

II-576 - IMPACTO DO REÚSO DE ÁGUAS CINZA NAS VAZÕES DE ESGOTO DOMÉSTICO EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL**Karolyna Costa Aguiar⁽¹⁾**

Arquiteta urbanista pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFES (PPGEA/UFES).

Ricardo Franci Gonçalves

Engenheiro Civil - Ênfase Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1984), com Especialização em Engenharia de Saúde Pública na ENSP - FIOCRUZ (RJ) (1985), DEA Sciences Et Techniques de L'environnement - Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussées (1990) e doutorado em Engenharia do Tratamento de Águas - Institut National Des Sciences Appliquées Toulouse (1993). Atualmente é Professor Associado III do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo

Endereço⁽¹⁾: Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo. Av. Fernando Ferrari, 514 – Goiabeiras - Vitória – ES - CEP: 29.075-910 - Brasil - Tel: +55 (27) 4009-2069 – Fax: +55 (27) 4009-2677 - e-mail: karolaguiar@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo verificar o impacto do sistema de reúso de águas cinza-claras para descarga das bacias sanitárias, nas vazões de esgoto de uma edificação residencial multifamiliar. A edificação possui uma Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC) e medição individualizada por apartamento, sendo dotada de equipamentos economizadores, como bacias sanitárias com caixa acoplada e arejadores nas torneiras. O monitoramento da produção de águas negras (efluentes oriundos de bacias sanitárias) e de águas cinza-escuras (efluentes provenientes de pia de cozinha e máquina de lavar louça) foi realizado de setembro de 2010 a janeiro de 2011 a partir da instalação de um sistema de medição de esgoto do tipo calha *parshall*. Já as vazões de águas cinza-claras (efluentes provenientes de banheiros, chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupas) foram monitoradas em alguns dias de dezembro e janeiro de 2011, a partir da instalação de hidrômetros. O monitoramento foi realizado por meio de leituras diárias, com início às 8h, de todos os medidores do edifício, além do levantamento de 4 perfis de produção 24 horas. Também foram calculados os indicadores *per capita* de produção de águas residuárias. Os resultados indicam que 64% do esgoto produzido na edificação correspondem ao total de águas cinza-claras produzidas, 22% correspondem a águas cinza-escuras e 14% correspondem a águas negras. Observou-se que apenas uma parcela (1,86m³/d) de águas cinza-claras é reutilizada para descargas das bacias sanitárias após tratamento, e 7,14 m³/d são direcionados para a rede coletora de esgoto. Os intervalos de maior produção *per capita* observados foram: das 10h às 12h para águas cinza-escuras, e, para águas negras, das 6h às 8h, com uma queda na produção entre as 2h e as 4h. A faixa de horário de maior produção de esgoto lançado na rede pública (ED_{Rede}) e de esgoto total produzido foi das 10h às 12h, em que foram produzidos, em média, 81,1 l/pes.2h e 85,09 l/pes.2h, respectivamente. O monitoramento de perdas entre as 2h e as 4h permitiu observar a existência de vazamento, visto que a produção de águas cinza-escuras, nesse horário, foi praticamente a mesma, variando de 0,18 m³/2h a 0,20 m³/2h. O indicador de produção *per capita* de águas cinza-claras obtido foi de 152,02 l/pes.d, o indicador *per capita* de águas cinza-escuras foi de 52,64 l/pes.d, e o Indicador *per capita* de produção de águas negras foi de 33,46 l/pes.d. A média de produção *per capita* de ED_{Rede} foi de 215,62 l/pes.d. O impacto de redução de ED_{Rede}, em virtude do reúso verificado neste trabalho para o edifício monitorado, foi de 9,45%.

PALAVRAS-CHAVE: Águas residuárias, Águas cinza, Águas negras, Ecosan, Edificação multifamiliar.

INTRODUÇÃO

O problema de como lidar com o incremento dos despejos humanos (resíduos sólidos, líquidos e gasosos) tem crescido gradualmente em todo o mundo e passou a ser um dilema discutido nos meios acadêmicos, políticos e econômicos. Sob o aspecto sanitário, no Brasil, o destino adequado dos dejetos humanos visa, fundamentalmente, ao controle e à prevenção de doenças a ele relacionadas (FUNASA, 2006). Porém tornou-se claro, internacionalmente, que os sistemas de saneamento não devem apenas coletar com higiene e segurança e dispor adequadamente os resíduos humanos, mas também oferecer a opção de reaproveitamento de nutrientes na agricultura (NIEMCZYNOWICZ, 2001). Os resíduos sólidos orgânicos e as águas residuárias domésticas são uma potencial

fonte de nutrientes, energia e água (VAN VOORTHUIZEN *et al.*, 2005). A separação desses resíduos sólidos e líquidos na fonte e o tratamento descentralizado podem levar a uma utilização eficiente dos nutrientes neles presentes e a, pelo menos, 25% de redução no consumo de água potável (ZEEMAN *et al.*, 2007).

As conclusões extraídas por cientistas, assim como por políticos, incluindo-se os governos de diversos países europeus, para tornar os nutrientes presentes nos esgotos domésticos disponíveis para a reciclagem na agricultura, são que os sistemas sanitários devem ser alterados para permitir a descentralização, possivelmente, para o nível de uma única residência unifamiliar ou um grupo de habitações unifamiliares (NIEMCZYNOWICZ, 2001). Portanto, o saneamento descentralizado, sustentável ou ecológico (Ecosan) concentra-se na coleta segregada das águas residuárias de diferentes qualidades, direcionando-as a tratamentos apropriados (próximos ao local onde foram geradas), com vistas à maximização das possibilidades de recuperação e reutilização de nutrientes, água e energia (MASI, 2009). Embora o foco central do Ecosan seja o reúso da urina e excreta, bem como a poupança do consumo de água potável para o transporte de excretas humanas (PAULO *et al.*, 2007), o reúso de águas cinza é uma alternativa atraente aos sistemas convencionais de saneamento, pois o reúso de água na escala das edificações residenciais é uma opção que desperta grande interesse, considerando-se que o consumo de água, nessa escala, em áreas densamente urbanizadas, pode atingir 50% do consumo total (GONÇALVES & JORDÃO, 2006).

De acordo com Paulo *et al.* (2007), a separação das águas negras (provenientes das bacias sanitárias) das águas cinzas (todo efluente gerado em uma residência, com exceção da bacia sanitária), reusando a última, seria um grande passo em direção à implementação do saneamento ecológico, tendo em vista que essa prática iria reduzir significativamente o volume de esgoto gerado. Portanto, a caracterização desses diversos tipos de águas residuárias na escala residencial é de vital importância para o sucesso dos projetos de reúso, pois, quanto mais informações forem obtidas do efluente, mais apropriada será a decisão em relação ao tratamento que atenda as condições de qualidade e quantidade estabelecidas para o fim almejado (NOUR *et al.*, 2006). Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo verificar o impacto do sistema de reúso de águas cinza nas vazões de esgoto de um edifício multifamiliar, por meio da caracterização quantitativa e do monitoramento da produção segregada das águas residuárias.

MATERIAIS E MÉTODOS

Contextualização da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida numa edificação residencial multifamiliar dotada de um sistema de reúso de águas cinza para descarga das bacias sanitárias e localizada em um bairro de classe alta da cidade de Vitória-ES. A edificação possui uma Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC) e dispõe de medidas de uso racional de água como a medição individualizada e o uso de equipamentos economizadores como bacia sanitária com caixa acoplada e arejadores nas torneiras. E ainda possui duas fontes de suprimento de água: uma fonte de água potável, fornecida pela concessionária, e uma fonte alternativa, não potável, chamada água de reúso. Essas fontes são encaminhadas por sistemas prediais independentes de distribuição de água: o subsistema de distribuição de água fria potável e o subsistema de distribuição de água de reúso. O edifício ainda conta com um subsistema de distribuição de água quente potável, pois possui aquecimento de água coletivo e centralizado realizado por meio de painéis solares instalados na cobertura.

De acordo com o projeto hidrossanitário do edifício, todas as bacias sanitárias do pavimento pilotis e do pavimento tipo eram para ser abastecidas com água de reúso. No projeto somente a alimentação da bacia sanitária do banheiro do porteiro foi prevista com água potável. Porém no decorrer do monitoramento, observou-se que as 03 bacias sanitárias do pavimento pilotis e que algumas bacias sanitárias dos banheiros de empregadas dos pavimentos tipo estavam sendo alimentadas por água potável, pelo ponto de alimentação da ducha higiênica, não consumindo, portanto, água de reúso. Não foi possível quantificar quantas bacias sanitárias apresentavam esse erro de conexão, pois não se teve acesso a todos os apartamentos. Esse erro de conexão ocorreu, pois, como na data do habite-se, a ETAC não estava funcionando, ligou-se a conexão flexível que alimenta a bacia sanitária no ponto de água da ducha higiênica (água potável), pois para o habite-se era necessário que um banheiro estivesse funcionando. E isso ficou esquecido de destocar.

O sistema de coleta de efluentes do edifício é composto pela segregação das águas residuárias na fonte. Todos os efluentes provenientes dos chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupas (MLR) são coletados por um ramal predial especial de coleta de águas cinza-claras (AC_{claras}), e conduzidos por gravidade à ETAC. Os efluentes oriundos de pias de cozinhas e máquinas de lavar louça (MLL), denominados de águas cinza-escuras (AC_{escuras}), são coletados pelo ramal predial de coleta de águas cinza-escuras e direcionados para caixa de gordura e posteriormente para última caixa de

inspeção do sistema predial, de onde são direcionados para a rede pública de coleta de esgoto. E os efluentes de bacias sanitárias (águas negras) são coletados pelo ramal predial de coleta de águas negras, e direcionados para a última caixa de inspeção do sistema predial e posteriormente para a rede coletora de esgoto.

Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC)

Localizada no subsolo do edifício, a ETAC ocupa uma área total de 12 m², incluindo circulação, e é constituída por 6 módulos com dimensões individuais de 1,0x1,0x2,2m (BxLxA), 2 bombas de recirculação de lodo, compressor de ar e um sistema de filtração. Nessa estação de tratamento, inicialmente o efluente passa pela caixa de entrada (Figura 1), que tem a função de reter os sólidos presentes na água cinza bruta e de controlar a vazão na entrada da ETAC, direcionando o excesso para a rede de coleta de esgoto. A caixa de entrada possui, em seu interior, dois vertedores reguláveis, do tipo tulipa, de 100 mm de diâmetro (Figura 2). A água convergida em uma tulipa é direcionada para a ETAC, e a convergida na outra tulipa, excedente da demanda, é direcionada para a rede pública de esgoto. O controle da vazão é realizado por meio do ajuste da altura das tulipas.

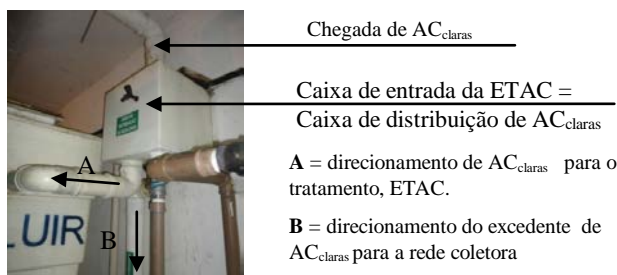


Figura 1: Caixa de distribuição de água cinza.

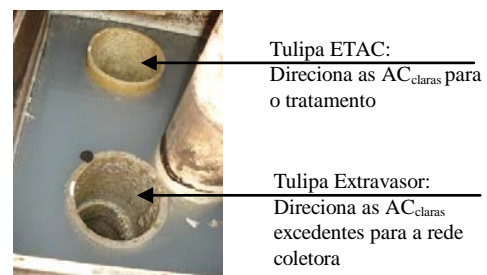


Figura 2: Tulipas da caixa de entrada.

Em seguida, o efluente é conduzido, em ordem, pelos três compartimentos do Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC), Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS), Decantador Secundário (DEC), Tanque de Equalização (TQE), Filtro Terciário (FT) e Desinfecção por cloração, conforme o fluxograma ilustrado na Figura 3. Realizado o processo, a água cinza tratada, que passa a ser chamada de água de reúso, é armazenada no reservatório inferior, de onde é bombeada para um reservatório superior, a partir do qual alimentará as bacias sanitárias dos apartamentos. Os reservatórios de água de reúso e água potável são independentes. Em caso de necessidade, foi previsto a reversão do sistema de reúso para abastecimento com água potável.

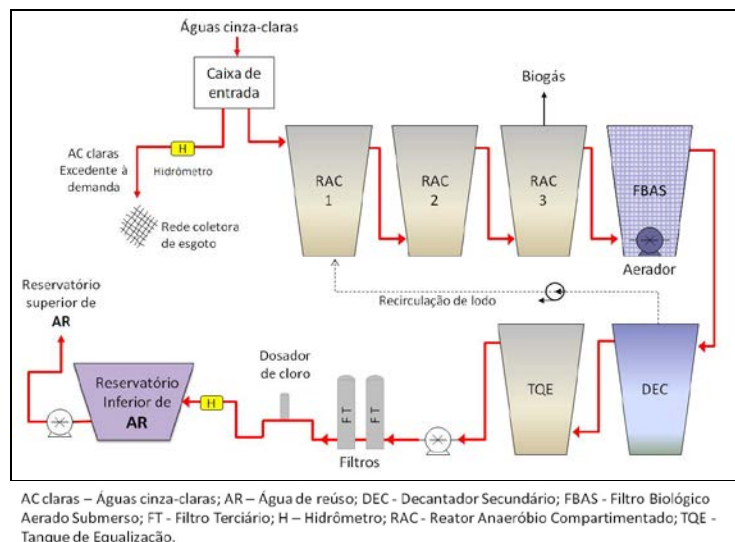


Figura 3: Fluxograma de funcionamento da ETAC.

Monitoramento das vazões de esgoto

Para o monitoramento das vazões de águas negras e das águas cinza-escuras, foi instalado, no edifício, um sistema de medição de esgoto do tipo calha *parshall* (SPC) equipado com sensor de nível ultrassônico e conversor microprocessado, que fornecem indicação instantânea de vazão e totalização do volume escoado, conforme detalhado a seguir (PEREIRA e SASAKI, 2002):

- calha *parshall* (instrumento primário) – dispositivo de medição de vazão na configuração de um canal aberto com dimensões padronizadas – o líquido é forçado por uma garganta estreita, sendo que o nível do líquido a montante da garganta é o indicativo da vazão a ser medida, por meio de fórmula consagrada;
- sensor de nível (instrumento secundário) – transdutor ultrassônico que emite uma onda de som que atinge na superfície do material e é refletida como um eco; o tempo de trânsito ou retorno é medido, e a distância ao objeto refletor é convertida eletronicamente em uma indicação de distância, que é, então, convertida em nível, vazão ou outros parâmetros desejados; e
- conversor (instrumento secundário) – dispositivo microprocessado que recebe sinal do sensor de nível (medição da altura da lâmina) e o converte em vazão e totalização de volume, em função das características da calha.

A calha *parshall* (Figura 4), com a largura de garganta de 1", em fibra de vidro, foi instalada na última caixa de inspeção do sistema predial, antes da ligação à rede coletora. O sensor de nível ultrassônico (Figura 4) foi instalado em local protegido contra intempéries, no trecho convergente a 2/3 da garganta estreita da calha *parshall*, em suporte metálico, devidamente nivelado e centralizado no eixo da calha, conforme determinado pelo fabricante. O conversor (Figura 5) foi instalado no *hall* de serviço localizado no térreo da edificação.

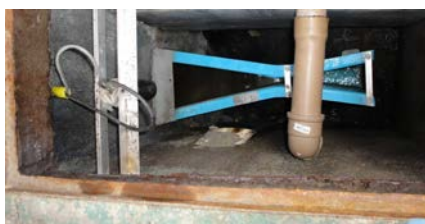


Figura 4: Calha *parshall* e sensor de nível ultrassônico.



Figura 5: Conversor.

Foi realizada a aferição do sistema de medição de esgoto do tipo calha *parshall* instalado no edifício e verificou-se uma sobremedição em torno de 39%. Com isso, foi possível fazer a correção da vazão registrada pelo conversor, obtendo-se uma vazão mais próxima da vazão real de esgoto escoado. Para o monitoramento das águas cinza-claras que são produzidas além da demanda, foi instalado um hidrômetro na tubulação que direciona as águas cinza-claras excedentes da demanda para a rede coletora de esgoto. Essa tubulação encontra-se depois da tulipa de extravasamento localizada na caixa de distribuição de águas cinza da ETAC. E também foi instalado outro hidrômetro na saída do tratamento, pois a soma dos registros dos dois hidrômetros representa a produção total de águas cinza-claras ($AC_{claras\ Total}$). O monitoramento das vazões de águas negras e águas cinza-escuras foi realizado de setembro a janeiro de 2011. Já as vazões de águas cinza-claras foram monitoradas em dezembro e janeiro de 2011. O monitoramento das águas residuárias que compõem o esgoto doméstico foi realizado por meio de leituras diárias matinais dos medidores, com início às 8h, além do levantamento de 4 perfis de produção 24h, em que foram registradas as leituras dos hidrômetros a cada 2h, também com início às 8h da manhã. Como a leitura era manual, executada por uma pessoa somente, uma mesma sequência de leitura era realizada todos os dias.

Caracterização das vazões de esgoto doméstico

Com a instalação dos equipamentos de medição das águas residuárias, foi possível calcular a produção de águas negras e águas cinza-escuras em conjunto ($P_{AN + AC\ escuras}$), a produção de águas cinza-claras excedentes a demanda e lançadas na rede coletora ($P_{AC\ claras\ Rede}$), a produção total de águas cinza-claras ($P_{AC\ claras\ Total}$), a produção de esgoto doméstico lançado na rede coletora ($P_{ED\ Rede}$) e a produção total de esgoto doméstico ($P_{ED\ Total}$) do edifício. Como o efluente que é medido no SPC representa as AN em conjunto com as $AC_{escuras}$, o volume somente de AN foi calculado separadamente. Considerando-se que as AN são os efluentes provenientes das bacias sanitárias (BS), incluindo-se água, urina, fezes e papel higiênico, e que, no edifício analisado, a AR abastece somente as bacias sanitárias, a produção diária de AN foi calculada utilizando dados como o consumo de água de reúso que equivale ao consumo de água das bacias sanitárias, a frequência diária de uso da bacia sanitária para urinar e para defecar por pessoa (obtidos em AGUIAR, 2011); o volume médio de fezes excretadas por pessoa por ato de defecar, o volume médio de urina excretada por pessoa por ato de urinar (obtido em AGUIAR, 2011), e a população do edifício, obtida no monitoramento com o auxílio dos porteiros. Obtido o valor em separado da produção de águas negras, obtêm-se a produção de águas cinza-escuras subtraindo o valor de AN do valor medido pelo SPC.

Indicador de produção per capita de esgoto doméstico

O indicador de produção *per capita* de esgoto doméstico ($\ell/\text{pes.d}$) é definido como o volume de esgoto doméstico produzido por pessoa por dia. Como existe a segregação das águas residuárias no edifício, foram calculados os indicadores de produção *per capita* de AC_{claras} , de AC_{escuras} , de AN , de ED_{Rede} e de ED_{Total} . O indicador de produção *per capita* de águas cinza-claras corresponde à produção total de AC_{claras} por pessoa por dia, englobando a parcela que foi reutilizada, ou seja, a oferta de AC_{claras} produzidas por pessoa. O indicador de produção de esgoto doméstico total *per capita* no edifício corresponde ao total de esgoto doméstico produzido por pessoa por dia no edifício, englobando a parcela de águas cinza-claras reutilizadas. E o indicador *per capita* de produção de ED_{Rede} corresponde ao total de esgoto doméstico produzido por pessoa por dia no edifício, descartando-se a parcela de AC_{claras} reutilizadas.

Avaliação do impacto do reúso nas vazões de esgoto doméstico

A avaliação do impacto de redução de ED_{Rede} foi realizada a partir da análise dos indicadores de produção *per capita* de ED_{Total} e de ED_{Rede} do edifício monitorado, com 10 dias de monitoramento. Na situação sem reúso, todo o esgoto produzido é lançado na rede coletora de esgoto. Portanto o impacto de redução do lançamento de esgoto na rede coletora foi calculado conforme a Equação 1.

$$IR_E = \frac{IP_{ED_{\text{Total}}} - IP_{ED_{\text{Rede}}}}{IP_{ED_{\text{Total}}}} \times 100 (\%) \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

IR_E é o impacto de redução do lançamento de ED na rede (%);

$IP_{ED_{\text{Total}}}$ é o indicador de produção *per capita* de ED_{Total} ($\ell/\text{pes.d}$); e

$IP_{ED_{\text{Rede}}}$ é o indicador de produção *per capita* de ED_{Rede} ($\ell/\text{pes.d}$).

RESULTADOS

Histórico das vazões de esgoto

O histórico da produção de águas negras (AN) e de águas cinza-escuras (AC_{escuras}) do edifício foi obtido por meio do monitoramento diário, no período de 1 de setembro de 2010 a 23 de janeiro de 2011. Já as produções de águas cinza-claras lançadas na rede ($AC_{\text{claras Rede}}$) e do esgoto doméstico lançado na rede coletora (ED_{Rede}) foram monitoradas em alguns dias de dezembro e janeiro, com 11 dias de monitoramento para águas cinza-claras e 10 para esgoto doméstico lançado na rede pública coletora de esgoto doméstico. Na Figura 6, podem ser visualizadas as séries históricas de produção de águas cinza-escuras, de águas negras e de águas cinza-claras lançadas na rede coletora de esgoto e de esgoto doméstico lançado na rede coletora.

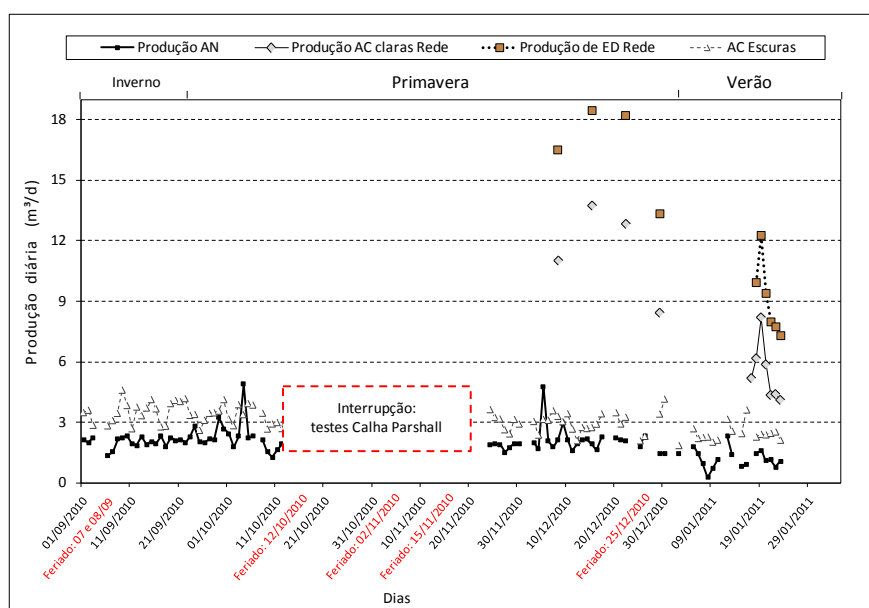


Figura 6: Série histórica de águas residuárias.

Podem ser visualizados na Figura 1, dois maiores picos de produção de AN ($4,98\text{m}^3$ em outubro e $4,89\text{m}^3$ em dezembro), que podem ter ocorrido em virtude do aumento do uso das bacias sanitárias nos apartamentos. A produção de esgoto doméstico total e as produções das águas residuárias que o compõem (AN, AC_{escuras} e AC_{claras}) estão especificadas na Tabela 1. Em média, é produzido, no edifício, um total de $9\text{m}^3/\text{d}$ de águas cinza-claras ($AC_{\text{claras Total}}$), porém $7,7\text{m}^3/\text{d}$ ($AC_{\text{claras Rede}}$) são lançados na rede coletora de esgoto, já que uma parcela dessa água é reutilizada. Observou-se, também, uma produção média de $1,97\text{m}^3/\text{d}$ de AN e de $3,12\text{m}^3/\text{d}$ de AC_{escuras} em 88 dias de monitoramento.

Tabela 1: Análise estatística da produção de esgoto doméstico.

	Parâmetro monitorado				
	$AC_{\text{claras Total}}$ (m^3/d)	$AC_{\text{claras Rede}}$ (m^3/d)	AC_{escuras} (m^3/d)	AN (m^3/d)	ED_{Rede} (m^3/d)
Nº de observações (unid.)	11	11	88	88	10
Média	9	7,7	3,12	1,98	12,10
Mínimo	5,09	4,1	1,86	0,27	7,3
Máximo	15,50	13,7	4,61	4,90	18,44
Desvio-padrão	3,85	3,5	0,62	0,69	4,3
Coefficiente de variação (%)	42,83	45,5	19,79	35,07	35,8

Por meio da série histórica, foi possível determinar os coeficientes de máxima vazão diária (K1), utilizados para o dimensionamento de ETAC's, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2: Coeficiente de vazão máxima diária.

Autor	Ano	Local	Edificação	AN	AC_{Escuras}	$AC_{\text{claras Rede}}$	$AC_{\text{claras Total}}$	ED_{Rede}	ED_{Total}
				K1	K1	K1	K1	K1	K1
Esta Pesquisa	2011	Vitória-ES	Multifamiliar dotada de AR	2,47	1,48	1,79	1,72	1,52	1,50

AN – Águas negras; AC_{escuras} – Águas cinza-escuras; $AC_{\text{claras Rede}}$ – Águas cinza-claras lançadas na rede de esgoto; $AC_{\text{claras Total}}$ – Águas cinza-claras totais produzidas; ED_{Rede} – Esgoto doméstico lançado na rede coletora; ED_{Total} – Esgoto doméstico total produzido.

A Figura 7 apresenta, por meio do gráfico *Box-plot*, a produção de AN, de AC_{escuras} , de $AC_{\text{claras Rede}}$, de $AC_{\text{claras Total}}$, de ED_{Rede} e de ED_{Total} . Verificou-se que o volume médio diário produzido de AC_{claras} foi muito superior aos volumes de AN e AC_{escuras} e ainda que existe uma grande parcela de AC_{claras} que poderiam ser reutilizadas para outras atividades como lavagem de área pavimentada e rega de jardim, mas é desviada para a rede coletora de esgoto.

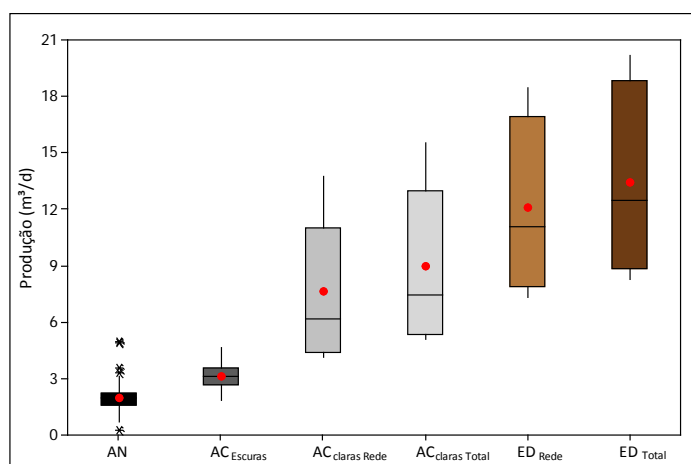


Figura 7: Variação da produção de esgoto doméstico.

Distribuição do esgoto doméstico

Na Figura 8, observa-se a distribuição do esgoto doméstico total produzido na edificação, em que se verifica que 64% correspondem às $AC_{\text{claras Total}}$ com um volume médio de $9\text{m}^3/\text{d}$; 22% correspondem às AC_{escuras} com volume médio produzido de $3,12\text{m}^3/\text{d}$; e a menor parcela, 14%, corresponde às AN com volume médio de $1,98\text{m}^3/\text{d}$.

Entretanto uma parcela ($1,86\text{ m}^3/\text{d}$) das AC claras é reutilizada para descargas das bacias sanitárias após tratamento, e $7,14\text{ m}^3/\text{d}$ são direcionados para a rede coletora de esgoto. A Figura 9 apresenta a distribuição do ED lançado na rede coletora. Em média, 16% ($1,98\text{ m}^3/\text{d}$) do ED do edifício lançado na rede coletora correspondem a AN, 26% ($3,12\text{ m}^3/\text{d}$) equivalem a AC escuras, e 58% ($7,14\text{ m}^3/\text{d}$) correspondem a AC claras Rede.

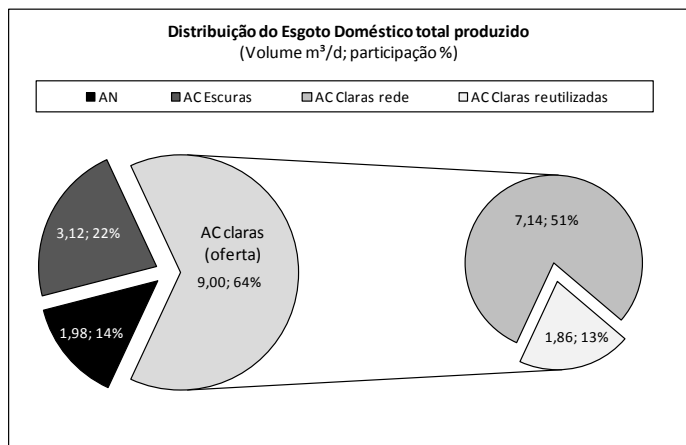


Figura 8: Composição do ED Total produzido.

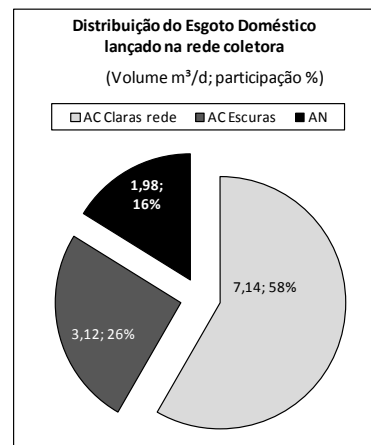


Figura 9: Composição do ED Rede.

Variação da produção de ED ao longo do dia

A Figura 10 apresenta os perfis 24 horas de produção de AN, de AC escuras, de AC claras Rede, de ED Rede e de ED Total. Pode-se observar, nos perfis de AC claras Rede, de ED Rede e de ED Total, os 3 maiores picos de produção: de manhã (das 6h às 8h), na hora do almoço (das 10h às 12h) e à noite (das 18h às 20h), em que se verifica que o maior pico ocorre das 10h às 12h, horário de preparação do almoço.

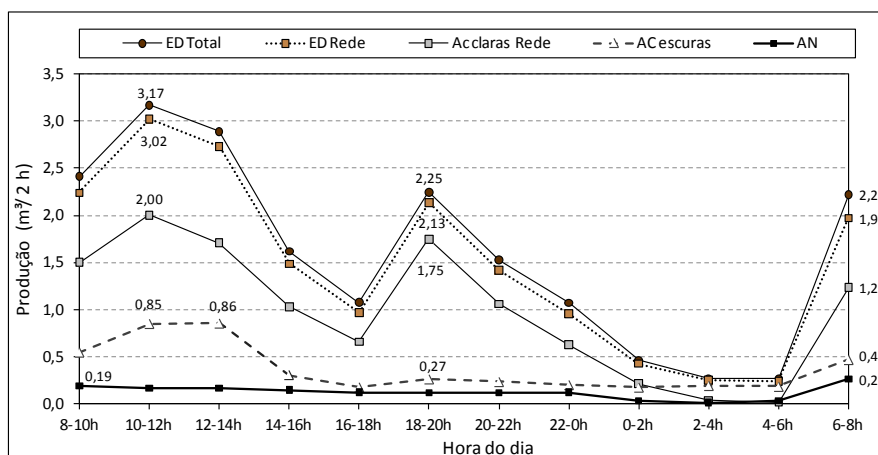


Figura 10: Perfil de produção de esgoto doméstico em 24 horas.

O maior pico de produção de AN ($0,26\text{ m}^3/2\text{h}$) ocorreu das 6h às 8h da manhã, provavelmente caracterizando o horário em que os moradores acordam e utilizam a bacia sanitária; e o horário de menor produção ocorreu das 2h às 4h, quando foram produzidos $0,02\text{ m}^3/2\text{h}$. A média de produção de AN ficou em torno de $0,13\text{ m}^3/2\text{h}$, portanto o coeficiente de máxima vazão horária (K2) foi de 2,10, e o de mínima vazão horária (K3) foi de 0,12, conforme apresenta a Tabela 3. O maior pico de produção de AC escuras ($0,86\text{ m}^3/2\text{h}$) ocorreu das 10h às 12h, horário de almoço; e o horário de menor produção ($0,18\text{ m}^3/2\text{h}$) ocorreu das 4h às 6h, porém a produção da 0h às 2h e das 2h às 4h oscilou de 0,18 a $0,20\text{ m}^3/2\text{h}$, o que indica um provável vazamento.

Tabela 3: Coeficientes de vazão máxima e mínima diária.

Autor	Local	Edificação	AN		AC _{escuras}		AC _{claras Rede}		AC _{claras Total}		ED _{Rede}		ED _{Total}	
			K2	K3	K2	K3	K2	K3	K2	K3	K2	K3	K2	K3
Esta Pesquisa (2011)	Vitória ES	Multifamiliar c/ reúso	2,1	0,12	2,27	0,5	2,03	0,01	1,95	0,05	2,03	0,16	1,98	0,17
Valentina (2009)	Vitória ES	Multifamiliar c/ reúso							1,8					

Os perfis 24 *per capita* de produção de AN, de AC_{escuras}, de AC_{claras Rede}, de AC_{claras Total}, de ED_{Rede} e de ED_{Total} podem ser visualizados na Figura 11. Nota-se, na referida figura, que o perfil *per capita* de AC_{escuras} apresentou o maior pico de produção das 10h às 12h (24 *l/pes.2h*), igualmente ao perfil de produção de AC_{escuras}. O perfil *per capita* de AN apresentou comportamento semelhante ao perfil 24h de produção de AN, com pico das 6h às 8h (5,6 *l/pes.2h*). A faixa de horário de maior produção de ED_{Rede} e de ED_{Total} foi das 10h às 12h, quando foram produzidos, em média, 81,1 *l/pes.2h* e 85,09 *l/pes.2h*, respectivamente.

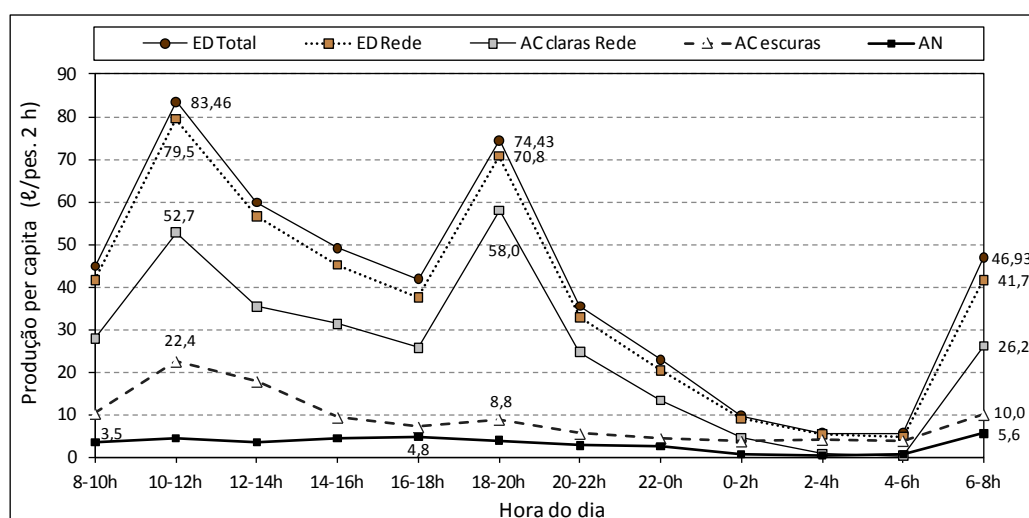


Figura 11: Perfil *per capita* de produção de esgoto doméstico em 24 horas.

Indicador de produção *per capita*

Os indicadores de produção *per capita* de águas cinza-claras, águas cinza-escuras, águas negras, esgoto doméstico lançado na rede coletora e esgoto doméstico total, obtidos nesta pesquisa, são apresentados na Tabela 4, junto com indicadores encontrados na literatura.

Tabela 4: Indicadores de produção *per capita* de AC claras, AC escuras, AN, ED Rede e ED Total em comparação com a literatura.

Autor	Ano	Local	Padrão da Edificação	$IP_{AC\ clara}$ (ℓ/pes.d)	$IP_{AC\ escura}$ (ℓ/pes.d)	IP_{AN} (ℓ/pes.d)	$IP_{ED\ Rede}$ (ℓ/pes.d)	$IP_{ED\ Total}$ (ℓ/pes.d)
Esta pesquisa	2011	Vitória – ES	Multifamiliar r c/ reúso	152,02	52,64	33,46	215,62	238,12
Cheung <i>et al.</i>	2009	Florianópolis – SC	Unifamiliar baixa renda reúso e Ach	91	22	31	-	-
Custódio e Ferreira	2005	Goiânia – GO	Unifamiliares	-	-	-	138,76	-
Valentina	2009	Vitória – ES	Multifamiliar c/ reúso	195	-	-	-	-
Pansonato <i>et al.</i>	2007	Campo Grande - MS	Residência baixa renda	58,6	17,34	-	-	-
Peters <i>et al.</i>	2006	Florianópolis – SC	Residência baixa renda	54,3	-	-	-	90,63
Prathapar <i>et al.</i>	2005	Omã	Residências	105	55			
Palmquist e Hanæus	2005	Suécia	Residências	66		28,5		
Halalsheh <i>et al.</i>	2008	Jordânia	Residências áreas rurais	14				
Parkinson <i>et al.</i>	2005	Goiânia – GO	Unifamiliares				241	241
Henze & Ledin	2001	Japão	Unifamiliares	120	20	50	200	200

Ach – água de chuva; ref. – referência; Aps. – apartamentos.

Pode-se observar, na Tabela 4, que a média de produção *per capita* de AC_{claras} obtida neste trabalho (152,02ℓ/pes.d) foi a segunda maior dentre as apresentadas na literatura consultada. A maior foi a obtida por Valentina (195ℓ/pes.d) numa edificação de padrão semelhante a edificação monitorada no presente estudo. A menor (14ℓ/pes.d) foi a encontrada por Halalsheh *et al.* (2005) em residências localizadas em áreas rurais, na Jordânia, país que enfrenta a escassez de água. A produção de AC_{claras} obtida neste trabalho foi quase 3 (três) vezes maior que a obtida por Peters *et al.* (2006), cujo valor foi de 54,3 ℓ/pes.d, para residência de baixa renda. Essa diferença se deve ao fato de a edificação objeto de estudo deste trabalho apresentar um alto padrão, o que justifica o maior consumo de água e, conseqüentemente, uma maior produção de águas cinza.

O resultado obtido neste trabalho para a produção *per capita* de águas cinza-escuras (52,64ℓ/pes.d), ou seja, efluentes provenientes de cozinhas, foi próximo ao encontrado por Prathapar *et al.* (2005), que demonstraram que a produção em Omã, na Ásia, foi em média de 55 ℓ/pes.d. Já a média de produção *per capita* de águas negras foi de 33,46ℓ/pes.d, valores próximos aos encontrados por Cheung *et al.* (2009), numa residência de baixa renda na periferia de Florianópolis – SC (31 ℓ/pes.d), por Palmquist e Hanæus (2005), numa residência na Suécia (28,5 ℓ/pes.d), e por Almeida *et al.* (1999), em residências na Inglaterra (31,51 ℓ/pessoa.d).

A média de produção *per capita* de esgoto doméstico lançado na rede coletora (215,62 ℓ/pes.d) apresentou-se menor que a média estimada por Parkinson *et al.* (2005). E apresentou-se maior que os valores encontrados por Henze & Ledin (2001) e também por Custódio e Ferreira (2005) num condomínio de residências unifamiliares em Goiânia-GO. Porém o indicador encontrado por Custódio e Ferreira (2005) foi considerado baixo pelos autores, pois eles verificaram, no estudo, um baixo coeficiente de retorno (0,37), ou seja, apenas 37% da água potável que entra no condomínio retorna para a rede coletora de esgoto. O restante se dissipa, principalmente, na rega de jardins, já que se trata de um condomínio residencial com extensa área ajardinada.

Avaliação do impacto do reúso na produção de esgoto

A avaliação do impacto de redução de esgoto doméstico lançado na rede coletora foi realizada a partir da análise dos indicadores de produção total de esgoto doméstico *per capita* e da parcela lançada na rede, do edifício monitorado, em 10 dias de monitoramento. O indicador de esgoto doméstico total produzido corresponde ao indicador de esgoto

doméstico lançado na rede coletora, se o edifício não possuísse reúso. Com isso, pode-se calcular a redução de esgoto lançado na rede coletora, em virtude do reúso. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Impacto de redução de esgoto doméstico lançado na rede coletora.

$IP_{ED\ Rede}$ (ℓ/pes.d)	$IP_{ED\ Total}$ (ℓ/pes.d)	IR_E (%)
215,62	238,12	9,45

O impacto de redução de esgoto doméstico lançado na rede coletora, em virtude do reúso verificado neste trabalho para o edifício monitorado, foi de 9,45%. O baixo valor verificado pode estar associado ao pouco tempo de monitoramento da produção de águas cinza-claras.

CONCLUSÃO

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Verificou-se neste trabalho que a prática do reúso acarretou uma redução de 9,45% de esgoto doméstico lançado na rede coletora em 10 dias de monitoramento. O baixo valor encontrado pode estar associado ao pouco tempo de monitoramento da produção de águas cinza-claras. Esse percentual poderia retratar melhor a realidade se a série histórica de águas cinza-claras fosse maior.

E também poderia ser maior se o reúso de águas cinza fosse destinado para outros fins, como rega de jardins, lavagem de áreas pavimentadas, lavagem de automóveis, reserva técnica de incêndio, dentre outros. A utilização do excedente da água cinza-clara produzida acarretaria uma maior economia de água para a edificação e maior redução de esgoto lançado na rede pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, K. C. Comparação dos potenciais de conservação de água com a prática do reúso de águas cinza e com a coleta segregada da urina humana em uma edificação residencial multifamiliar. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFES,
- CHEUNG, P. B. *et al.* Consumo de água. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). Uso racional da água e energia: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 36-98.
- CUSTÓDIO, S. P.; FERREIRA, O. M. Condomínio residencial Aldeia do Vale: consumo de água e geração de esgoto. 2005. Disponível em: <<http://www.ucg.br>>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (BRASIL). Manual de saneamento. 4. ed. rev. Brasília, DF: Fundação Nacional da Saúde, 2006. 408 p.
- GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P. Introdução. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). Uso racional da água em edificações. Vitória: ABES, 2006, p. 1-28.
- HALALSHEH, M.; DALAHMEH, S.; SAYED, M.; SULEIMAN, W.; SHAREEF, M.; MANSOUR, M.; SAFI, M. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. Bioresource Technology. n. 99. P. 6635-6641, 2008.
- HENZE, M.; LEDIN, A. Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters. In: LENS, P.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. Decentralised sanitation and reuse: concepts, systems and implementation. London: IWA Publishing, 2011, chapter 4, p. 59-72, 2001.
- MASI, F. Water reuse resources recovery: the role of constructed wetlands in the Ecosan approach. Desalination. n. 246, p. 27-34, 2009.
- NIEMCZYNOWICZ, J. The urban sanitation dilemma. In: LENS, P.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. Decentralised sanitation and reuse: concepts, systems and implementation. London: IWA Publishing, 2001. Chapter 7, p. 116-128.
- NOUR, E. A. A. PHILLIPPI, L. S. ROSTON, D. M. ZANELLA, L. GONÇALVES, R. F. Gerenciamento de águas negras e amarelas. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 223-265.
- PALMQUIST, H.; HANÆUS, J. Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households. Science of the total environment. n. 348. p. 151– 163, 2005.

12. PANSONATO, N.; AZEVEDO, C.; RIBEIRO, A. S.; ASMUS, A. F.; PAULO, P. L. Caracterização de água cinza em uma residência de baixa renda em Campo Grande, MS, Brasil. In: Conferência internacional em saneamento sustentável, (Ecosan), Fortaleza, 2007.
13. PARKINSON, J. N. CAMPOS, L. C. Desenvolvimento de um modelo para a caracterização quantitativa e qualitativa de esgotos domésticos. In: 23 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005.
14. PAULO, P. L.; BRAGA, A. F. M. ; MAXIMOVITCH, A. C. ; BONCZ, M. Á. . Tratamento de água cinza em uma unidade residencial de banheiros construídos. In: 24 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. Anais do 24 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro : ABES, 2007. v. 1. p. 1-6.
15. PEREIRA, L. G.; SASAKI, E. Sistema de medição de esgoto em canal aberto (calha parshall). Sanasa, Campinas: 2002. Disponível em: <<http://www.semasa.sp.gov.br>>. Acesso em: 12 fev. 2011.
16. PETERS, M.R., DARELA, C.P., PASCAL, J.A., SEZERINO, P.H., PHILIPPI, L.S. Quantificação e caracterização de águas cinza para reúso doméstico. In: V Simpósio internacional de qualidade ambiental, Porto Alegre. Anais do V Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, v. 01, 2006.
17. PRATHAPAR, S. A; JAMRAH, A.; AHMED, M.; AL ADAWI, S., AL SIDAIRI S., AL HARASSI, A. Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman. Desalination. n. 186. p. 177-186, 2005.
18. VALENTINA R. S. D. Gerenciamento da qualidade e da quantidade de água cinza em uma edificação residencial de alto padrão com vistas ao seu reúso não potável. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
19. VAN VOORTHUIZEN, E. M.; ZWIJNENBURG, A.; WESSLING, M. Nutrient removal by NF and RO membranes in a decentralized sanitation system. Water research. v. 39, n. 15, p. 3657-3667, 2005.
20. ZEEMAN, G.; KUJAWA, K.; MELS, A. MEULMAN, B.; KWANT, F. Full scale demonstration of vacuum collection, transport & treatment of black water. Proceedings, advanced sanitation, Aachen, Institute of environmental engineering RWTH Aachen University, IWA International Water Association, 12 - 13 March, Aachen, Germany. 2007.