



II-156 – DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA PARA REÚSO NÃO-POTÁVEL EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

Renata Spinassé Della Valentina⁽¹⁾

Graduação em Engenharia Química pela Faculdade de Aracruz. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Laila de Oliveira Vaz

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Monica Pertel

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Raphael Depes Bruzzi Emery

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Bolsista de Iniciação Científica CNPQ.

Ricardo Franci Gonçalves

Graduação em Engenharia Civil com Ênfase Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Mestre em Dea Sciences Et Techniques de L'environnement pela Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussées. Doutor em Engenharia do Tratamento de Águas pelo Institut National Des Sciences Appliquées Toulouse.

Endereço⁽¹⁾: Rua José Luiz Gabeira, 170, Bloco B, Barro Vermelho, Vitória - ES - CEP: 29057-570 - Brasil - Tel: (27) 9997-9837 - e-mail: renataspinasse@yahoo.com.br

RESUMO

Uma forma de prevenir a escassez de água é favorecer o estímulo do seu uso através de uma gestão integrada, incentivando o uso racional e favorecendo o desenvolvimento de sistemas sustentáveis. Dentre as fontes alternativas de água, a água cinza é considerada a opção mais favorável devido à sua disponibilidade e à baixa concentração de poluentes. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de uma estação compacta de tratamento de água cinza (ETAC) para reúso não potável em uma edificação de alto padrão. A ETAC consiste de um tratamento combinado anaeróbio-aeróbio seguido de filtração terciária e desinfecção com cloro. As fontes geradoras de águas cinza na edificação são os chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar e tanques localizados na área de serviço, que, após o tratamento na ETAC, são reutilizadas nas descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e rega de jardins. O tratamento adotado apresentou elevada eficiência na remoção de turbidez, cor, DBO₅, DQO e *E. coli*, e características compatíveis com padrões nacionais e internacionais estabelecidos para reúso em descargas de bacia sanitária.

PALAVRAS-CHAVE: água cinza, estação de tratamento de água cinza (ETAC), reúso de água cinza.

INTRODUÇÃO

A água é considerada um recurso natural renovável, no entanto, o seu uso indiscriminado compromete a quantidade disponível de água com qualidade para consumo, podendo fazer com que este recurso seja considerado limitado. Com o aumento da população e da industrialização, principalmente nas grandes cidades, a deteriorização dos mananciais se acentua, contribuindo para problemas de abastecimento que atualmente estão merecendo a atenção e a preocupação de toda a sociedade.

Uma forma de prevenir a escassez é estimular o uso através de uma gestão integrada do recurso água, incentivando o seu uso racional e favorecendo o desenvolvimento de sistemas sustentáveis.

Em ambiente urbano, a revisão dos métodos de gerenciamento da água encontra-se em andamento em vários países que experimentam problemas desta natureza. Na prática, busca-se a racionalização do uso através de técnicas e procedimentos que resultem na preservação da água, sem que haja comprometimento dos usos fundamentais que mantêm a vida nas áreas urbanas.



Como medidas de racionalização da água pode-se citar o uso de aparelhos economizadores, a adoção da medição individualizada, a conscientização do usuário para não desperdiçar água no ato do uso, a detecção e o controle de perdas em sistemas prediais, a utilização de fontes alternativas, entre outras.

Dentre as medidas racionalizadoras, a utilização de fontes alternativas de água surge como uma opção interessante por evitar a utilização das fontes convencionais de suprimento (mananciais subterrâneos ou superficiais) e também por reduzir o consumo de energia elétrica.

Dentre as fontes alternativas de água para consumo predial urbano, a água cinza se destaca pela disponibilidade e baixa concentração de poluentes, diferentemente da água de chuva, cuja utilização está vinculada a um regime constante de chuvas que possa suprir a demanda de uso. A água cinza compreende todo o efluente doméstico sem a contribuição dos vasos sanitários, ou seja, o efluente proveniente da lavanderia, chuveiros, banheiras, lavatórios e cozinha.

As práticas de reúso de águas cinza envolvem o tratamento deste efluente, uma vez que o seu aspecto em estado bruto é desagradável, além de haver possibilidade de mau cheiro e contaminação microbiológica. Uma ampla variedade de tecnologias tem sido utilizada ou está sendo desenvolvida para o tratamento de águas cinza, compreendendo sistemas naturais, processos químicos, físicos, físico-químicos e biológicos.

Desde 2004, pesquisas relacionadas às tecnologias de tratamento de águas cinza são desenvolvidas no Núcleo Água, na UFES (Universidade Federal do Espírito Santo). Bazzarella (2005) avaliou um sistema compacto de tratamento de águas cinza, composto por um RAC - reator anaeróbio compartimentado, um FBAS – filtro biológico aerado submerso, um DEC – decantador de placas e um FT – filtro terciário. O tratamento, em escala piloto, resultou em uma água de reúso de boa qualidade e atingiu os limites estabelecidos nas legislações brasileiras e internacionais.

A partir do trabalho de Bazzarella (2005), foi desenvolvida e disponibilizada para domínio público, na cidade de Vitória-ES, uma estação de tratamento de águas cinza (ETAC) para reúso não-potável, objeto de avaliação deste estudo que fez parte de um projeto de pesquisa da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) financiado pelo edital 5/2006 do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), integrante da rede temática nº 5, que trata de novas tecnologias para minimização do consumo de água potável.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Parque Experimental da instituição, assim como na edificação residencial de classe alta, onde se encontra construída a estação de tratamento de águas cinza (ETAC) e o sistema de reúso.

A edificação é constituída por 20 pavimentos, sendo: 1 térreo, 1 pavimento técnico, 2 pavimentos de garagem, 15 pavimentos de apartamentos e 1 cobertura, totalizando 8.427,03 m² de área de construção. O pavimento tipo possui 147,51m² de área utilizada, sendo constituído por 4 quartos, 3 banheiros, 1 W.C., 1 lavabo, 1 sala, área de serviço, cozinha, dependência, circulação e 3 varandas. O edifício possui hidrometração individual além de medição individualizada de energia.

O edifício conta com uma rede dupla de abastecimento, sendo uma de água potável, destinada a atender a lavatórios, chuveiros, tanque, máquina de lavar roupa e pia de cozinha, e outra de água de reúso, que abastece os vasos sanitários. A água de reúso também é utilizada para limpeza das áreas comuns do prédio (área de lazer, garagens e escadas) além da rega de jardins.

A água cinza foi gerada pelo uso dos lavatórios, chuveiros, tanque e máquina de lavar abastecidos por água potável. A água cinza bruta gerada era encaminhada a ETAC por gravidade. Após o tratamento, a água cinza (água de reúso), foi bombeada para o reservatório superior de água de reúso de onde ocorria a distribuição para os vasos sanitários

A estação de tratamento de águas cinza (ETAC) é composta por um reator anaeróbio compartimentado dividido em três compartimentos (RAC 1, RAC 2 e RAC 3), um filtro biológico aerado submerso (FBAS), um decantador (DEC), um tanque de equalização de vazão (TQE), um filtro terciário de membrana (FT) e um clorador de pastilha. É constituída por 6 módulos com dimensões individuais de 1,5 x 1,5 x 2,2m (BxLxH). A área total da ETAC incluindo a circulação é de 27m².



O fluxo da estação ocorre de acordo com os usos dos lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar roupa dentro do prédio e a população atendida foi de 70 pessoas/dia.

Avaliação do desempenho da ETAC

O período de monitoramento da ETAC foi de abril/2008 à novembro/2008, sendo que foram coletadas amostras simples, sempre na parte da manhã, entre 8h e 9h, de segunda à sexta.. O volume coletado para cada amostra foi de aproximadamente 2 L. Após a coleta, as amostras foram levadas imediatamente ao laboratório de Saneamento (LABSAN) da UFES, para a realização das análises físico-químicas e microbiológicas.

Os pontos de coleta foram os relacionados abaixo:

- Água cinza bruta (Bruta): coletada na caixa de entrada;
- Água cinza efluente ao RAC 1 e afluente ao RAC 2 (RAC 1): coletada na torneira do RAC 1;
- Água cinza efluente ao RAC 2 e afluente ao RAC 3 (RAC 2): coletada na torneira do RAC 2;
- Água cinza efluente ao RAC 3 e afluente ao FBAS (RAC 3): coletada na torneira do RAC 3;
- Água cinza efluente ao FBAS e afluente ao DEC (FBAS): coletada na torneira do FBAS;
- Água cinza efluente ao DEC e afluente ao TQE (DEC): coletada na torneira do DEC;
- Água cinza efluente ao TQE e afluente ao FT (TQE): coletada na torneira do TQE;
- Água cinza efluente ao FT e afluente ao Reservatório Inferior com Cloração (FT): coletada na torneira do FT;
- Reservatório Inferior com Cloração (CLO): coletada no reservatório inferior com cloração.

Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, temperatura, Oxigênio Dissolvido, cor, turbidez, alcalinidade, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química do Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Óleos e Graxas, Fósforo Total (Pt), S²⁻, SO₄²⁻, Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), N-NH₃, N-NO₂⁻ e N-NO₃⁻.

As técnicas das análises laboratoriais obedeceram aos procedimentos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 21ª Edição (APHA, 1995).

Para a realização dos testes de Coliformes totais e *E.coli* foi utilizada a metodologia de substrato cromo-fluorogênico conforme *Standard Methods* (APHA, 1995). O meio comercial utilizado foi o *Colilert*.

Condições operacionais da ETAC durante o monitoramento

Para a avaliação das condições operacionais durante o monitoramento da ETAC, foram calculadas as cargas volumétricas e superficiais diárias aplicadas em cada etapa do tratamento, a partir da geometria da estação, da vazão de entrada e da concentração afluente, em termos de DQO. A Tabela 1 apresenta as características geométricas da ETAC.

Tabela 1: Características geométricas da ETAC

Compartimento	Largura (m)	Comprimento (m)	Altura útil (m)	Área superficial As (m ²)	Volume útil Vu (m ³)
RAC	1,35	4,05	2,05	5,467	11,20
FBAS	1,35	1,35	2,05	1,82	3,73
DEC	1,35	1,35	2,05	1,82	3,73

O tempo de detenção médio de cada etapa está representado na Tabela 2.

Tabela 2: Tempos de detenção hidráulicos médios

	RAC	FBAS	DEC	FT	Total
TDH (h)	27,2	9,3	9,3	0,1	45,9

A carga superficial aplicada (Csup) foi calculada a partir da relação entre a vazão afluente (Q) e a área superficial de cada reator (As)

$$C_{sup} \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{.d)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/d)}}{A_s \text{ (m}^2\text{)}} \quad \text{Equação 1}$$



A velocidade ascendente do fluxo (Vasc) foi calculada a partir da vazão afluyente (Q) e da área superficial (As)

$$V_{asc} \text{ (m/h)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/h)}}{A_s \text{ (m}^2\text{)}} \quad \text{Equação 2}$$

A carga orgânica volumétrica aplicada (Cvol) foi calculada a partir da relação entre o produto da concentração de DQO (C_{DQO}) e da vazão média afluyente (Q) pelo volume útil de cada reator (Vu).

$$C_{vol} \text{ (Kg DQO/m}^3\text{.d)} = \frac{C_{DQO} \text{ (mg/L)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{/d)}}{V_u \text{ (m}^3\text{)}} \cdot 10^{-3} \quad \text{Equação 3}$$

Os valores médios de carga superficial aplicada, velocidade ascendente do fluxo e carga volumétrica aplicada no RAC, FBAS e DEC estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Cargas e velocidade ascendente aplicadas à ETAC (média ± desvio padrão)

Compartimento	C _{sup} (m ³ /m ² .d)	Vasc (m/h)	Cvol (Kg DQO/m ³ .d)
RAC	2,3 ± 1,01	0,1 ± 0,04	0,3 ± 0,24
FBAS	6,8 ± 3,07	0,3 ± 0,13	0,3 ± 0,22
DEC	6,8 ± 3,0	-	0,16 ± 0,13

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

RESULTADOS

As características físico-químicas da água cinza bruta durante o período de monitoramento podem ser visualizadas na Tabela 4:

Tabela 4: Características físico-químicas da água cinza bruta

Parâmetros	N	Média	Mediana	Máx	Mín	DP	CV
pH	104	7,8	7,54	10,46	6,67	0,74	0,10
Turbidez (NTU)	104	73	60	274	15	47	0,65
Cor (UC)	57	85	69	321	7	69	0,81
SSD (mL/L)	37	0,66	0,50	2,5	0,05	0,52	0,79
SST (mg/L)	28	78	54	226	23	54	0,69
DQO (mg/L)	37	237	200	558	71	122	0,51
DBO ₅ (mg/L)	19	106	90	235	40	53	0,50
Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	29	55	48	188	20	37	0,67
O & G (mg/L)	8	39	34	80	8	27	1
NTK (mg/L)	14	6,53	5,38	15,46	2,69	3,64	0,56
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	11	1,28	0,67	5,38	0,00	1,52	1,18
Nitrato (mg/L)	12	0,14	0,07	0,49	0,00	0,16	1,13
Nitrito (mg/L)	14	0,40	0,32	1,62	0,01	0,41	1,04
P-Total (mg/L)	18	2,87	1,99	10,09	0,00	3,05	1,06
O-fosfato (mg/L)	16	2,23	1,12	11,84	0,12	3,26	1,46
Sulfato (mg/L)	9	88	90	135	50	31	0,35
Sulfeto (mg/L)	15	1,56	1,40	3,00	0,00	1,07	0,69
Coliformes Totais (NMP/100mL)	20	4,36x10 ^{3*}	2,6x10 ²	3,16x10 ⁷	2,6 x10 ²	1,15x10 ⁷	-
<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	20	5,21x10 ^{0*}	5,75x10 ⁰	1,7x10 ²	1x10 ⁰	3,53x10 ¹	-

*Foram calculados pela média geométrica

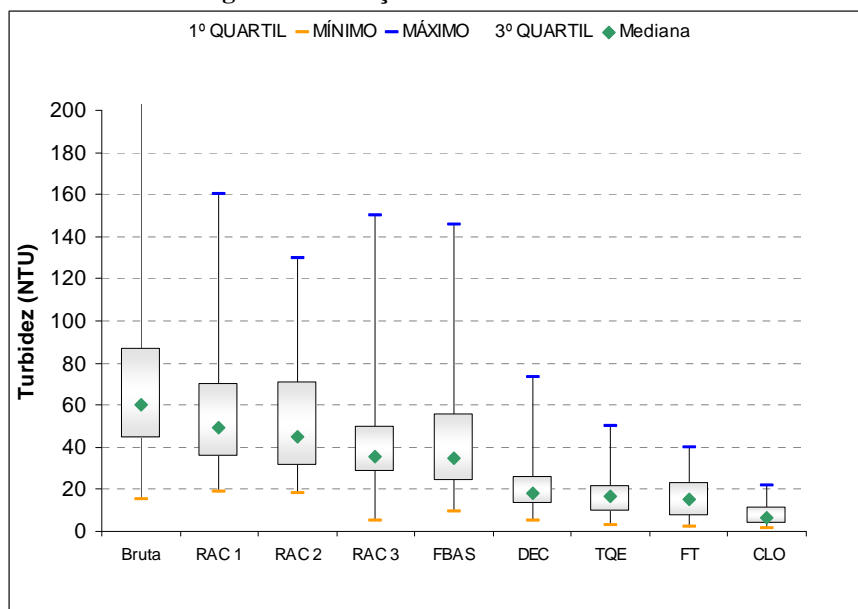
Nota: DP = desvio padrão CV= coeficiente de variação



REMOÇÃO DE SÓLIDOS

A Figura 1 apresenta os valores de turbidez, durante as etapas do tratamento. A turbidez na água cinza bruta foi bastante variável no período monitorado, assim como nas etapas anaeróbias e aeróbias.

Figura 1: Remoção de turbidez

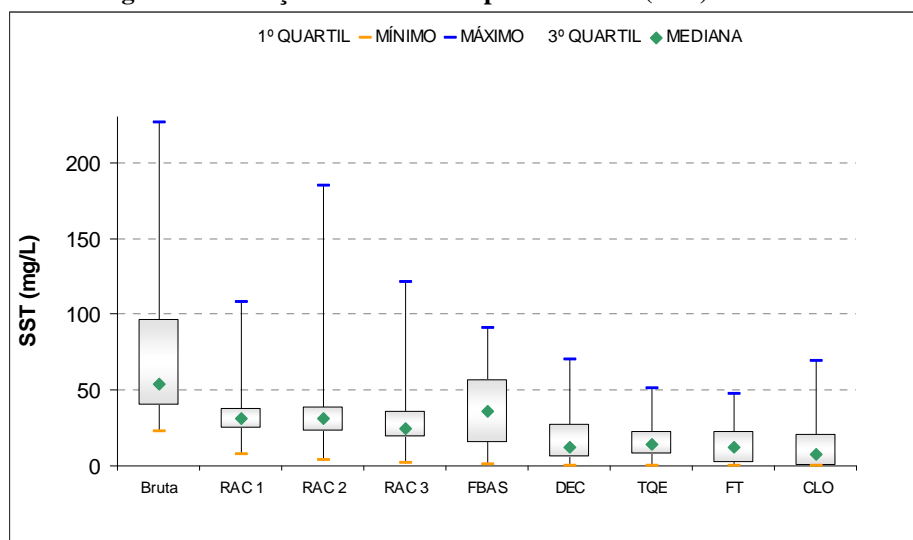


A eficiência de remoção nas etapas anaeróbia e aeróbia foi de 36% e 55%, respectivamente. Bazzarella (2005), tratando águas cinza em sistemas anaeróbios + aeróbios, alcançou remoções de 36% na etapa anaeróbia e de 96% na etapa aeróbia.

A maior remoção de turbidez ocorreu na decantador. O Tanque de Equalização (TQE) apresentou uma eficiência de remoção de 16% e o Fitro Terciário (FT) obteve uma remoção de 6%. Houve uma remoção significativa de turbidez na etapa de cloração, possivelmente devido à sedimentação de algumas partículas no reservatório inferior de água tratada.

Como um todo, a ETAC apresentou remoção de turbidez de 89% em média e a água de reúso coletada no reservatório inferior (CLOR) apresentou turbidez média de 8 NTU.

A Figura 2 mostra a remoção de SST. As maiores remoções ocorreram nas etapas anaeróbias e aeróbias, com eficiências de 58% e 49%, respectivamente. Comparando com a turbidez, a eficiência de remoção na etapa anaeróbia foi significativamente maior para SST, porém, na etapa aeróbia, a eficiência de remoção para turbidez foi maior. A etapa de Filtração Terciária apresentou eficiência de 6%, igual à obtida para turbidez.

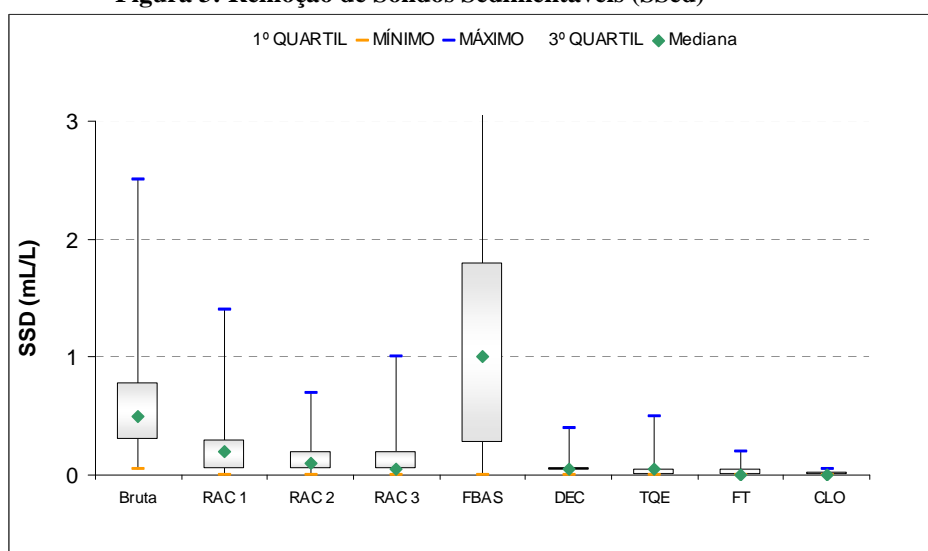
**Figura 2: Remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST)**

O RAC 1, primeiro compartimento da etapa anaeróbia, foi responsável por praticamente toda a remoção de SST, apresentando 53% de eficiência. Bazzarella (2005) encontrou valores de eficiência bem maiores nas etapas anaeróbias e aeróbias, que foram de 72% e 95%, respectivamente.

Como um todo, a ETAC apresentou eficiência de remoção de SST em torno de 82%, e a água de reúso apresentou concentração média de SST de 14 mg/L, também acima do valor encontrado por Bazzarella (2005), que foi de 5 mg/L.

As concentrações de SSed nas várias etapas do tratamento são apresentadas na Figura 3. Observa-se que a etapa anaeróbia é bastante eficiente, porém, no FBAS houve um aumento significativo dos sólidos sedimentáveis. Isto ocorreu devido ao desprendimento da biomassa no meio suporte, fato observado na coleta das amostras.

Dessa forma, a decantação foi fundamental para o polimento do FBAS, atingindo eficiência de 95%. O Tanque de equalização atuou também como um decantador, apresentando eficiência de 24%. A eficiência total da ETAC foi de 98% e a água de reúso apresentou concentração média de SSed de 0,01 mL.L⁻¹.

Figura 3: Remoção de Sólidos Sedimentáveis (SSed)



REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

As Figuras 4 e 5 apresentam as remoções de DQO e DBO, respectivamente:

Figura 4: Remoção de DQO

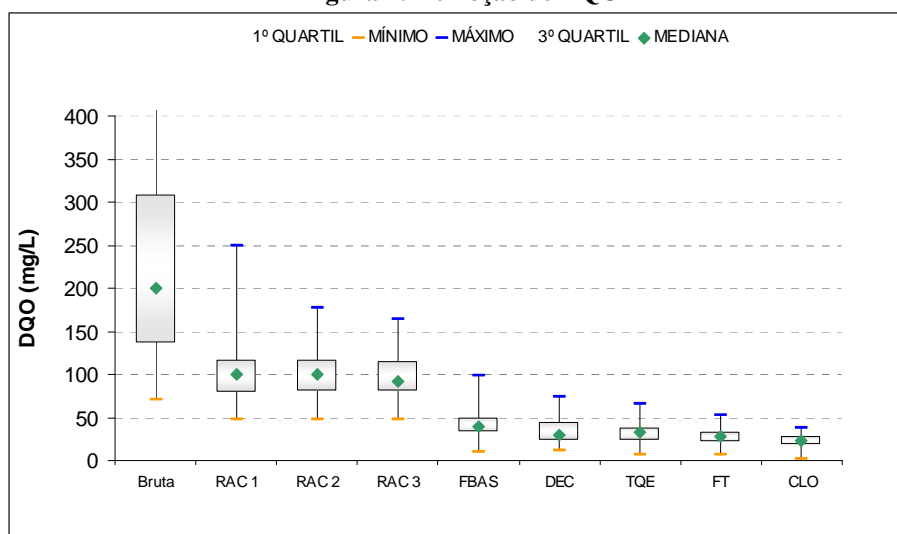
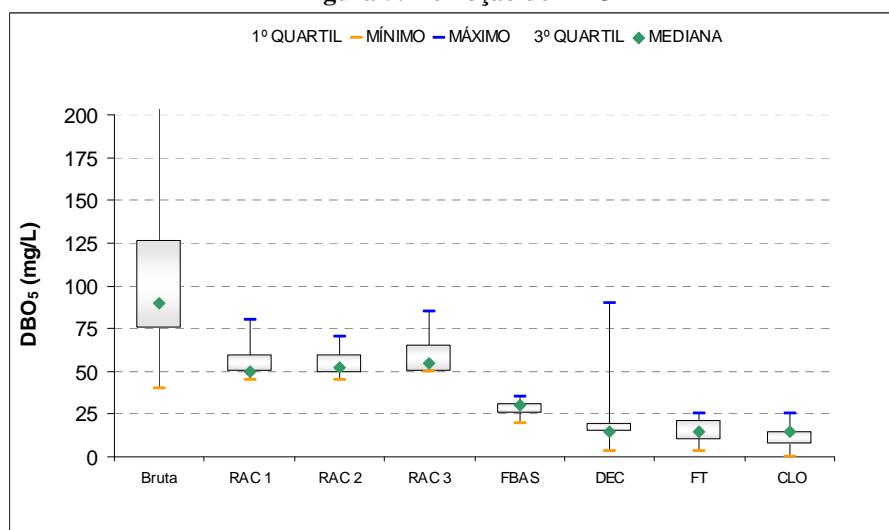


Figura 5: Remoção de DBO



Observa-se que a água cinza bruta apresentou grande variabilidade, tanto em termos de DQO quanto de DBO₅. A etapa anaeróbia é de fundamental importância para a remoção da matéria orgânica biodegradável. O RAC apresentou eficiência de remoção de 59% para DQO e 45% para DBO₅. Nota-se que somente o RAC 1 foi eficiente na degradação de matéria orgânica, com remoções de 57% (DQO) e 42% (DBO₅). O segundo e terceiro compartimentos (RAC's 2 e 3) não apresentaram eficiência na remoção de matéria orgânica.

A ineficiência dos RAC's 2 e 3 ocorreu devido ao elevado tempo de detenção hidráulica (TDH) da água cinza no reator anaeróbio, que foi em média de 27,2 horas. No primeiro compartimento (RAC 1), o TDH foi em torno de 9 horas, provavelmente ocorrendo toda a remoção anaeróbia da matéria orgânica neste compartimento.

A etapa aeróbia realizou o polimento do efluente anaeróbio, sendo muito importante na remoção da matéria orgânica remanescente da etapa anaeróbia. Esta etapa apresentou eficiência de 65% para DQO e 62% para DBO₅.



A ETAC apresentou remoção total de 91% para DQO e 89% para DBO₅, obtendo uma água de reúso com valores médios de 22 mg/L (DQO) e 12 mg/L (DBO₅).

REMOÇÃO DE MICRORGANISMOS

As Figuras 6 e 7 apresentam a remoção de Coliformes totais (CT) e *Escherichia Coli* (*E. coli*). Utilizou-se a densidade de *E. coli* como indicação de contaminação fecal e como indicação de eficiência de remoção de patógenos no processo de tratamento de água cinza.

Figura 6: Remoção de Coliformes Totais

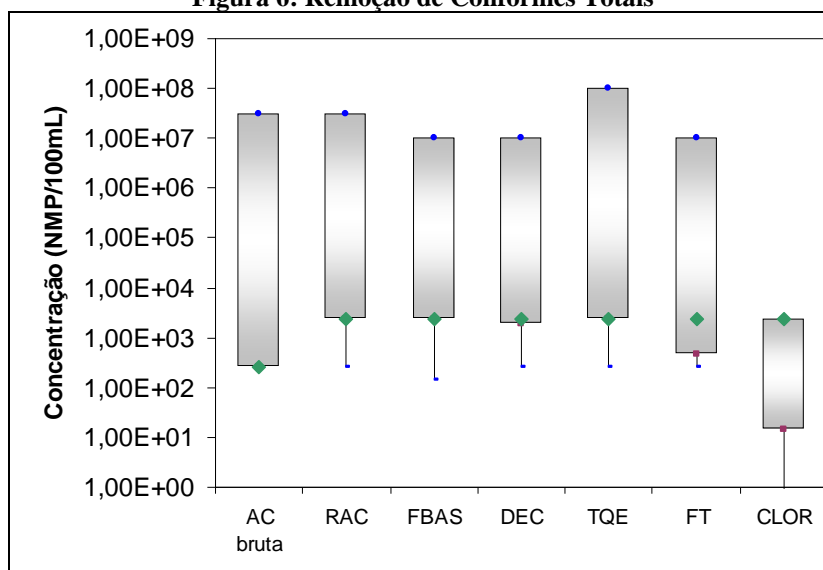
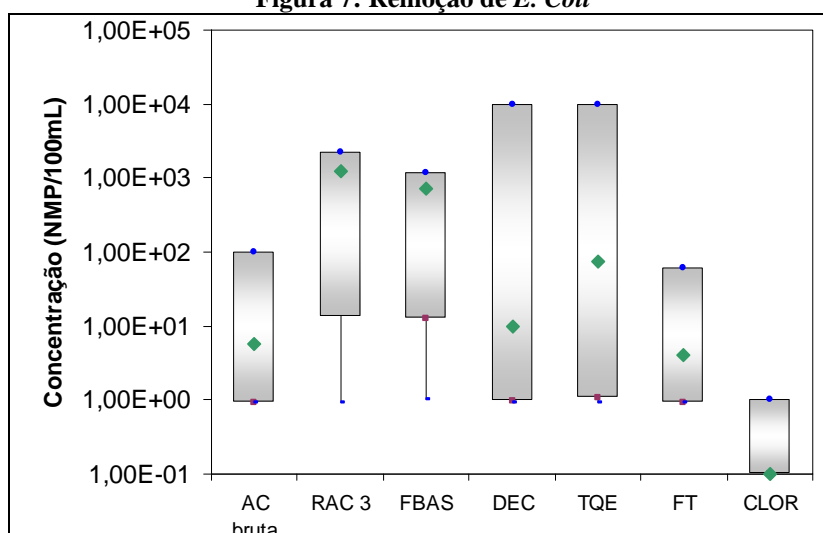


Figura 7: Remoção de *E. Coli*



A alta concentração de coliformes totais na AC bruta pode ser provocada por bactérias comuns da pele. Observa-se que os tratamentos biológicos estudados não foram eficientes na remoção de Coliformes totais e *E. coli*, fato que já era esperado por serem sistemas de alta taxa. A cloração, também como esperado, foi fundamental para a remoção tanto de Coliformes totais quanto de *E. Coli*.

A água de reúso apresentou valores médios de $3,3 \times 10^2$ NMP/100mL para coliforme total e < 1 NMP/100mL para *E. coli*. Bazzarella (2005), encontrou valores próximos para CT ($5,4 \times 10^2$ NMP/100mL) e *E. coli* ($3,17 \times 10^1$ NMP/100mL).



Observa-se que a água de reúso apresentou valores abaixo de 1 NMP/100mL em todas as amostras para *E. Coli*. A concentração de *E.coli* na água de reúso está dentro dos limites impostos por todos os padrões internacionais, assim como no Brasil, segundo a norma NBR 13.969/97.

CONCLUSÕES

O tratamento anaeróbio foi de fundamental importância na remoção das cargas iniciais presentes na água cinza. Destaca-se a grande eficiência na remoção de SSD, DBO₅ e DQO, removendo grande parte dos sólidos e matéria orgânica sem praticamente nenhum aporte energético.

Os RACs 2 e 3 (segundo e terceiro compartimento do reator anaeróbio) não apresentaram eficiência na remoção de matéria orgânica, devido ao TDH no RAC 1, em torno de 9 h.

O tratamento aeróbio atuou complementando a remoção de matéria orgânica remanescente da etapa anaeróbia. A concentração de sólidos aumentou significativamente no FBAS, devido, principalmente, ao desprendimento da biomassa no meio suporte, fato observado na coleta da amostra neste ponto. O tratamento aeróbio fez com que as concentrações de sulfeto fossem reduzidas, fazendo com que o efluente proveniente do FBAS fosse isento de odor. O DEC foi de extrema importância na amortização de sólidos provenientes do FBAS. As eficiências de remoção de SSD e SST foram altas, fazendo desta etapa uma etapa fundamental após o FBAS.

O FT atuou complementando a remoção de sólidos provenientes do DEC, sendo a remoção de SSed foi alta nesta etapa.

A etapa de Cloração removeu a turbidez remanescente do tratamento. O cloro atuou como agente oxidante na remoção da matéria orgânica remanescente proveniente do filtro terciário. Também foi de extrema eficiência na remoção de Coliformes totais e *E. Coli*, sendo que a concentração de *E. coli* na água de reúso foi inferior à 1 NMP/100mL em todas as amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APPA, AWWA, wef. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington - DC. APHA, 2005.
2. BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. 2005. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
3. CETESB/L5.218 Salmonella Isolamento e Identificação - Método de Ensaio. São Paulo, Brasil, 1993.
4. GONÇALVES, R.F. Uso racional da água em edificações. 1.ed. Rio de Janeiro, cap.4, p. 153 – 222. (PROSAB 4, v.5). Título secundário: Tecnologias de segregação e tratamento de esgotos domésticos na origem, visando a redução do consumo de água e da infra-estrutura de coleta, especificamente nas periferias urbanas. ABES, 2006
5. JORDÃO, E.P; SECKLER, S. Análise Crítica in Uso Racional da Água, capítulo 7, pág. 323. 2006.
6. PETERS, M. R. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. 2006. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.