



Vol. 3, No. 1, 120-131, 2010

ISSN 0718-378X

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

REÚSO DE ÁGUAS CINZAS EM EDIFICAÇÕES URBANAS – ESTUDO DE CASO EM VITÓRIA (ES) E MACAÉ (RJ)

Ricardo Franci Gonçalves ^{1*}
Giovana Martinelli
da Silva Simões ¹
Renate Wanke ¹

*GREYWATER REUSE IN URBAN BUILDINGS: CASE STUDY OF VIC-
TORIA (ES) AND MACAÉ (RJ) - BRAZIL*

ABSTRACT

A new generation of buildings are emerging at some Brazilian cities, focusing on better efficiency for renewable resources (energy, water, and materials). Concerning the water conservation techniques, one of the most important practices is the greywater reuse, which must be considered for non-potable reuse as toilets flush water and car wash. This paper presents a new technology for greywater treatment, based on the association of anaerobic baffled reactors, submerged aerated biofilters, tertiary filtration with fibers and disinfection with sodium chlorine. One of the innovative aspects of this system is the simplified sludge management by recycling the aerobic sludge to anaerobic reactor, with thickening and digestion. The main advantages of this proposed design are the compactness, low implantation costs, low energy consumption, operational simplicity, low environmental impact in building area and low sludge production. This paper presents two cases in the Southeast Region from Brazil: a residential building in the city of Vitória (ES) and a hotel in the city of Macaé (RJ).

Key Words: greywater , reuse, water conservation techniques.

¹ Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

* *Contact* Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo - Av. Fernando Ferrari, S/N, Goiabeiras, CEP: 29060-970 Vitória ES. Brasil - Tel: (27) 3335-2857 - e-mail: franci@npd.ufes.br

Resumo

Uma nova geração de edifícios surgem em algumas cidades brasileiras, com foco na eficiência com que os edifícios usam os recursos (energia, água e materiais). Com relação à conservação da água, uma prática importante é a reutilização de águas cinzas, que deve ser tratada antes da reutilização de descarga sanitária e na lavagem de carros, por exemplo. Este trabalho apresenta uma nova tecnologia para tratamento de águas cinzas, a associação em série com base em reatores anaeróbios (RAC), filtros biológicos aerados submersos, filtração terciária e desinfecção com cloro. Um dos aspectos inovadores do sistema é simplificar a gestão do lodo, através da recirculação de lodo aeróbio diretamente ao RAC, para o adensamento e digestão. As principais vantagens deste sistema de tratamento são: compacidade, baixo custo de construção, operação e manutenção, baixo consumo de energia, simplicidade de operação e de baixo impacto no ambiente a ser inserido. Este artigo apresenta dois exemplos de tecnologia na região sudeste do Brasil: um edifício residencial na cidade de Vitória/ES e um hotel na cidade de Macaé.

Palavras-chave: Água Cinza, Conservação de Água, Reúso.

Introdução

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). Portanto, é evidente que, do ponto de vista estratégico, que atuar no controle da demanda residencial de água na Região Metropolitana de Vitória é a melhor alternativa para prorrogar o estresse hídrico que um dia virá. Por outro lado, uma tendência nítida do setor da construção civil habitacional é a construção de edifícios sustentáveis, conceito decorrente da intensificação sobre o debate sobre o desenvolvimento sustentável do planeta. Trata-se dos “green buildings” ou dos “edifícios verdes”, cujas características ecologicamente corretas chamam cada vez mais a atenção das pessoas que se preocupam com o aquecimento global.

Hoje existem cerca de 700 “edifícios verdes” reconhecidos pela única certificação aceita internacionalmente, a LEED (sigla em inglês de “Liderança em Energia e Design Ambiental”) em países como Estados Unidos, Inglaterra e Índia. A implantação deste tipo de edificação se propaga em várias regiões do planeta, sendo que mais de 2000 unidades encontram-se em fase de construção nos EUA. No ano de 2007, apenas o edifício de uma agência do banco ABN Amro Real segue as recomendações LEED no Brasil, mais especificamente na Região Metropolitana de São Paulo. Outros três prédios encontravam-se em construção também em São Paulo,

obedecendo aos critérios que atendem à tais recomendações. Atualmente, o número de edificações certificadas ou em vias de certificação, compreendendo o uso racional da água e o uso de fontes alternativas de água, aumentou significativamente no país. Para a efetiva redução do consumo de água, são práticas particularmente eficientes a eliminação ou a redução extrema de água potável como meio de transporte para os dejetos humanos e, num segundo momento, sua substituição por águas menos nobres provenientes, por exemplo, de componentes não sanitários da edificação.

Nesse contexto, as fontes alternativas de água e o reúso de água na escala das residências são opções que despertam o maior interesse, considerando-se a importância deste componente de consumo em áreas densamente urbanizadas. Nesse sentido, os primeiros municípios brasileiros já iniciaram a promulgação de legislação específica, visando regulamentar a prática do uso de fontes alternativas de água em edificações (Gonçalves, 2006). Baseadas nesses conceitos, novas edificações começam a ser implantadas em 2006 no Município de Vitória, aparelhadas com sistemas hidro-sanitários capazes de realizar o reúso de águas cinza. A principal etapa componente do sistema de reúso é a estação de tratamento de águas cinza (ETAC), que nos casos citados é constituída por uma tecnologia cujo desenvolvimento foi iniciado no Espírito Santo. As primeiras experiências de engenharia em escala real são abordadas nesse trabalho.

Material e Métodos

Estrutura dos edifícios com sistema de reúso de águas cinza – Nas edificações com reúso, as águas cinza são as águas servidas que não possuem contribuição de efluentes de vasos sanitários. É a água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, máquina de lavar roupa e tanques. O sistema hidro-sanitário é concebido de forma a coletar as águas residuárias segregadas em águas cinza e águas negras, e duas linhas independentes e exclusivas para o abastecimento de água: uma de reúso e a outra de água potável (Figura 1). As águas cinza e as águas negras (provenientes dos vasos sanitários) são coletadas por tubulações distintas e conduzidas a tratamento diferenciados. Os reservatórios de água de reúso e água potável devem ser independentes, e se houver parede entre eles a mesma deverá ser dupla. Deve ser previsto a reversão do sistema de reúso para abastecimento com água potável. As águas negras ou fecais deverão ser conduzidas à rede pública de esgoto sanitário, caso não seja possível, estas águas deverão ser tratadas na própria edificação antes do lançamento final. Denominam-se ETAC's as Estações de Tratamento de Águas Cinza e ETE's as Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário.

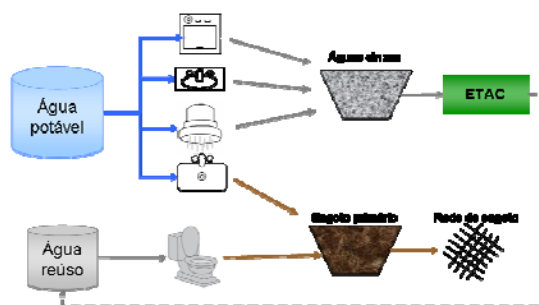


Figura 1 – Esquema do projeto hidro-sanitário em edifícios com reúso

Descrição da Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC) – A ETAC constitui-se da associação em série de processos biológicos de alta taxa, atingindo eficiência de remoção de matéria orgânica superior a 90%. É composta por pré-tratamento, um reator anaeróbico compartimentado (RAC), um filtro biológico aerado submerso (FBAS), um filtro terciário e um clorador (Figura 2).

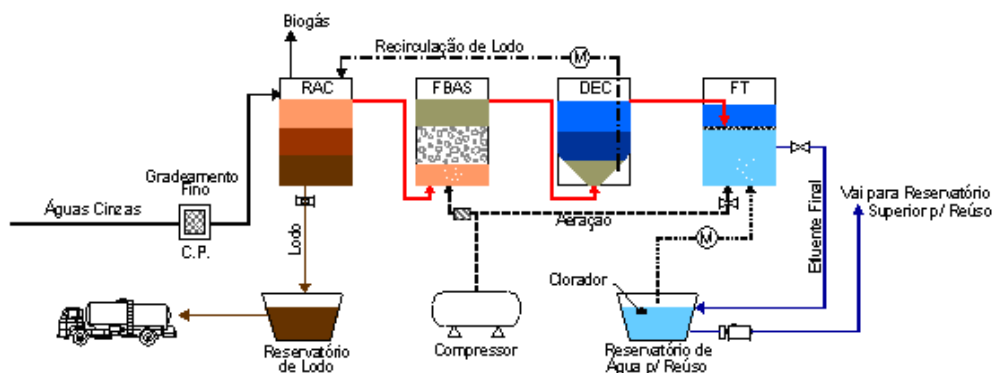


Figura 2 – Fluxograma da Estação de Tratamento de Águas Cinzas

Uma descrição mais detalhada do sistema representado pela ETAC é apresentada a seguir: Pré-tratamento: gradeamento fino (malha de 15,0mm), localizada na caixa reguladora de vazão na entrada da ETAC. Tratamento Anaeróbico: O RAC é composto por três câmaras, sendo que na primeira e na segunda ocorre efetivamente a digestão da matéria orgânica. A terceira câmara é um decantador de alta taxa que tem a função de separar as fases sólida e líquida do efluente. A eficiência na remoção de DBO_5 é da ordem de 50%. Tratamento Aeróbico: No filtro biológico aerado submerso (FBAS) seguido de decantação secundária, a principal função é a remoção de compostos orgânicos, contribuindo para uma eficiência global de remoção de DBO_5 superior a

90%. O lodo de excesso ou biofilme de excesso produzido no FBAS é liberado juntamente com o efluente, e no decantador secundário (DEC) este material é removido e recirculado rotineiramente para a entrada do RAC. No RAC, o lodo de excesso da etapa aeróbia é digerido e adensando pela via anaeróbia. Filtração: O filtro terciário (FT) tem por finalidade a retenção de partículas de sólidos que tenham passado pelos processos anteriores e assim garantir um efluente de alta qualidade. Periodicamente é promovida a lavagem do FT. Desinfecção: O clorador de pastilhas (desinfecção por cloração), dispositivo de simples operação e instalação, que utiliza apenas a energia hidráulica do sistema. A aplicação de cloro é feita de forma gradativa, na medida em que a pastilha se dissolve com a passagem do líquido a ser tratado. A composição da pastilha de cloro é a base de hipoclorito de cálcio. Gerenciamento do lodo de excesso: O lodo de excesso produzido no RAC (anaeróbio + aeróbio digerido) é retirado uma vez a cada dois meses através de caminhão limpa-fossa e, em ambos os casos estudados, é disposto em aterro sanitário. Biogás: A geração de gás da ETAC concentra-se no RAC. O biogás coletado no reator é composto principalmente de gás metano, vapor d'água e gás sulfídrico, sendo o último o principal causador de problemas odores característicos dos sistemas anaeróbios. Na ETAC o biogás é coletado e canalizado até o ramal de ventilação predial.

Na Tabela 1 apresenta-se um resumo dos principais parâmetros adotados no dimensionamento das ETACs e os índices de demanda de área e o consumo energético.

Tabela 1 - Índices e parâmetros de projeto de uma ETAC.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
TDH ⁽¹⁾ (tratamento anaeróbio)	h	12
CV_DBO ⁽²⁾ (tratamento aeróbio)	KgDBO/m ³ .dia	0,8 a 1,0
Taxa decantação	m ³ /m ² .dia	20 a 25
Demanda de área	m ² /hab	0,10
Potência relativa	CV/hab	0,02

(1) TDH – tempo de detenção hidráulica; (2) CV_DBO – carga volumétrica de DBO

- (a) Edifício Residencial Royal Blue, Vitória (ES)** – Residencial de luxo (Vitória/ES) com 15 pavimentos e 30 apart. O empreendimento é da Construtora Lorenge e a partida da ETAC foi realizada em junho/2007 (Figura 3). A área total da ETAC incluindo a circulação é de 27m². **(b) Hotel Comfort Suítes, Macaé (RJ)** – É a primeira unidade da rede Atlântica Hotels Internacional no estado do Rio de Janeiro e o primeiro hotel da rede equipado com uma estação de reúso de águas cinza. São 126 suítes, restaurante c/ 300

refeições/dia e área de lazer. O sistema de reúso de águas cinza é utilizado exclusivamente para descarga de vasos sanitários. Neste empreendimento não há rede pública de esgoto sanitário e, o restante do esgoto (efluentes fecais e de cozinha), é encaminhado separadamente a uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). As duas estações de tratamento (ETE e ETAC) constituem-se de um bloco único e compacto que fica localizado no subsolo do hotel (Figura 4) numa área de 80m².



Figura 3 – ETAC Ed. Royal Blue



Figura 4 – ETAC do Comfort Suítes Macaé

Resultados e Discussão

Edifício Residencial Royal Blue: A água cinza é coletada através de um sistema de instalações segregador das águas residuárias na edificação. As características físico-químicas da água cinza bruta no Ed. Royal Blue podem ser visualizadas na Tabela 2. O desempenho da ETAC na produção de água de reúso é ilustrado pelas figuras 5, 6, 7 e 8. Embora a concentração média de matéria orgânica na água cinza bruta a caracterize como água residuária diluída, o tratamento anaeróbio assegurou a remoção de cerca de 50% da DBO₅ sem nenhum aporte energético. Este nível de desempenho é compatível com relatos de outros autores que trabalharam com o tratamento de águas cinzas pela via anaeróbia (Elmitwalli e Otterpohl, 2007; Ghunmi et al., 2010). A importância estratégica da etapa anaeróbia no fluxograma de tratamento foi comprovada por estudos realizados por Agostini (2009), que evidenciou o impacto positivo da economia de energia sobre a viabilidade econômica do sistema de reúso no Ed. Royal Blue. A efetiva remoção de turbidez e de matéria orgânica, a níveis compatíveis com o reúso, foi assegurada pelo tratamento aeróbio, que também praticamente eliminou as concentrações de sulfeto e gerou um efluente isento de odor. O Filtro Terciário atuou complementando a remoção de sólidos provenientes do decantador, gerando efluentes com menos de 10 mg SS/L. Finalmente, a cloração apresentou eficiência adequada, reduzindo as concentrações de E. coli na água de reúso para menos de 1 NMP/100mL em todas as amostras. Estudos de avaliação

quantitativa do risco microbiológico no sistema de reuso do Ed. Royal Blue, realizados por Vaz (2009), indicaram que o risco anual aceitável pela O.M.S., correspondente a 10^{-3} para diarreias leves ou $1\mu\text{DALY}$, foi assegurado.

Tabela 2 - 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
Nitrog. 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
Coli. Totais (NMP/100mL)	20	$4,36 \times 10^3$ *	$2,6 \times 10^2$	$3,16 \times 10^7$	$2,6 \times 10^2$	$1,15 \times 10^7$	-
<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	20	$5,21 \times 10^0$ *	$5,75 \times 10^0$	$1,7 \times 10^2$	1×10^0	$3,53 \times 10^1$	-

*Média geométrica, Nota: DP = desvio padrão, CV= coeficiente de variação

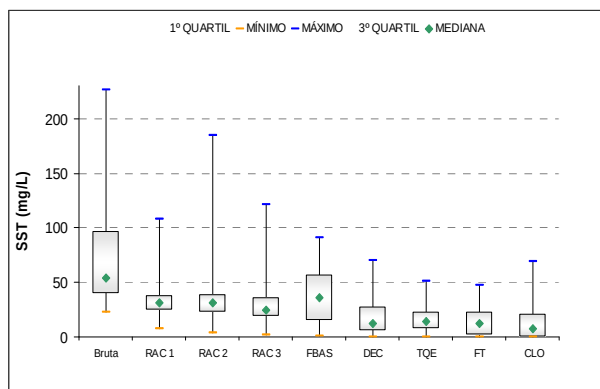


Figura 5 - Remoção de turbidez

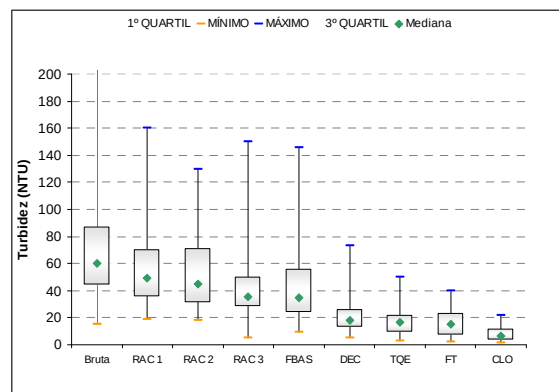


Figura 6 - Remoção de Sólidos Suspensos Totais

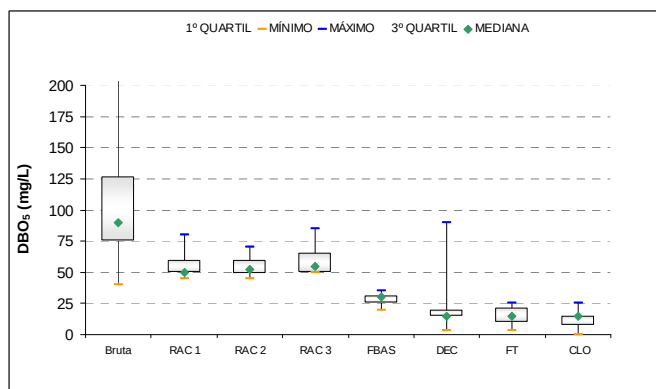


Figura 7 - Remoção de DBO₅

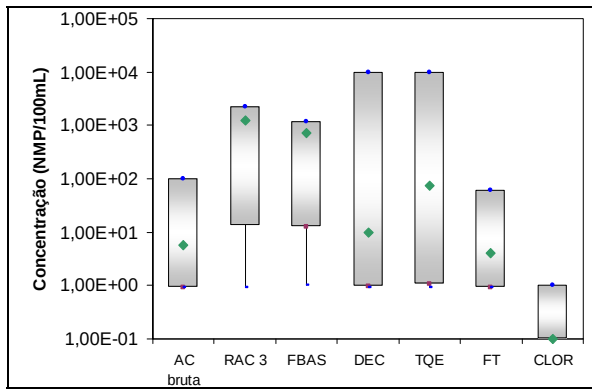


Figura 8 - Remoção de *E. Coli*

O consumo de água de reúso e água potável (m^3/dia) na edificação foi dividido em três setores: apartamentos (bacia sanitária), área de lazer (bacias sanitárias e limpeza) e área comum (bacias sanitárias, rega de área permeável e limpeza) (Figura 9). O consumo de água potável e de água de reúso (não potável) foi maior para os apartamentos, correspondendo cerca de $12\text{m}^3/\text{dia}$ de água potável e $3,5\text{m}^3/\text{dia}$ de água de reúso, aproximadamente. O consumo de água potável na área de lazer também foi significativo ($1,3\text{m}^3/\text{dia}$) e deveu-se ao uso do local para realização de festas e eventos do condomínio, além da limpeza e manutenção da piscina. O consumo percapita médio de água potável foi de 164 L/hab.dia ao longo de todo o período de monitoramento, o que corresponde a 67% do percapita calculado por Pertel (2009) em um edifício sem sistema de reuso na mesma região. A produção percapita média de água cinza bruta foi de 138 L/hab.dia e o percapita médio de consumo de água de reúso foi de 45 L/hab.dia . (Figura 10). A água de reúso corresponde a cerca de 22% do total de água consumida na edificação, tendo sido observado um aumento dessa proporção ao longo do período de monitoramento.

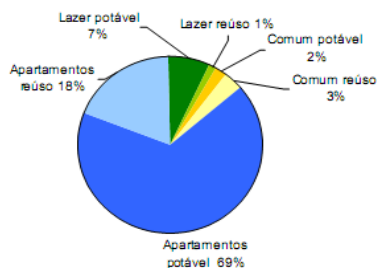


Figura 9 - Setorização do consumo de água potável e água de reúso (m³/dia) para a edificação dotada de reúso

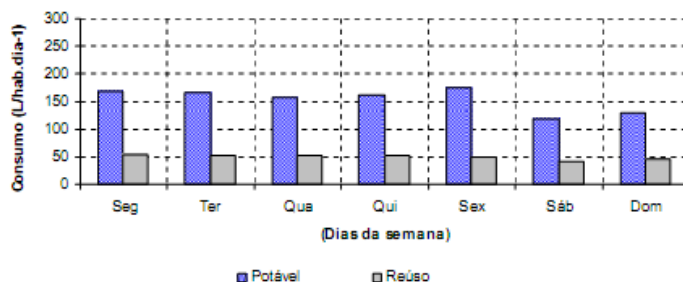


Figura 10 - Consumo per capita de água potável e água de reúso na edificação

A edificação exerceu um consumo médio de 32% da vazão média total de água cinza produzida, havendo um excedente médio de 68% (Figura 11). No Ed. Royal Blue a tarifa de água+esgoto da concessionária de saneamento na ocasião da pesquisa era de R\$ 6,16/m³ e o custo da água cinza tratada de R\$ 1,30/m³. O estudo mostrou que, para cada m³ de água potável não consumida o condomínio economizava R\$ 4,86/m³, resultando numa economia de R\$ 25.200,00/ano (não foram computados os custos financeiros de implantação do sistema de reúso). O tempo de retorno do investimento do sistema de reúso para o Ed. Royal Blue pode variar de 4,5 a 8,5 anos, dependendo do valor do BDI da construção.

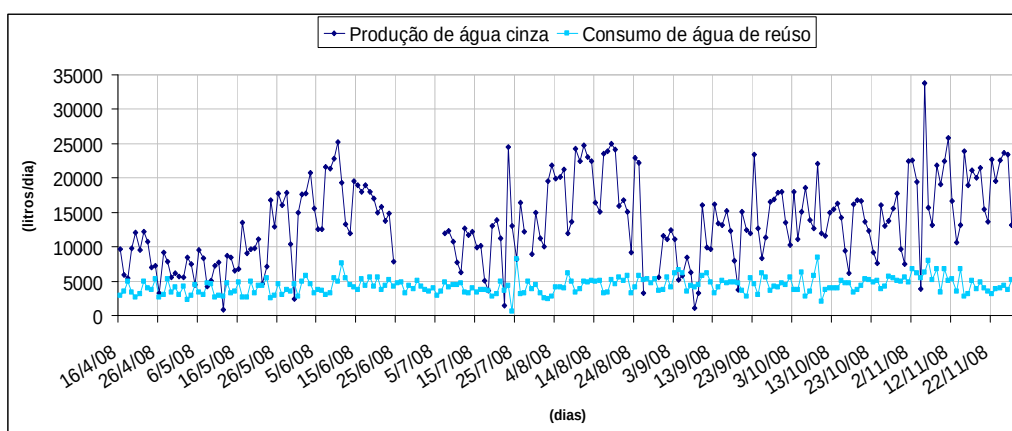


Figura 11 – Produção percapita e consumo percapita de água de reúso no edifício residencial

Hotel Comfort Suítes / Macaé (RJ): O consumo médio mensal de água potável no hotel, que situava-se tradicionalmente em torno de um valor médio 1.515 m³/mês, foi reduzido através da implantação do sistema de reúso para 1.017m³/mês (29% de economia de água) (Figura 12).

Antes da implantação do sistema de reúso de águas cinzas, o indicador específico de consumo foi calculado em 395 L/apartamento/dia e, com o reúso instalado, esse valor foi reduzido a 265 L/apartamento/dia. O custo de implantação do sistema de reúso correspondeu a 0,34% do valor investido na construção do hotel. Com a economia gerada no consumo de água, o investimento no sistema de reúso teve previsão de amortização calculado para 50 meses, o que ocorreu no mês de agosto do corrente ano (Figura 13).

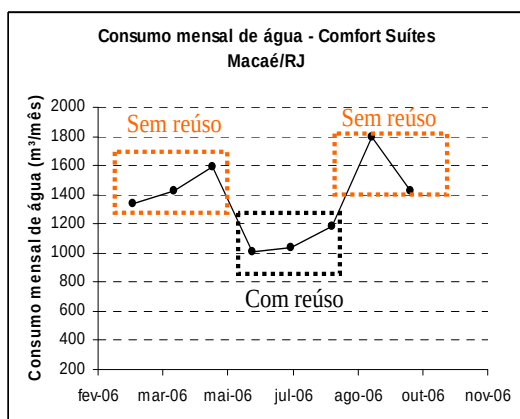


Figura 12 – Avaliação do consumo (Comfort)

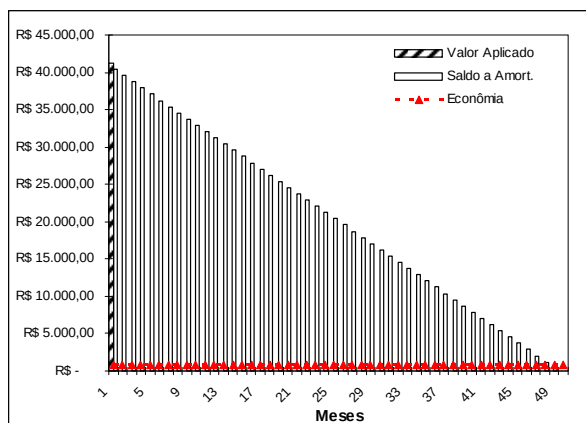


Figura 13 – Amortização do investimento (Comfort)

Conclusão

Um novo conceito de edificações torna-se realidade no Brasil, com o surgimento dos primeiros edifícios “verdes” que, dentre uma série de aperfeiçoamentos, são dotados de um sistema de reúso de águas cinza. A instalação deste tipo de sistema nas edificações resulta em menor emissão de poluentes, na redução de mais de 20% do consumo de água potável (edificações residenciais). Uma estação de tratamento de águas cinzas, desenvolvida com base na associação em série de processos anaeróbios e aeróbios de alta taxa, mostrou ser compatível com as exigências arquitetônicas e construtivas das edificações e capaz de produzir efluentes tratados para usos não potáveis *in loco*. A inserção de uma etapa anaeróbia no fluxograma de tratamento aumenta sensivelmente a viabilidade do sistema de reúso, por permitir a remoção de 50% da matéria orgânica da água cinza sem a necessidade de aeração. Águas de reúso com SS < 10 mg/L, Turbidez < 5 UT, DBO₅ < 5 mg O₂/ e E. coli < 1 NMP/100 mL foram consistentemente produzidas pelo sistema de tratamento.

Na edificação residencial (Ed. Royal Blue), o consumo de água potável foi reduzido em 33% com a prática do reúso de águas cinzas. A economia média de água foi de 22% sobre o consumo total de água potável, o que poderá ser aumentado, caso se encontre novos usos para a água de

reuso produzida na ETAC (Exemplo: lavagem de roupa ou disponibilização para usos externos à edificação). O acréscimo no custo da construção para edifícios com reúso de águas cinza é em torno de 1,54%. O retorno ecológico é de imediato e o tempo de retorno do investimento pode variar de 5 a 8,5 anos, período considerado pequeno quando comparado ao tempo mínimo de vida útil de um edifício que é de 50 anos e que o tempo médio de moradia do proprietário é de 15 anos.

No hotel, o consumo médio mensal de água potável foi reduzido em 29% através da implantação do sistema de reúso. No caso específico, o maior benefício foi a redução proporcional nas vazões de esgoto sanitário produzido na edificação, uma vez que não há rede coletora de esgoto na região. O custo de implantação do sistema de reúso correspondeu a 0,34% do valor investido na construção do hotel, com a economia gerada, o investimento teve previsão de amortização em 50 meses, o que ocorreu no mês de agosto do corrente ano.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Construtora e Incorporadora Mazzini Gomes, a Construtora Lorenge, ao Comfort Suítes Macaé e a Construtora Paes Erlacher.

Referências Bibliográficas

- Agostini, R.S. (2009) Avaliação do desempenho e da viabilidade econômica de um sistema de reúso de água cinza em um edifício residencial de alto padrão. Projeto de Graduação do Departamento de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. 70 pgs.
- Bazzarella, B. B. (2005). Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Elmitwalli, T.A., Otterpohl, R. (2007) Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Water Research, Volume 41, Issue 6, Pages 1379-1387.
- Ghunmi, A.L., Zeeman, G., Fayyad, M., van Lier, J.B. (2010) - Grey water treatment in a series anaerobic – Aerobic system for irrigation. Bioresource Technology, Volume 101, Issue 1, Pages 41-50.

- Gonçalves, R. F.; Silva, G. M.; Wanke, R. (2004) Relatório técnico: Memorial descritivo e de dimensionamento do sistema de reuso de águas cinzas do Hotel Comfort Suítes de Macaé-RJ. Fluir Engenharia Ambiental. 20p.
- Gonçalves, R.F. (2006) Uso racional da água em edificações. 1a.ed. Rio de Janeiro: Editora ABES. 352 pgs.
- Pertel, M. (2009) Caracterização do uso da água e da energia associada à água em uma edificação residencial convencional e uma dotada de sistema de reúso de águas cinza. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito santo. 104 pgs.
- Vaz, L.O. (2009) Avaliação do risco microbiológico decorrente do reúso de águas cinza em uma edificação residencial de alto padrão. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito santo. 142 pgs.