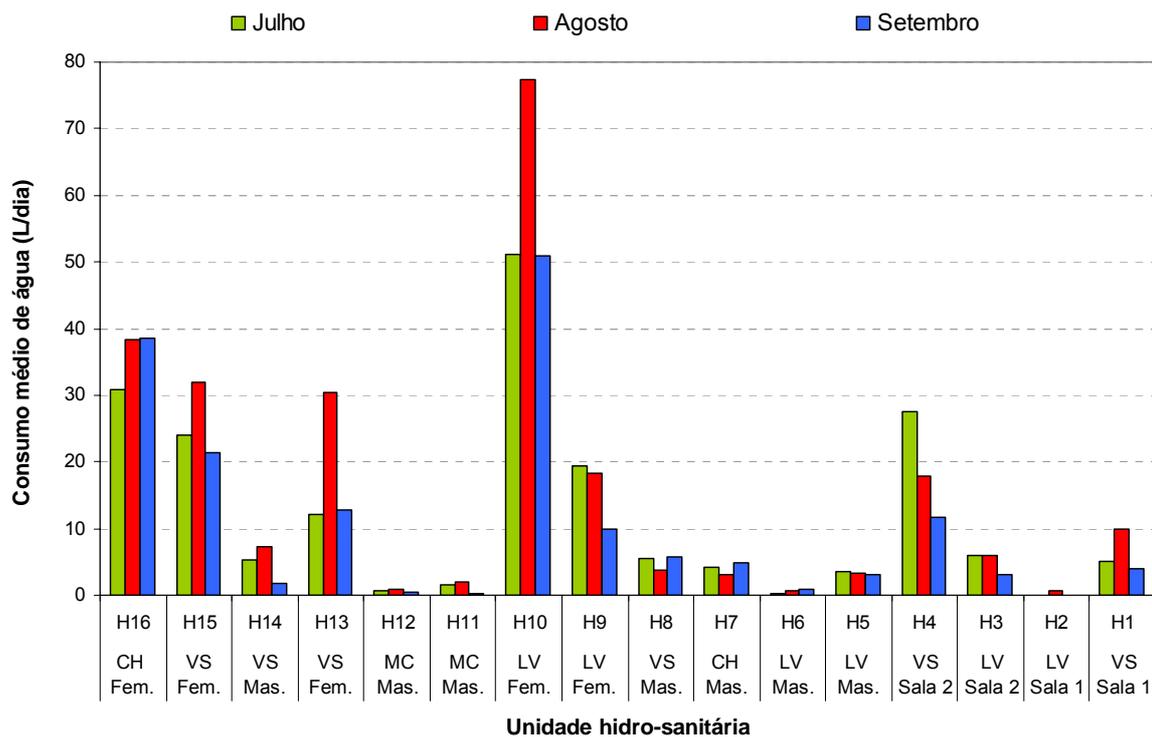


**Figura 5-18:** Consumo total diário de água do prédio A) com máquina de lavar; B) sem máquina de lavar

### 5.5.1.2 Consumo por aparelho sanitário (hidrômetros)

O lavatório monitorado pelo hidrômetro H10 foi o que apresentou o maior consumo médio de água mensal, pois nele foi acoplada uma máquina de lavar roupa onde eram feitas lavagens quase que diariamente. O volume de água gasto em cada lavagem era de aproximadamente 70 litros.

Os aparelhos sanitários do banheiro feminino foram os mais utilizados durante o monitoramento, porque a população de mulheres era muito superior a de homens (Figura 5-19).



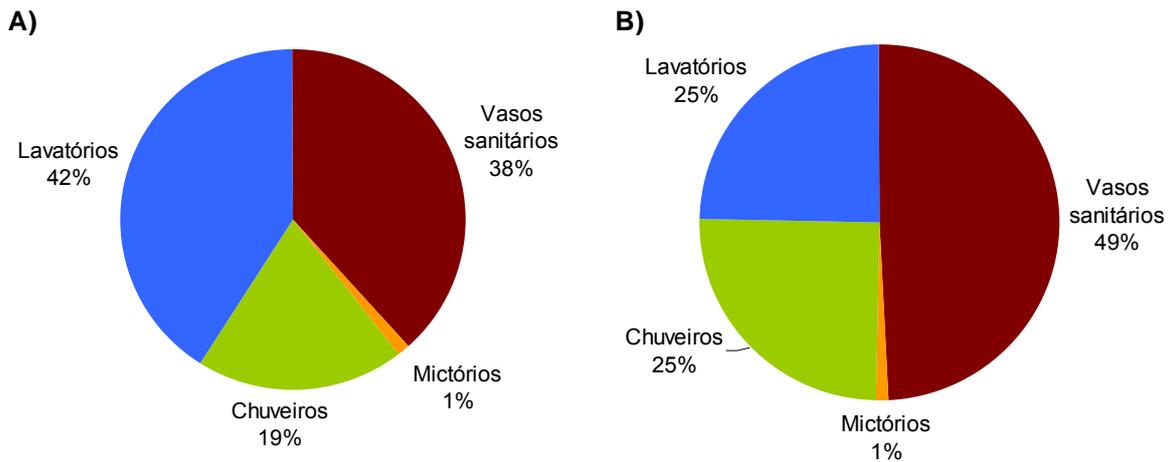
LEGENDA: CH – Chuveiro; VS – Vaso sanitário; MC – Mictório; LV – Lavatório

Figura 5-19: Distribuição do consumo de água por aparelho sanitário

### 5.5.2 Distribuição do consumo de água por tipo de aparelhos sanitários

Os resultados da medição do consumo de água em cada aparelho mostraram que todos os vasos sanitários, mictórios e chuveiros consumiram, em média, um volume de 79, 2 e 40L/mês respectivamente. Os lavatórios consumiram 85L/mês considerando o uso da máquina de lavar. Se esse uso for desconsiderado, o consumo de água dos lavatórios cai para um pouco menos da metade (40L/dia).

Nessas duas situações (com e sem o uso da máquina de lavar), os consumos de água dos vasos sanitários e mictórios ficaram em pelo menos até 50% do consumo total, mostrando que água de reúso atendeu à demanda requerida por esses aparelhos, na maior parte do tempo (Figura 5-20).



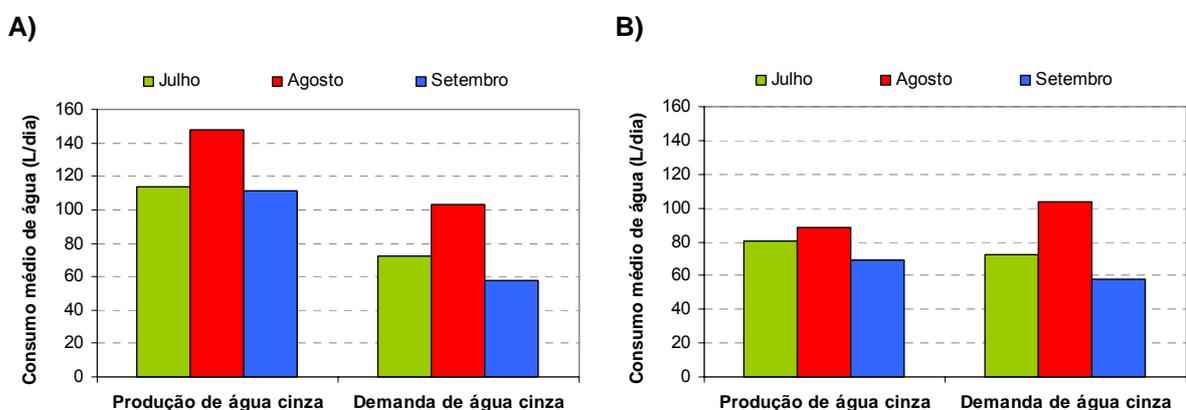
**Figura 5-20:** Distribuição do consumo de água por tipo de aparelho sanitário A) com máquina de lavar; B) sem máquina de lavar

### 5.5.3 Produção x demanda de água cinza

A análise da produção e da demanda de água cinza foi feita de forma mensal, diária e horária.

#### 5.5.3.1 Análise mensal

A produção diária média de água cinza, nos três meses monitorados, atendeu à demanda requerida pelos vasos sanitários. Se não tivesse ocorrido a lavagem de roupa, a produção de água cinza seria menor, mas ainda assim a demanda também seria atendida (Figura 5-21).



**Figura 5-21:** Média Produção x demanda de água cinza do prédio da UFES A) com máquina de lavar; B) sem máquina de lavar

### 5.5.3.2 Análise diária

Durante os meses analisados, a produção superou a demanda de água cinza na maior parte dos dias (Figura 5-22). Um déficit de água de reúso ocorreu apenas em 8 dos 44 dias monitorados. Quando ocorre um déficit de água de reúso os vasos sanitários e mictórios são abastecidos com água potável, automaticamente.

O início da lavagem de roupas ocorreu no dia 7/07/2005 e, a partir desse dia, o volume acumulado de água de reúso tendeu a crescer, chegando ao final do monitoramento a valores superiores a 1800 litros (Figura 5-23).

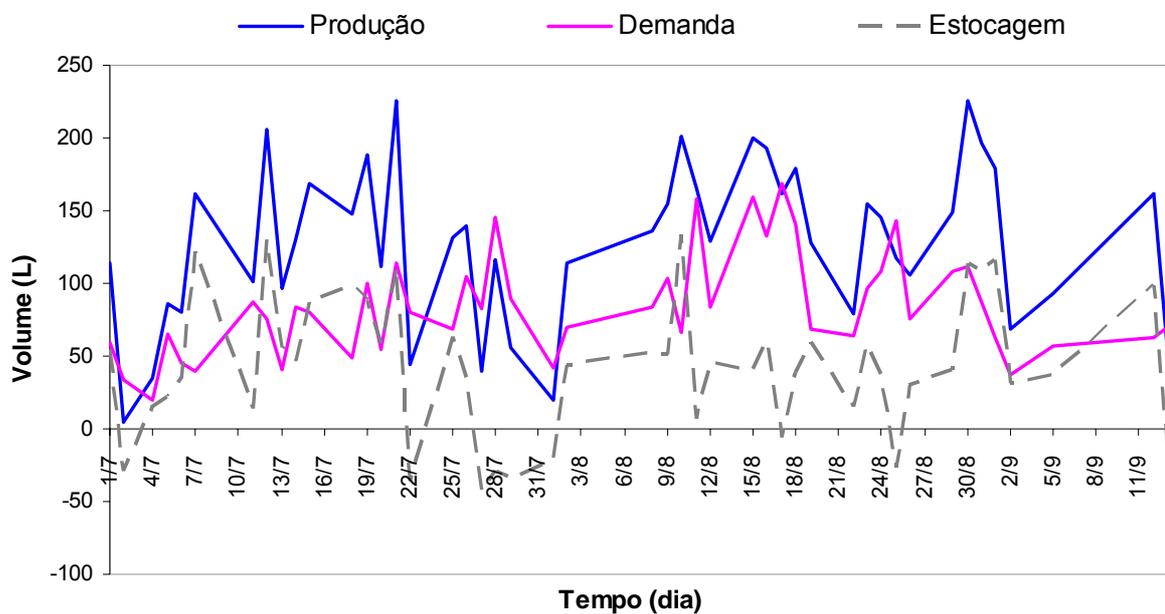
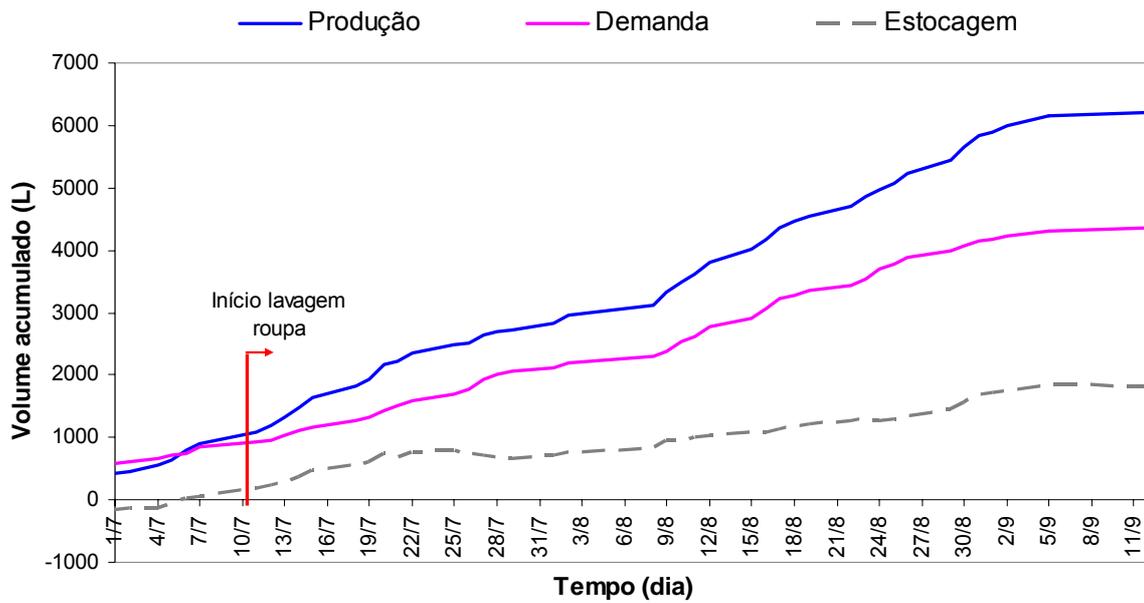


Figura 5-22: Produção x demanda diária de água cinza com o uso da máquina de lavar



**Figura 5-23:** Produção x demanda diária acumulada de água cinza com uso da máquina de lavar

Simulando o monitoramento do consumo de água sem o uso da máquina de lavar, observa-se que a produção de água cinza diminuiria bastante (Figura 5-24). Os dias de déficit de água de reúso passariam de 7 para 27 dos 44 dias monitorados.

A produção e demanda acumulada de água cinza apresentou um déficit acumulado, ao final do monitoramento, de 262 litros de água de reúso. (Figura 5-25).

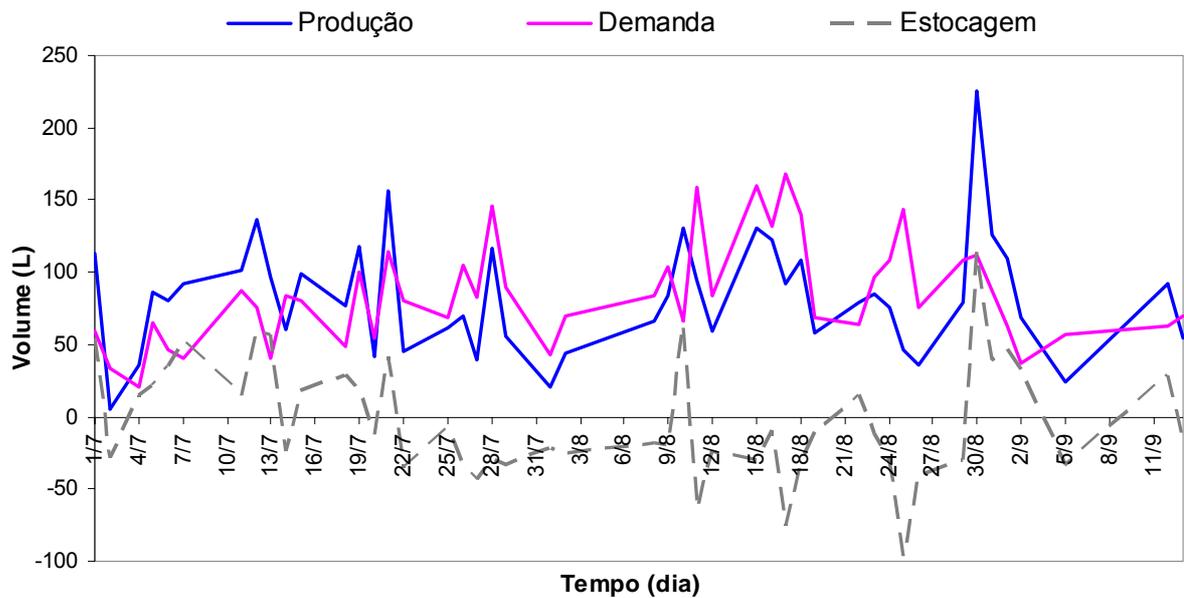


Figura 5-24: Produção x demanda diária de água cinza sem uso da máquina de lavar

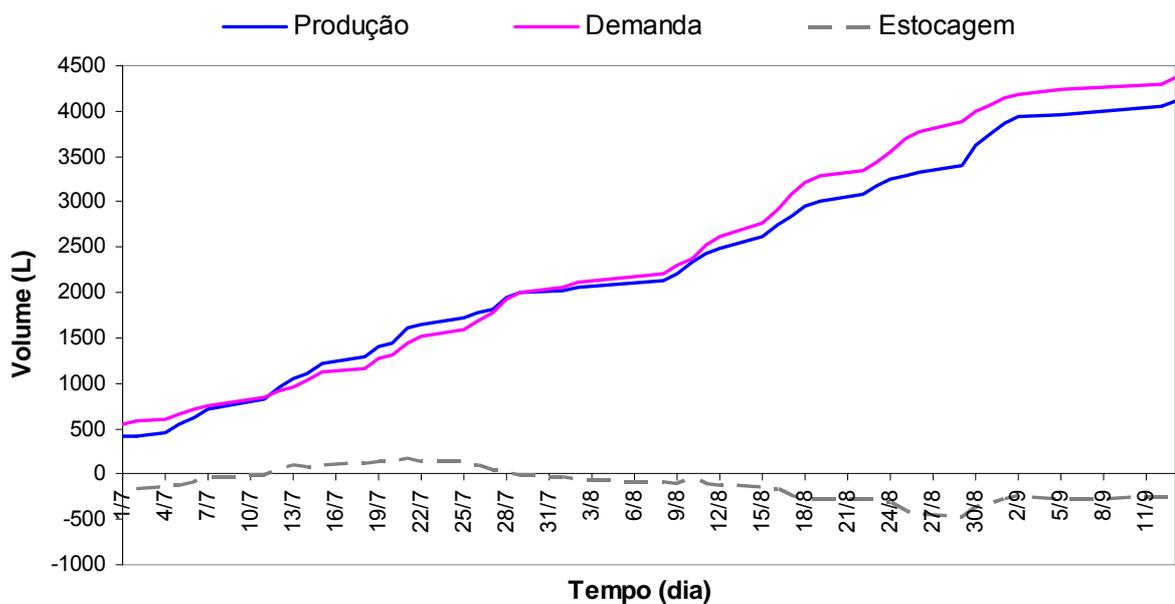


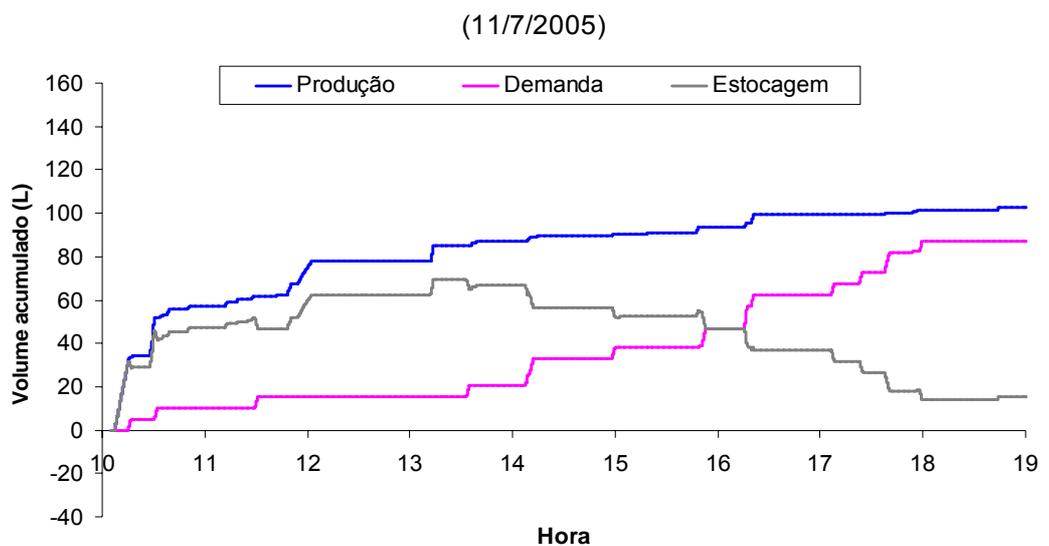
Figura 5-25: Produção x demanda diária acumulada de água cinza sem uso da máquina de lavar

### 5.5.3.3 Análise horária

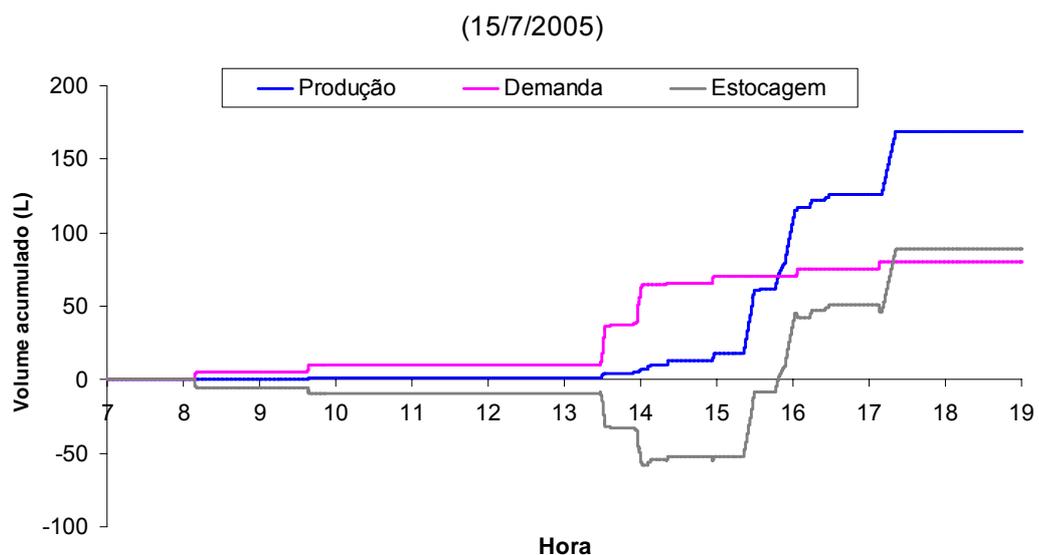
Através de uma análise horária da produção e demanda de água cinza acumulada é possível observar-se, em algum momento do dia (8h às 18h), que houve déficit de água cinza estocada, ou seja, se foi necessário suprir a demanda dos vasos sanitários e mictórios com água potável.

No dia 11/7/2005, por exemplo, a produção de água cinza superou a demanda em todo horário de funcionamento do prédio, havendo ainda um estoque de água cinza de 15,7 litros (Figura 5-26).

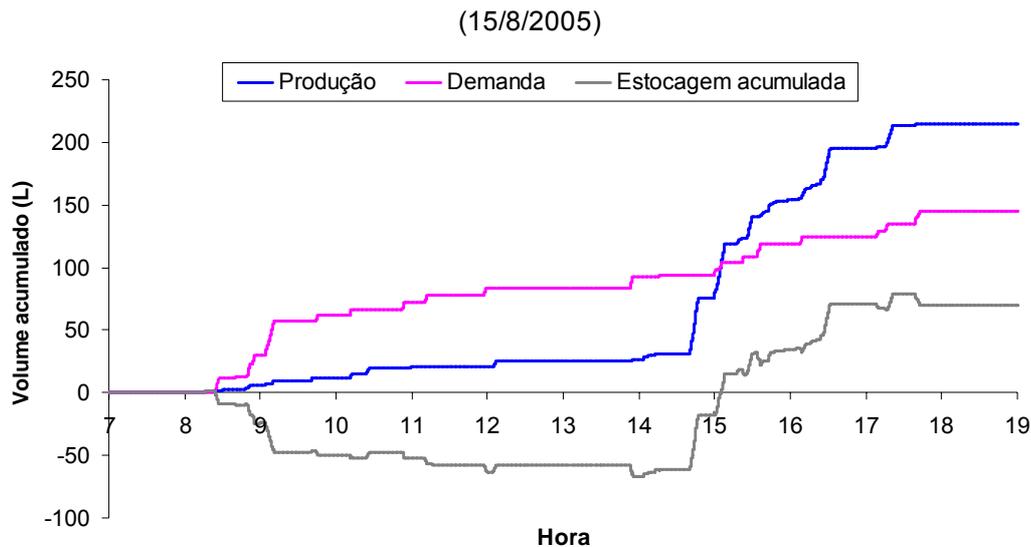
Nos dias 15/7/2005 (Figura 5-27) e 15/8/2005 (Figura 5-28) houve déficit de água cinza de 13h30 às 15h50 e de 8h30 às 15h, respectivamente. Entretanto, ao final do dia (18h) houve estocagem de água cinza de 89 litros no dia 15/7 e de 70 litros no dia 15/8.



**Figura 5.26:** Produção x demanda horária de água cinza edificação UFES (11/07/2005)



**Figura 5-27:** Produção x demanda horária de água cinza edificação UFES (15/07/2005)



**Figura 5-28:** Produção x demanda horária de água cinza edificação UFES (15/08/2005)

#### **5.5.4 Simulação do consumo total de água potável e da produção de águas residuárias**

Conforme observado anteriormente, o uso da máquina de lavar proporcionou um aumento da produção de água cinza e, conseqüentemente, uma diminuição do déficit de água de reúso demandada pelos vasos sanitários. Entretanto, o consumo de água potável também sofreu um aumento.

As figuras 5-29 e 5-30 ilustram como foi o consumo total de água (potável e de reúso) e a produção de águas residuárias (águas cinza, águas negras, águas amarelas) durante os 44 dias de monitoramento, considerando quatro cenários distintos de abastecimento de água:

- ✓ Cenário 1: Sem sistema de reúso e sem máquina de lavar;
- ✓ Cenário 2: Sem sistema de reúso e com máquina de lavar;
- ✓ Cenário 3: Com sistema de reúso e sem máquina de lavar;
- ✓ Cenário 4: Com sistema de reúso e com máquina de lavar.

O consumo de água potável é maior, como já era de se esperar, quando o sistema de reúso não é utilizado e quando há a lavagem de roupa. Quando se compara apenas os cenários com o uso do sistema de reúso, o consumo de água potável também é maior quando se utiliza a máquina.

A produção de águas residuárias não é alterada se a comparação for feita entre os cenários 1 e 3 e entre os cenários 2 e 4. Entretanto, com a utilização do sistema de reúso do prédio é possível segregar as águas residuárias e dar destinos diferentes a cada uma delas. As águas cinza, como é proposto neste trabalho, após passar por um tratamento, são utilizadas para abastecer a descarga dos vasos sanitários do prédio. As águas negras e amarelas podem, por exemplo, ser utilizadas como fertilizantes naturais agrícolas após passar por algum processamento prévio. Nesse contexto, o melhor cenário é o 3, pois é o que consome o menor volume de água e ainda utiliza o sistema de reúso com segregação das águas residuárias.

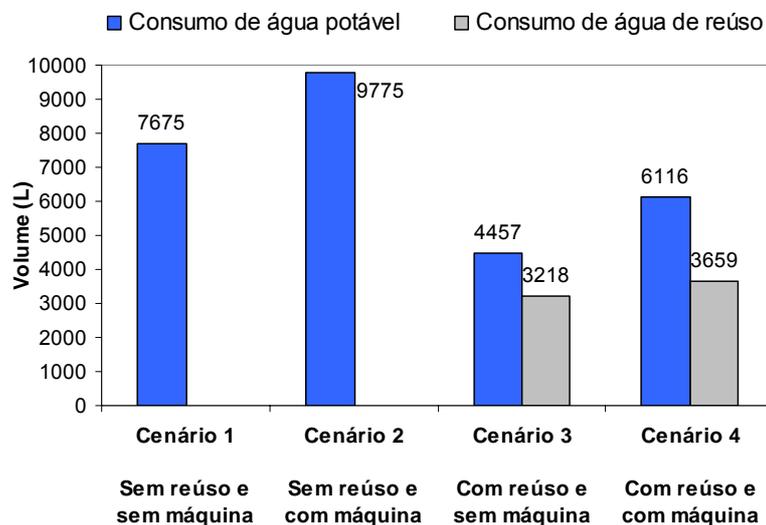


Figura 5-29: Consumo total de água potável e de reúso

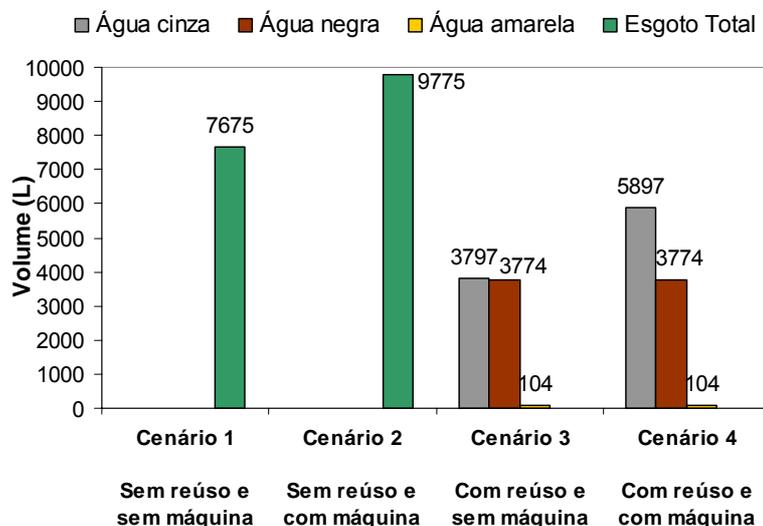


Figura 5-30: Produção de águas residuárias (águas cinza, águas negras, águas amarelas)

## 6. Conclusão

Com relação à caracterização qualitativa da água cinza segregada:

1. De maneira geral, as diversas frações da águas cinza coletadas em lavatórios, chuveiros, tanque, máquina de lavar e pia de cozinha apresentaram características variadas quando comparadas umas com as outras.
2. Os resultados apresentaram a presença significativa de matéria orgânica rapidamente biodegradável e sulfatos. Isso evidencia o grande potencial de produção de  $H_2S$ , caso não seja realizado um tratamento adequado.
3. Evidenciou-se também a presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo), entretanto, em menor quantidade que no esgoto sanitário de características médias, já que a maior parte deles é oriunda dos excrementos (urina e fezes).
4. As concentrações de *E. coli* e coliformes totais (CT) também foram bastante significativas, mostrando que, mesmo com a ausência do efluente de vasos sanitários, existe a contaminação fecal. Dessa forma, é necessária a desinfecção previamente ao reúso.
5. Os efluentes de lavatório e de chuveiro apresentaram características semelhantes à de um esgoto com características de fracas a médias. Enquanto que os efluentes de tanque, máquina de lavar e pia de cozinha apresentaram características semelhantes a de um esgoto com características de médias a fortes.

Com relação ao monitoramento da estação de tratamento de águas cinza:

1. O RAC foi de fundamental importância, pois removeu boa parte dos sólidos e da matéria orgânica presente na água cinza bruta, sem praticamente aporte

energético. Além disso, esse reator produziu pouco lodo e a operação foi bastante simples.

2. A inserção da etapa de tratamento aeróbio à jusante do RAC incrementou consideravelmente a remoção de turbidez, cor e matéria orgânica e, em menor escala, a remoção de SST da água cinza bruta, chegando a níveis de concentração de alguns parâmetros, que atendem às normas e padrões. Além disso, o efluente tratado pelo FBAS é completamente desprovido de odor.
3. O FT não aportou reduções muito significativas nem de material particulado e orgânico, nem de microrganismos. Sendo que para alguns parâmetros, a qualidade do efluente piorou. Além disso, a necessidade de lavagens periódicas demonstra que o tratamento em nível terciário poderia ser eliminado no sistema de reúso estudado.
4. A etapa de desinfecção foi de extrema importância, pois complementou com eficiência a remoção de *E.coli* e CT, enquadrando o efluente tratado para o reúso em termos de concentrações de microrganismos nos padrões mais restritivos. O cloro removeu também a cor remanescente dos tratamentos anteriores e garantiu a completa desodorização.
5. Entretanto, após passar pelo FBAS as concentrações de *E. coli* foram menores do que as encontradas por Ornelas (2004) no selo hídrico de vasos sanitários abastecidos por água potável.
6. Com relação à frequência de atendimento aos padrões de reúso em descarga de vasos sanitários, praticamente todos os parâmetros físico-químicos tiveram 100% das amostras atendendo aos limites mais restritivos, após passar pela etapa de cloração, com exceção da turbidez, que, para o parâmetro mais restritivo, atendeu em 93% das amostras.
7. Ainda nessa mesma análise, mas com relação aos parâmetros microbiológicos, as porcentagens de atendimento aos padrões mais restritivos foram de 83% e 62% para *E. coli* e CT, respectivamente. Já com relação aos padrões menos restritivos, a porcentagem de atendimento foi de 100% e 92%, nessa mesma ordem.

Com relação às características dos subprodutos gerados na ETAC:

1. De maneira geral a ETAC apresentou uma baixa produção de lodo anaeróbio, pois não houve necessidade de descarte no período da pesquisa.
2. As amostras do lodo anaeróbio, tanto da câmara 1 quanto da câmara 2 apresentaram: alto grau de estabilização, estrutura floculenta e alguns grânulos dispersos.
3. Os lodos aeróbio e terciário apresentaram-se bastante líquidos, com baixíssimos teores de ST, além disso, ambos possuíam baixo grau de estabilização, justificando o seu retorno para o RAC, onde eram digeridos.
4. O retorno do lodo aeróbio e terciário para elevatória de água cinza bruta não influenciou na eficiência de tratamento.

Com relação ao monitoramento da produção e demanda de água cinza da edificação da UFES:

1. O consumo diário médio de água (reúso + potável) do prédio foi em média 202,1L/dia, considerando o uso da máquina de lavar, e 121,2 L/dia, se esse uso fosse desconsiderado.
2. A distribuição do consumo de água por tipo de aparelho mostrou que os lavatórios foram os que consumiram mais água (42%), quando considerado o uso da máquina de lavar. Já quando esse uso foi desconsiderado, os aparelhos que consumiram mais foram os vasos sanitários (49%).
3. A produção diária média de água cinza, considerando o uso da máquina de lavar, atendeu à demanda requerida pelos vasos sanitários e mictórios, nos três meses monitorados. Quando o seu uso é desconsiderado, a demanda dos vasos não foi atendida no mês de agosto.
4. Através da análise de quatro cenários, observou-se que o pior cenário foi o 2 (s/ reúso e c/ MQ) com maior consumo de água potável e o melhor

cenário foi o 3 (c/ reúso e s/ MQ) pois apresentou menor consumo de água potável e, ainda, segregação das águas residuárias

## *7. Recomendações*

- Quantificar a produção de biogás produzida pelo RAC, bem como avaliar a composição do mesmo em termos de metano e sulfetos;
- Definir procedimentos para caracterizar o coeficiente de produção de lodo anaeróbio;
- Estudar possíveis modificações no tratamento anaeróbio, com a inclusão de meio suporte plástico na 1ª câmara do RAC para melhor retenção da biomassa.
- Estudar a remoção de outros microrganismos presentes na água cinza, tais como salmonela, giárdia, ovos de helmintos, vírus entéricos, entre outros;
- Testar novas configurações de tratamento de água cinza visando ao reúso, tanto para descargas sanitárias quanto para outros fins não-potáveis, tais como lavagem de roupa, irrigação de jardins, etc.
- Avaliar a qualidade da água cinza tratada com a eliminação da etapa de filtração terciária.
- Avaliar se há formação de organoclorados, como por exemplo, os trihalometanos, em virtude da desinfecção à base de cloro.
- Testar outros tipos de processos de desinfecção, como, por exemplo, a desinfecção com radiação UV.
- Avaliar diversos cenários possíveis ao reúso ou não de água cinza com relação às fontes de água potável existentes na região da Grande Vitória.
- Estudar a viabilidade econômica da implantação do sistema de reúso em novos empreendimentos.

## 8. Referências Bibliográficas

AISSE, M. M.; COURACCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; JÜRGENSEN, D.; LAPOLLI, F. R.; MELO, H. N. S.; PIVELI, R. P.; LUCCA, S. J. Cloração e Descloração. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. cap. 4, p. 113-168.

AISSE, M. M.; ALÉM SOBRINHO, P. **Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico aerado submerso para o tratamento de esgoto sanitário**. 2001. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/coletanea2 /ART15.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2005.

ALMEIDA, M. C.; BUTLER, D.; FRIEDLER, E. At-source domestic wastewater quality. **Urban Water**. v. 1, n.1, p. 49-55, 1999.

ALPHA . **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19. ed. Washington: American Public Health Association, 1995.

ANDERSON, J. Prospect for international guidelines for water recycling. **Water** 21. p. 16-21, ago. 2001

ARBUÉS F.; GARCÍA-VALIÑAS, M. Á.; MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. **Journal of Socio-Economics**. v. 32, n. 1, p. 81-102, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação: NBR 13.969. Rio de Janeiro, 1997.

BOF, V. S. **Desempenho da associação em série de um reator UASB e um biofiltro aerado submerso tratando esgoto sanitário sob condições dinâmicas de carga e retorno do lodo aeróbio para o UASB**. 1996. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo.

BORGES, L. Z. **Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

BORTONE, G.; CIMATTI, E.; FAILLA, B.; SPADONI, M.; STANTE, L. **Inovative water saving systems in household in Europe**. In: Inter-regional Conference on Environmental-Water, 2, 1999. Disponível em: <[http://www.wca-infonet.org/servlet/BinaryDownloaderServlet?filename=1019210758250\\_148.pdf&refID=25327](http://www.wca-infonet.org/servlet/BinaryDownloaderServlet?filename=1019210758250_148.pdf&refID=25327)>. Acesso em: 23 ago. 2004.

BRITO, L. H. N. C.; CHERNICHARO, C.A. L.; VON SPERLING, M. Otimização de um reator UASB compartimentado aplicado ao tratamento de esgotos tipicamente domésticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., **Anais...** João Pessoa, PB: ABES, 2001.

BURNAT, J. M. Y.; MAHMOUD, N. **Evaluation of on-site gray wastewater treatment plants performance in Bilien and Biet-Diko Villages/ Palestine**. In: International water demand management conference, Dead Sea, Jordan, 2004. Disponível em: <[http://www.wdm2004.org/new\\_web/technical\\_session/files/jamal\\_burnat.pdf](http://www.wdm2004.org/new_web/technical_session/files/jamal_burnat.pdf)>. Acesso em: 11 ago. 2005.

BUTLER, D. FRIENDLER, E. GATT, K. Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. **Water Science Technology**. v. 31, n. 7, p. 13-24, 1995.

CMHC - CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION. Water reuse standards and verification protocol. **Research Highlight**. Technical Series 04-131, 2004. Disponível em: <<http://www.cmhc.ca>>. Acesso em: 11 ago. 2005.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. **Desalination**. V.106, n. 1-3, p. 391-397, 1996.

CURITIBA. **Lei nº10.785**, de 29 de março de 2003. Cria no município de Curitiba, o programa de conservação e uso racional de água nas edificações - PURAE. Disponível em: <[http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua\\_csb.pdf](http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua_csb.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2005.

DECA. Uso racional de água. Disponível em:<<http://www.deca.com.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2005.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A.; ROBINSON, M. Measurement and modeling of quality changes in stored untreated grey water. **Urban water**, v. 1, n. 4, p. 293-306, 1999.

EPA (US) -. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Manual: **Guidelines for water reuse**. EPA/625/R-92/004. Office of Water, Washington, DC, 1992.

EPA (US) -. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. EPA 625-R-04-108. Office of Water, Washington, DC, 2004.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**. v. 4, n.1, p. 58-104, 2002.

ESREY, S. et al.. **Ecological sanitation**. Sida, Stockholm, 1998.

FIESP. Conservação e reúso de água em edificações. São Paulo, Prol editora e gráfica, 2005.

GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; ALÉM SOBRINHO, P.; KATO, M. T.; COSTA, R. H. R.; AISSE, M. M.; ZAIAT, M. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme. In:

CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Seprac editora e gráfica, 2001. cap. 4, p. 171-278.

GONÇALVES, R. F. Plano de integração – Rede 5. **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**, Edital 4 (PROSAB 4), 2004. 12p.

GOVERNMENT OF BRITISH COLUMBIA. **State of Environmental Report**. Effect of Metering on Water Use, Canada, 1999 Disponível em: <<http://wlapwww.gov.bc.ca/soerpt/8surfacewateruse/metering.html>> Acesso em: 22 nov. 2005.

GREGORY, J. D., LUGG, R., SANDERS, B. Revision of the national reclaimed water guidelines. **Desalination**. v. 106, n. 1-3, p. 263-268, 1996.

GREY, S. R.; BECKER, N. S. C. Contaminant flows in urban residential water system. **Urban Water**. v. 4, n. 4, p. 331-346, 2002.

GREYWATER. What is it...how to treat it... how to use it. Disponível em: <<http://www.greywater.com/>>. Acesso em: 7 mar. 2004.

GÜNTER, F. Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden. **Ecological Engineering**. v. 15, n. 1-2, p. 139-146, 2000.

HARREMÖES, P. Integrated water and waste management. **Water Science Technologies**. V. 35, n. 9, p. 11-20, 1997.

HINRICHSEN, D; ROBEY, B.; UPADHYAY, U. D. **Solutions for a Water-Short World**. Population Reports, Series M, No. 14. Baltimore, Johns Hopkins School of Public Health, Population Information Program, 1997. Disponível em: <[http://www.infoforhealth.org/pr/m14/m14chap2\\_2.shtml](http://www.infoforhealth.org/pr/m14/m14chap2_2.shtml)>; Acessado em: 19 nov. 2005.

HILL, S.; BIRKS, R.; DIAPER, C.; JEFFREY, P. **An evaluating of single-house greywater recycling system**. In: Proc. IWA International Symposium on Wastewater Reclamation & Reuse, 4., 2003, Cidade do México. Disponível em:

<[http://www.rwethameswater.com/en\\_gb/Downloads/PDFs/FINAL\\_102-Hills\\_S.pdf](http://www.rwethameswater.com/en_gb/Downloads/PDFs/FINAL_102-Hills_S.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2005.

JAMARAH, A.; AL-FUTAISI, A.; PRATHAPAR, S.; AHMED, M.; AL-HARRASI, A. **Evaluating greywater reuse potencial for sustainable water resources management in the Sultanate of Oman**. In: International water demand management conference, Dead Sea, Jordan, 2004. Disponível em: <[http://www.wdm2004.org/new\\_web/technical\\_session/files/ahmad\\_jamrah.pdf](http://www.wdm2004.org/new_web/technical_session/files/ahmad_jamrah.pdf)>. Acesso em: 11 ago. 2005.

JERFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgoto Doméstico. 4 ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.

KAYAALP, N. M. Regulatory framework in South Australia and reclaimed water reuse options and possibilities. **Desalination**. v. 106. n. 1-3, p. 317-322, 1996.

KISHINO, H. ISHIDA, H. IWABU, H. NAKANO, Domestic wastewater reuse using a submerged membrane bioreactor. **Desalination**. v. 106, n. 1-3, p. 115-119, 1996.

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. 2005) Ecological Sanitation - a way to solve global sanitation problems?. **Environment International**. v. 31, n. 3, p. 433-444, 2005.

LAZAROVA, V. HILLS, S. BIRKS, R. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. **Water Science and Technology**. v. 3, n. 4, p. 69-77, 2003.

LIMA, J. G. O paradoxo da água. **Veja**, São Paulo, ano 38, n. 41, 12 out. 2005. Parte integrante da edição 1926.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri-SP: Manole, 2003

MARCH, J. G.; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on graywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). **Desalination**. V. 164, n. 3, p. 241-247, 2004.

MARINGÁ, **Lei nº 6.076**, de 21 de janeiro de 2003. Dispõe sobre o reúso de água não-potável e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua\\_csb.pdf](http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua_csb.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2005.

MARINGÁ, **Lei nº 6.345**, de 15 de outubro de 2003. Institui o programa de reaproveitamento de águas de Maringá. Disponível em: <[http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua\\_csb.pdf](http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua_csb.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2005.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não-potável em edificações**. São Paulo. 2004. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2004.

METCALF, B. e EDDY, I. N. C. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and Reuse**. 3. ed. New York : McGraw-Hill, 1991.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 275-284, 1999.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises, Sidney, 2002. Disponível em: <[http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater\\_policy.pdf](http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2004.

OLIVEIRA, L. H. **Tecnologias para otimização do uso da água no domicílio** (relatório parcial). Programa de pesquisa em saúde e saneamento. Fundação Nacional de Saúde –FUNASA. Goiânia, 2005. (no prelo)

ORNELAS, P. **Reúso de água em edifícios públicos: o caso da escola politécnica**. 2004. Dissertação (mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo) – Departamento de engenharia ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

OTTERPOHL, R.; GROTTKER, M.; LANGE, J. Sustainable water and waste management in urban areas. **Water Science Technologies**. V. 35, N. 9, p. 121-133, 1997.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. **Water** 21. p. 37-41, out. 2001.

OTTERPOHL, R.; BRAUN, U.; OLDENBURG, M. **Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas**. In: Specialised Conference on Small Water and Wastewater Treatment Systems, 5, Estambul-Turquia, 2002. Disponível em: <<http://www2.gtz.de/ecosan/download/iwa2002-otterpohl.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2005.

OTTOSON, J.; STRENSTRÖM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risk. **Water Research**. v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.

PMSS – Programa de Modernização do Setor de Saneamento. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: visão geral da prestação dos serviços de água e esgotos – 2003**. Brasília: MCIDADES. SNSA: IPEA, 2004.

REBOUÇAS, A. C., Águas no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**. Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretária de Política Urbana, 38 p. (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Documento Técnico de Apoio; E1), 1998.

RODRIGUES, L. C. S. **Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ROSE, J. B.; SUN, G.; GERBA, C. P.; SINCLAIR, N. A. Microbial and persistence of enteric pathogens in graywater from various household source. **Water Research**. v. 25, n. 1, p. 37-42, 1991.

SÃO PAULO. Lei nº13.276, de 04 de janeiro de 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<sup>2</sup>. **Diário Oficial [do] Município de São Paulo, São Paulo**, 05 jan. 2002. Disponível em: <[http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua\\_csb.pdf](http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua_csb.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2005.

SÃO PAULO. Lei nº13.309, de 31 de janeiro de 2002. Dispõe sobre o reúso de água não-potável e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Município de São Paulo, São Paulo**, 1º fev. 2002. Disponível em: <[http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua\\_csb.pdf](http://www.arce.ce.gov.br/download/legis-uso-agua_csb.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2005.

SANTOS NETO, J. V.; OLIVEIRA, F. F.; CHIABAI, R.; MORGAN, L. C.; ZANDONADE, E.; BAZZARELLA, B. B.; GONÇALVES, R. F. **Filtração terciária com pré-tratamento físico-químico em uma ete do tipo uasb + biofiltros aerados submersos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., **Anais....** Joinville, SC: ABES, 2003. II 142.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, 2002. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc11030.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2005.

SCHÖNNING, C. **Hygienic aspects on the reuse of source-separated human urine**. In: NJF Seminar, Copenhagen, 2001. Disponível em: <<http://www.agsci.kvl.dk/njf327/papers/reviewedSchonning.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2004.

SOARES, A. M. E.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L.; BRITO, L. H. N. C.; ZERBINI, A. M.; MELO, M. C.; BARCELLOS, F. N. M. Avaliação da remoção de patógenos em duas lagoas de polimento com diferentes relações geométricas tratando o efluente de um reator UASB compartimentado. In: CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - Coletânea de trabalhos técnicos - vol II**. Artigo 10, 2001. Disponível em:

<<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/coletanea2/ART10.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2005.

TOMAZ, P. **Previsão de consumo de água**. São Paulo: Navegar, 2000.

VACCARI, K. P.; REBOUÇAS, T. C.; BOLSONI, P.; BASTOS, F. GONÇALVES, R. F. **Caracterização da água de chuva para o seu aproveitamento em edificações como fonte alternativa de água para fins não-potáveis na região metropolitana de vitória (es)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., **Anais...** Campo Grande, MS: ABES, 2005. II 233.

VAN HAANDEL, Adrianus C.; LETTINGA, Gatzke. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande, PB: 1994.

VERONEZ, Fernanda Aparecida. **Desempenho de um reator UASB tratando esgoto sanitário e realizando concomitantemente o adensamento e a digestão do lodo de descarte de biofiltros aerados submersos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)– Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

VON SPERLING, M.; VAN HANDEL, A. C.; JORDÃO, E. P.; CAMPOS, J. R.; CYBIS, L. F.; AISSE, M. M.; ALÉM SOBRINHO, P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de lodo ativados. In: CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Segrac editora e Gráfica, 2001. cap. 5, p. 279-331.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. V. 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. UFMG, 2005. 452 p.

WHO/UNICEF JOINT MONITORING PROGRAMME FOR WATER SUPPLY AND SANITATION. **Global water supply and sanitation assessment 2000 report**. Geneva, World Health Organization (WHO) and United Nations Children's Fund (UNICEF), Apr. 24, 2001. 79 p. Disponível em:

<[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/Globassessment/GlasspdfTOC.htm](http://www.who.int/water_sanitation_health/Globassessment/GlasspdfTOC.htm)>. Acesso em: 16 de nov. 2005.

UN/WWAP (United Nations/World Water Assessment Programme). 2003. UN World Water Development Report: **Water for People, Water for Life**. Paris, New York and Oxford, UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) and Berghahn Books.

ZERBINI, A. M.; CHERNICHARO, C. A. L. Metodologias para quantificação, identificação e análise de viabilidade de ovos de helmintos em esgotos brutos e tratados. In: In: CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: aspectos metodológicos**. Belo Horizonte: Segrac editora e Gráfica, 2001. p. 70.

Sites visitados:

- [www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)

## Anexo A

### Metodologia das análises dos parâmetros físico-químicos

| <b>PARÂMETRO</b>               | <b>MÉTODOS</b>  | <b>REFERÊNCIA</b>                                  |
|--------------------------------|---|--|
| pH                             | Método eletrométrico                                  | STANDARD METHODS<br>4500-H <sup>+</sup> B, 1995    |
| Alcalinidade                   | Me.todo titulométrico                                 | STANDARD METHODS<br>2320 B, 1995                   |
| Condutividade elétrica         | Método laboratório                                    | STANDARD METHODS<br>2510 B, 1995                   |
| OD                             | Método eletrodo-membrana                              | STANDARD METHODS<br>4500-O G, 1995                 |
| Temperatura                    | Método de laboratório e de campo                      | STANDARD METHODS<br>2550 B, 1995                   |
| Cor verdadeira                 | Método espectrofotométrico                            | STANDARD METHODS<br>2120 C, 1995                   |
| Turbidez                       | Método nefelométrico                                  | STANDARD METHODS<br>2130 B, 1995                   |
| Cloreto                        | Método Argentométrico                                 | STANDARD METHODS<br>4500 – Cl <sup>-</sup> B, 1995 |
| Dureza                         | Método titulométrico EDTA                             | STANDARD METHODS<br>2340 C, 1995                   |
| DBO <sub>5</sub>               | Oxitop  |  |
| DQO                            | Oxidação por dicromato de potássio em meio ácido      | STANDARD METHODS<br>5220 D, 1995                   |
| SST, ST                        | Método gravimétrico                                   | STANDARD METHODS<br>2540, 1995                     |
| Óleos e graxas (O & G)         | Método de extração Soxhlet                            | STANDARD METHODS<br>5520 D, 1995                   |
| P <sub>T</sub>                 | Método do ácido ascórbico pela oxidação em meio ácido | STANDARD METHODS<br>4500 P, 1995                   |
| NTK e N-NH <sub>3</sub>        | Método Semimicro Kjeldahl                             | STANDARD METHODS<br>4500 C, 1995                   |
| <b>PARÂMETRO</b>               | <b>MÉTODOS</b>  | <b>REFERÊNCIA</b>                                  |
| N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Método da Coluna Redutora de Cádmio                   | STANDARD METHODS<br>4500 E, 1995                   |

---

|                                |                                   |   |
|--------------------------------|-----------------------------------|---|
| N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | Método colorimétrico              | STANDARD METHODS<br>4500 – NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B, 1995 |
| Sulfato                        | Método turbidimétrico             | STANDARD METHODS<br>4500 –SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E, 1995 |
| Sulfeto                        | Método Iodométrico                | STANDARD METHODS<br>4500 – S <sup>2-</sup> F, 1995              |
| Surfactante                    | Surfactante aniônico como<br>MBAS | STANDARD METHODS<br>5540 C, 1995                                |
| Cloro residual (livre e total) | Método DPD colorimétrico          | STANDARD METHODS<br>4500 – Cl G, 1995                           |

---

## Anexo B

### Dimensionamento ETAC

#### a) Dados de entrada

|                            |               |
|----------------------------|---------------|
| População (P)              | 60 habitantes |
| Per Capita (q)             | 24L/hab.dia   |
| k1                         | 1,2           |
| k2                         | 1,5           |
| Altura ETAC (H)            | 2,20m         |
| Velocidade ascensional (v) | 1,2m/h        |

#### b) Cálculo da vazão

$$Q_{med} = \frac{P \cdot q}{86400} (L/s)$$

$$Q_{med} = \frac{60 \cdot 24}{86400} = 0,017 L/s = 0,064 m^3/h$$

$$Q_{max} = Q_{med} \cdot k_1 \cdot k_2 = 0,064 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 0,115 m^3/h$$

#### c) Dimensionamento do Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC)

O RAC foi dimensionado com geometria retangular, para uma temperatura média no esgoto de 20°C. Para assegurar uma eficiência mínima de 65% na remoção de DBO, tomou-se como parâmetro principal de dimensionamento o tempo de detenção hidráulica ( $\theta$ ) de 12 horas e uma compartimentação de 3 (três) câmaras.

$$V_{RAC} = Q_{med} \cdot \theta, \text{ onde:}$$

$V_{RAC}$ : volume útil do RAC ( $m^3$ )

$Q_{med}$ : vazão de água cinza média ( $m^3/h$ )

$\theta$ : tempo de detenção hidráulica (h)

Assim:

$$V_{RAC} = 0,064(m^3 / h) \cdot 12h$$

$$V_{RAC} = 0,768m^3$$

Adotando uma altura útil ( $h_{RAC}$ ) de 2,00m, calculou-se a área superficial ( $A_{RAC}$ ):

$$A_{RAC} = \frac{V_{RAC}}{h_{util}} = \frac{0,768}{2,00} = 0,384m^2$$

Adotando:  $B_{RAC} = 0,6m$

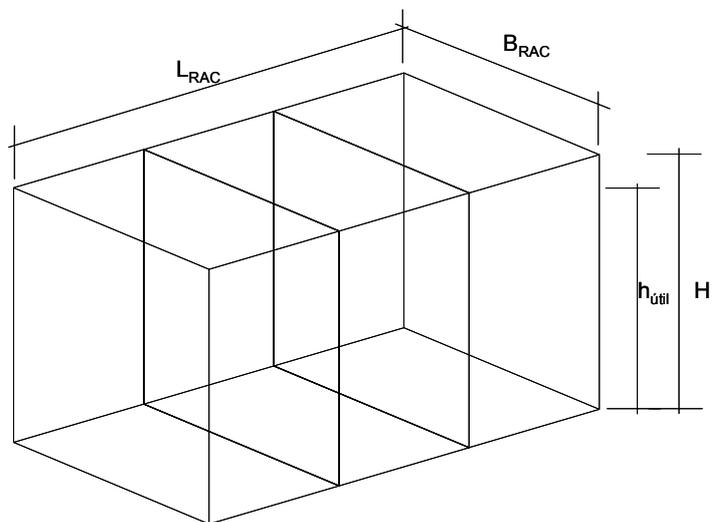
$$L_{RAC} = \frac{A_{RAC}}{B_{RAC}} = \frac{0,384}{0,6} = 0,64m$$

Como são três compartimentos:

$$\frac{L_{RAC}}{3} = 0,21m$$

Em virtude de limitações construtivas adotou-se  $\frac{L_{RAC}}{3} = 0,30m$

Dimensões adotadas para cada compartimento: 0,60 x 0,3 x 2,20m



#### d) Dimensionamento Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS)

O FBAS foi dimensionado com geometria retangular e tomou-se como parâmetro principal de dimensionamento a velocidade ascensional ( $v$ ) de 1,2m/h. Calculando a área superficial ( $A_{FBAS}$ ):

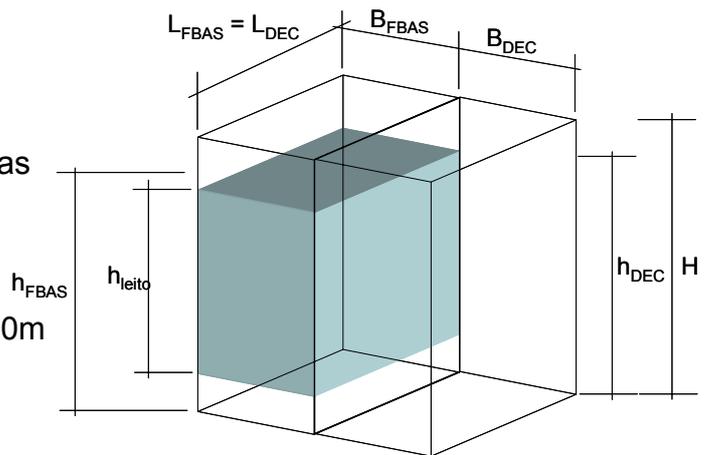
$$A_{FBAS} = \frac{Q_{med}}{v} = \frac{0,064}{1,2} = 0,053m^2$$

Adotando  $L_{FBAS} = 0,5$  m, tem-se:

$$B_{FBAS} = \frac{A_{FBAS}}{L_{FBAS}} = \frac{0,053}{0,5} = 0,106m$$

Em virtude de limitações construtivas adotou-se  $B_{FBAS} = 0,30$  m

Dimensões adotadas:  $0,5 \times 0,3 \times 2,20$ m  
e altura do leito ( $h_{leito}$ ) = 1,38 m



### e) Decantador Secundário (DEC)

O DEC foi dimensionado com geometria retangular e tomou-se como parâmetro principal de dimensionamento a taxa superficial ( $t_s$ ) de  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ . Calculando a área superficial ( $A_{DEC}$ ):

$$A_{DEC} = \frac{Q_{\max} (m^3 / d)}{t_s (m^3 / m^2 \cdot d)} = \frac{0,064 \cdot 1,8 \cdot 24}{20} = 0,14 \text{ m}^2$$

Adotando  $L_{DEC} = 0,5$  m, tem-se:

$$B_{DEC} = \frac{A_{DEC}}{L_{DEC}} = \frac{0,14}{0,5} = 0,28m$$

Aproximou-se  $B_{DEC} = 0,30$  m

Dimensões adotadas:  $0,5 \times 0,3 \times 2,20$ m

### f) Filtro Terciário (FT):

O FBAS foi dimensionado com geometria retangular e tomou-se como parâmetro principal de dimensionamento a velocidade ascensional ( $v$ ) de  $1,2$  m/h. Calculando a área superficial ( $A_{FT}$ ):

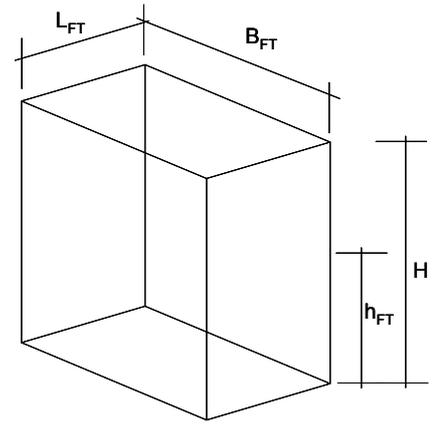
$$A_{FT} = \frac{Q_{med}}{v} = \frac{0,064}{1,2} = 0,053m^2$$

Adotando  $B_{FT} = 0,6$ m

$$L_{FT} = \frac{A_{FT}}{B_{FT}} = \frac{0,053}{0,6} = 0,02m$$

Em virtude de limitações construtivas adotou-se:

$$L_{FT} = 0,30 \text{ m}$$

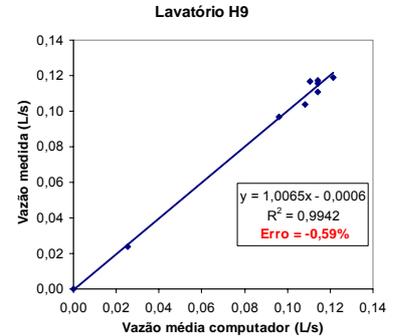
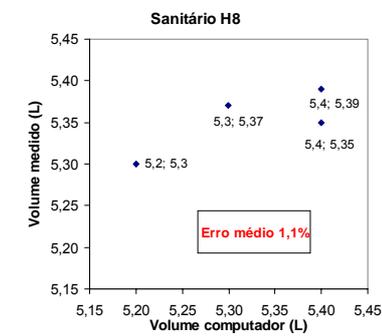
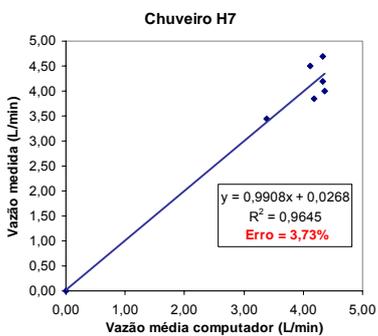
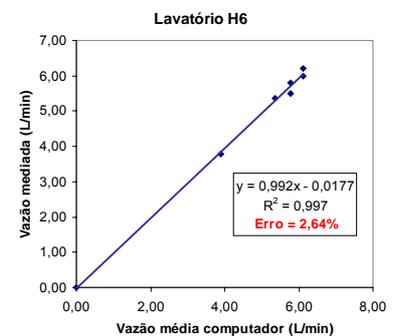
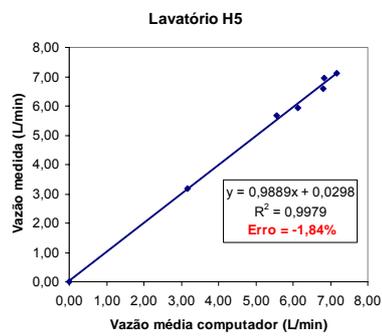
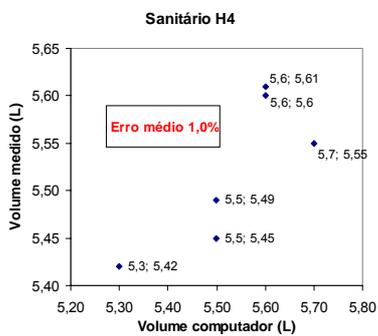
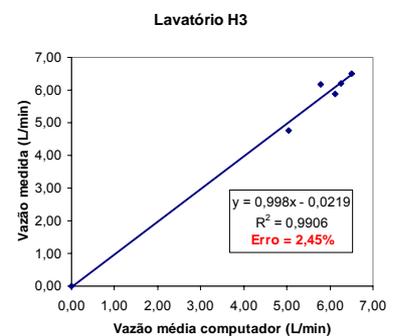
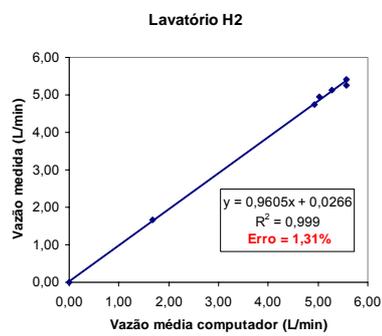
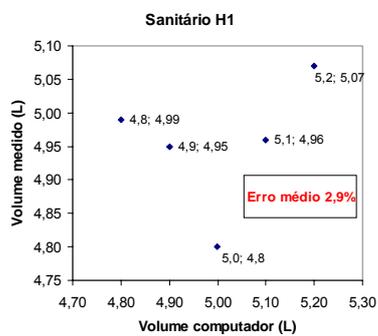


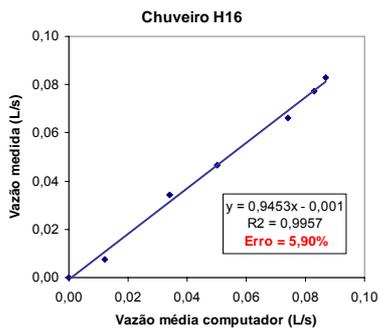
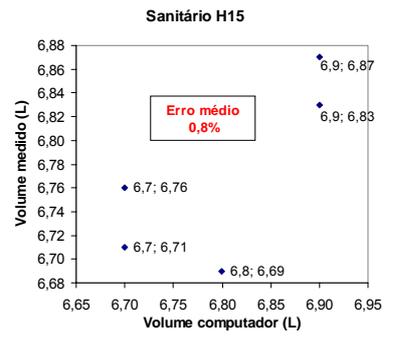
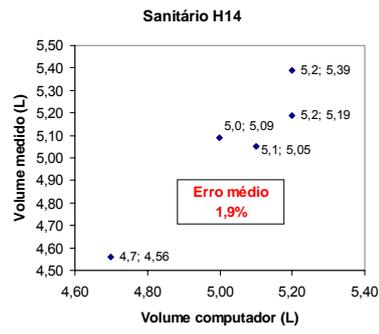
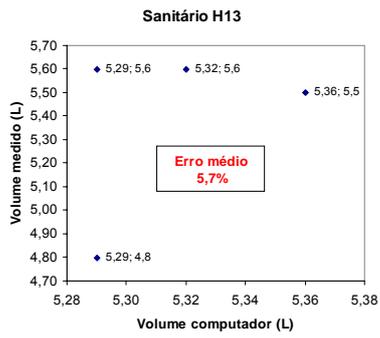
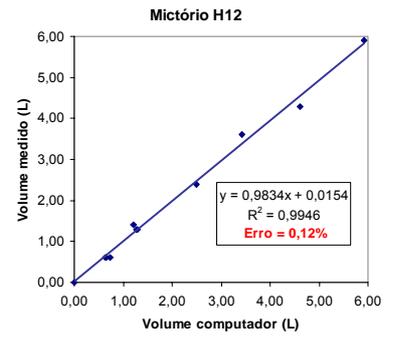
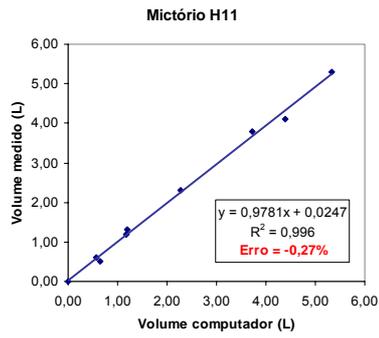
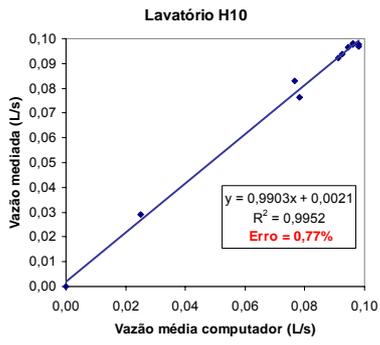
A tela utilizada como superfície filtrante era plana e com 0,6 x 0,3 m.

Dimensões adotadas: 0,6 x 0,3 x 2,20m

# Anexo C

## Aferição dos hidrômetros





## Anexo D

### Monitoramento da ETAC

| Parâmetro                            | Ponto    | n  | média | mín   | máx   | DP    | CV   |
|--------------------------------------|----------|----|-------|-------|-------|-------|------|
| Cor verdadeira (UC)                  | Afluente | 33 | 533   | 162   | 1154  | 261   | 0,49 |
|                                      | RAC      | 33 | 189   | 26    | 476   | 127   | 0,67 |
|                                      | FBAS     | 33 | 22    | 0     | 71    | 16    | 0,74 |
|                                      | FT       | 25 | 18    | 0     | 57    | 16    | 0,86 |
|                                      | Cloro    | 15 | 5     | 0     | 17    | 5     | 0,97 |
|                                      | Vaso     | 27 | 7     | 0     | 17    | 6     | 0,77 |
| Turbidez (NTU)                       | Afluente | 37 | 168   | 55    | 650   | 109   | 0,65 |
|                                      | RAC      | 37 | 55    | 19    | 120   | 27    | 0,49 |
|                                      | FBAS     | 37 | 2,5   | 0,0   | 19,0  | 3,2   | 1,27 |
|                                      | FT       | 30 | 1,6   | 0,0   | 4,4   | 1,2   | 0,78 |
|                                      | Cloro    | 14 | 1,2   | 0,3   | 4,0   | 0,9   | 0,79 |
|                                      | Vaso     | 32 | 2,9   | 0,2   | 6,7   | 1,6   | 0,55 |
| DBO (mg/L)                           | Afluente | 12 | 283   | 190   | 430   | 91    | 0,32 |
|                                      | RAC      | 14 | 105   | 50    | 250   | 62    | 0,59 |
|                                      | FBAS     | 16 | 12    | 3     | 40    | 10    | 0,85 |
|                                      | FT       | 13 | 7     | 3     | 14    | 4     | 0,52 |
|                                      | Cloro    | 3  | 0     | 0     | 0     | 0     |      |
|                                      | Vaso     | 2  | 3     | 0     | 5     | 4     | 1,41 |
| DQO (mg/L)                           | Afluente | 36 | 498   | 79    | 1082  | 230   | 0,46 |
|                                      | RAC      | 37 | 115   | 10    | 396   | 76    | 0,66 |
|                                      | FBAS     | 34 | 27    | 7     | 63    | 14    | 0,53 |
|                                      | FT       | 25 | 20    | 3     | 51    | 14    | 0,71 |
|                                      | Cloro    | 15 | 16    | 2     | 53    | 14    | 0,85 |
|                                      | Vaso     | 29 | 15    | 4     | 77    | 14    | 0,93 |
| SST (mg/L)                           | Afluente | 33 | 11,8  | 4,1   | 33,3  | 6,9   | 0,59 |
|                                      | RAC      | 36 | 3,1   | 0,0   | 13,4  | 2,5   | 0,81 |
|                                      | FBAS     | 29 | 2,0   | 0,0   | 9,1   | 2,0   | 1,02 |
|                                      | FT       | 20 | 2,2   | 0,0   | 8,6   | 1,9   | 0,88 |
|                                      | Cloro    | 11 | 0,6   | 0,0   | 1,3   | 0,5   | 0,83 |
|                                      | Vaso     | 24 | 2,3   | 0,1   | 6,8   | 1,9   | 0,84 |
| SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L) | Afluente | 26 | 29,4  | 0,6   | 87,9  | 23,2  | 0,79 |
|                                      | RAC      | 27 | 23,4  | 0,3   | 69,5  | 17,0  | 0,73 |
|                                      | FBAS     | 27 | 50,2  | 10,8  | 87,4  | 21,8  | 0,43 |
|                                      | FT       | 21 | 46,0  | 1,4   | 88,2  | 25,7  | 0,56 |
|                                      | Cloro    | 15 | 50,1  | 36,0  | 83,8  | 12,0  | 0,24 |
|                                      | Vaso     | 25 | 35,3  | 9,9   | 58,1  | 13,6  | 0,38 |
| S <sup>-2</sup> (mg/L)               | Afluente | 35 | 0,190 | 0,072 | 0,437 | 0,092 | 0,48 |
|                                      | RAC      | 33 | 0,778 | 0,177 | 2,768 | 0,813 | 1,04 |
|                                      | FBAS     | 35 | 0,119 | 0,046 | 0,377 | 0,066 | 0,55 |
|                                      | FT       | 29 | 0,108 | 0,000 | 0,223 | 0,052 | 0,49 |
|                                      | Cloro    | 11 | 0,099 | 0,017 | 0,280 | 0,070 | 0,71 |
|                                      | Vaso     | 29 | 0,098 | 0,011 | 0,302 | 0,057 | 0,58 |

| Parâmetro                              | Ponto    | n  | média    | mín      | máx      | DP       | CV   |
|--|----------|----|----------|----------|----------|----------|------|
| <b>E. coli<br/>(NMP/100mL)</b>         | Afluente | 27 | 5,42E+05 | 7,00E+04 | 1,06E+07 | 2,82E+06 | 1,88 |
|  | RAC      | 16 | 1,84E+04 | 2,00E+03 | 2,00E+05 | 5,58E+04 | 1,35 |
|  | FBAS     | 16 | 1,64E+02 | 1,00E+00 | 1,00E+04 | 2,99E+03 | 1,54 |
|  | FT       | 24 | 1,55E+02 | 1,00E+00 | 6,13E+04 | 1,29E+04 | 3,30 |
|  | Cloro    | 12 | 1,51E+00 | 1,00E+00 | 1,40E+01 | 4,37E+00 | 1,54 |
|  | Vaso     | 19 | 3,17E+01 | 1,00E+00 | 1,21E+05 | 2,79E+04 | 3,19 |
| <b>CT (NMP/100mL)</b>                  | Afluente | 22 | 1,86E+07 | 1,32E+06 | 2,41E+08 | 5,54E+07 | 1,31 |
|  | RAC      | 18 | 3,43E+05 | 6,10E+03 | 6,48E+06 | 1,61E+06 | 1,55 |
|  | FBAS     | 18 | 3,95E+04 | 7,50E+03 | 1,73E+06 | 4,04E+05 | 2,65 |
|  | FT       | 25 | 1,14E+04 | 2,72E+01 | 2,33E+05 | 6,39E+04 | 1,44 |
|  | Cloro    | 13 | 5,35E+00 | 1,00E+00 | 1,75E+03 | 4,82E+02 | 3,24 |
|  | Vaso     | 20 | 5,04E+02 | 1,00E+00 | 4,04E+05 | 8,97E+04 | 2,57 |
| <b>Cloro residual<br/>total (mg/L)</b> | Cloro    | 14 | 15,1     | 0,0      | 31,9     | 12,0     | 0,82 |
|  | Vaso     | 14 | 6,2      | 0,0      | 20,2     | 6,0      | 1,01 |
| <b>Cloro residual<br/>Livre (mg/L)</b> | Cloro    | 14 | 6,2      | 0,0      | 20,2     | 9,5      | 1,01 |
|  | Vaso     | 14 | 4,4      | 0,5      | 16,7     | 4,3      | 1,02 |