

Análise comparativa das práticas de reúso de água cinza em edificações urbanas na Alemanha e no Brasil

Comparative analysis of greywater reuse practices in German and Brazilian urban buildings

- **Data de entrada:**
24/08/2018
- **Data de aprovação:**
04/09/2018

Ricardo Franci Gonçalves*/Regina de Pinho Keller/ Thiago Keller Franci

DOI: 10.4322/dae.2019.024

Resumo

Este trabalho aporta informações sobre a prática do reúso de água cinza na escala de edificações na Alemanha, realizando concomitantemente uma análise comparativa com a mesma prática no Brasil. Informações sobre o consumo de água, a distribuição do consumo nas residências, o potencial de reúso nas edificações, as tecnologias de tratamento mais utilizadas e dados sobre custos de implantação e operação de sistemas de reúso nos dois países são apresentadas. No Brasil, há uma predominância de tecnologias convencionais de tratamento, sobretudo porque os valores das tarifas de água e esgoto são relativamente baixos para assegurar a viabilidade econômica de sistemas de reúso. Na Alemanha há uma preferência por ETACs dotadas de biorreatores com membranas filtrantes (MBR), cujo valor de investimento é comparativamente bem maior. Entretanto, o elevado valor das tarifas de água e esgoto assegura um fluxo de caixa positivo nos empreendimentos naquele país, mesmo com o emprego de tecnologias mais sofisticadas e que consomem muita energia elétrica. Há uma tendência em transformar as ETACs na Alemanha em equipamentos que recuperam a energia térmica das águas cinzas, o que as torna superavitárias em energia

Palavras-chave: Água cinza. Tratamento. Reúso. Edificações. Viabilidade econômica. Alemanha. Brasil

Abstract

This work provides information on greywater reuse while comparing German to Brazilian building scales. Information on dwellings water consumption, potential for water reuse in buildings, the most used treatment technologies and data on construction, operation and maintenance costs of reuse systems in both countries are presented. In Brazil, a predominance of conventional treatment technologies was identified, mainly due to water and sewage tariffs values, which are relatively low to ensure economic viability. On the other hand, this research shows Germany preferably use treatment systems equipped with membrane bioreactors, that have higher construction, operation and maintenance costs. Despite the high costs, the value of water and sewage tariffs ensure a positive cash flow for such projects, even with the use of more sophisticated technologies that are not energy efficient. Moreover, Germany is moving its paradigm towards the use of greywater treatment plants to equipment that recover thermal energy, which can lead to a positive energy balance.

Keywords: Greywater. Treatment. Reuse. Buildings. Economic viability. Germany. Brazil.

Ricardo Franci Gonçalves – Engenheiro civil e sanitarista, com pós-doutorado no Departamento de Gerenciamento de Águas Urbanas (Universidade Técnica de Berlim), doutorado em engenharia do tratamento de águas pelo (INSA de Toulouse, França), Mestre em engenharia ambiental (École Nationale des Ponts et Chaussées, França) e pós-graduado em Engenharia de Saúde Pública (ENPC – FioCruz). Professor titular do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

Regina de Pinho Keller – Bióloga compós-doutorado em Microbiologia Ambiental pela University of Ottawa, doutorado em Microbiologia (Université Paris VII - Institut Pasteur) e mestrado em Bioquímica (UFRJ) Professora associada do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

Thiago Keller Franci – Administrador, com MBA em Gestão Empresarial (FGV) e Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (Universidade Federal do Espírito Santo).

***Endereço para correspondência:** DEA - CT - UFES: Av. Fernando Ferrari, n 514, Campus de Goiabeiras, Vitória (ES), CEP 29075-05. E-mail: franci@npd.ufes.br.

1 INTRODUÇÃO

O reúso de água cinza é uma prática mais em voga no Brasil do que na Alemanha nos dias de hoje. Isso pode ser atribuído em grande parte às crises de abastecimento que vêm atingindo as regiões brasileiras mais densamente urbanizadas nos últimos anos, crises essas que jogaram definitivamente por terra o mito de que o Brasil é a pátria da água. Não obstante, essa não é a única explicação para tal fato.

Os sistemas alemães de saneamento são tecnicamente melhores e atendem a uma parcela maior da população do que os brasileiros. Isso significa que a gestão do saneamento aqui no Brasil deve evoluir muito para atingir um padrão de qualidade semelhante. No que tange os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, suas características mais distintas na Alemanha são o reduzido consumo per capita de água, as perdas reduzidas na distribuição de água e a elevada cobertura de tratamento terciário de esgoto sanitário.

Em que pese essa tendência de redução do consumo de água, a disponibilidade hídrica anual na Alemanha é de 188 bilhões de m³, o que a qualifica como um país rico em recursos hídricos (KIRSCHBAUM E RICHTER, 2014). A indústria e as residências usam menos de 20% desses recursos, cuja captação vem sendo reduzida de maneira consistente nos últimos 20 anos. Em 2007, o volume total de água captada foi 32 bilhões de m³, sendo a maior parte do consumo exercida como água de “make up” nas torres de resfriamento das numerosas usinas termoeletricas existentes no país (19,7 bilhões de m³). O consumo nas edificações urbanas foi de aproximadamente 5,1 bilhões de m³, correspondendo a 3% da disponibilidade hídrica total. O abastecimento de água é assegurado por mais de 6.000 sistemas, com um comprimento total de rede de distribuição de cerca de 530.000 km e 60.000 funcionários. Chama a atenção o nível de excelência no controle das perdas de água nos sistemas que, em 2001, já havia atingido 7%.

Os sistemas de esgotamento sanitário compreendem mais de 10.000 ETEs, que tratam anualmente 10,1 bilhões m³ de esgoto. Com uma extensão de rede coletora de mais de 540.000 km, 40.000 funcionários e um volume anual de investimentos de € 4,4 bilhões, 98% dos sistemas produzem efluentes tratados em nível terciário (remoção de N, P e desinfecção) com elevado padrão de qualidade. Apesar da alta qualidade do esgoto tratado, são escassos os sistemas de reúso de água a partir de estações de tratamento de esgoto.

2 A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL AO LONGO DOS ANOS

O consumo de água potável de uma típica família alemã pode ser distribuído como se segue: 32% para descarga sanitária, 30% para tomar banho, 14% para lavar roupas, 6% para pessoal higiene pessoal, 6% para lavagem de louça, 4% para jardinagem, 3% para limpeza em geral, 3% cozinhar e beber e 2% para a lavagem do carro. Embora as previsões feitas na década de 1970 dessem conta de que haveria um aumento do consumo per capita de água potável na Alemanha para mais de 200 litros/dia, na verdade o consumo diminuiu em cerca de 13% entre 1991 e 2004 (KIRSCHBAUM E RICHTER, 2014). Essa queda foi contínua e consistente ao longo dos anos, atingindo no ano de 2010 o valor de 121 L/hab.d (Figura 1).

Esses valores não deixam de ser impressionantes quando comparados aos valores do consumo per capita de água nas cidades brasileiras com maior IDH (para comparar o que é comparável) e com outros países da OCDE. Por exemplo, no ano de 2013 o consumo de água per capita médio residencial foi de 100 L na Polônia, 117 L/hab.d na República Tcheca, 127 L/hab.d na Alemanha, 151 L/hab.d na Holanda e 195 L/hab.d na Espanha (Eurostat, 2018). No Brasil, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016) dão conta de que o consumo per capita médio de água

nos anos de 2013, 2014 e 2015 no Brasil foi de 165,3 L/hab.d. Entretanto, nos bairros mais nobres de cidades com elevado IDH, esse indicador supera facilmente 200 L/hab.d. Tome-se como exemplo os estudos realizados pela UFES no ano de 2010 na Vitória (ES), em que o consumo per capita médio de água potável variou entre 180 e 260 L/hab.d em edifícios residenciais multifamiliares de bairros de classe média (AGUIAR, 2011).

Outra informação relevante aportada por Schleich e Hillenbrand (2007) refere-se à diferença nos consumos per capita nas duas partes da Alemanha após a reunificação. Curiosamente, os níveis de consumo per capita nos antigos e novos Estados eram quase os mesmos no início da década de 1990. No entanto, até 1991 o consumo per capita diminuiu em cerca de 34% nos novos estados e apenas 9% nos estados mais antigos.

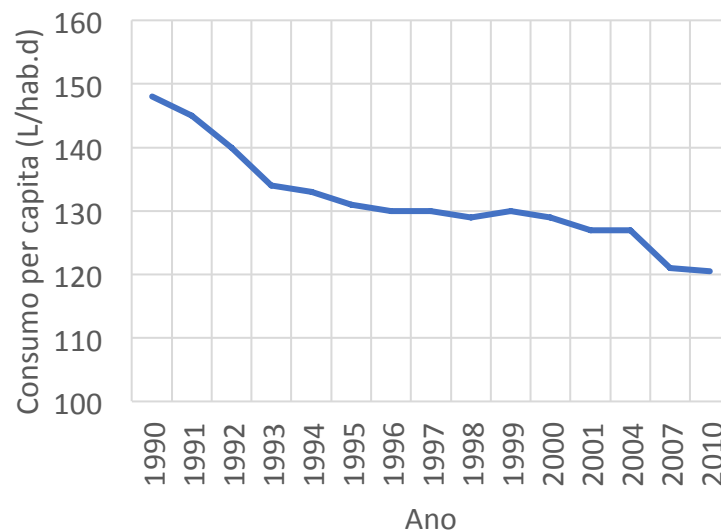


Figura 1 - Consumo de água potável na Alemanha (Fonte: Kirschbaum e Richter, 2014)

3 TARIFAS DE ÁGUA E ESGOTO

A micromediação é praticamente universal em todo o país, embora ainda existam edifícios com hidrômetro coletivo. A legislação alemã exige que os preços de água e esgoto sejam definidos para abranger custos totais dos sistemas, o que faz com que os

consumidores paguem tarifas equivalentes ao custo médio em vez de preços marginais. Em certa medida, a diminuição do consumo per capita de água pode ser explicada pelo aumento substancial das tarifas de água e esgoto no início de 1990, o que foi significativamente maior nos novos estados (Figura 2).

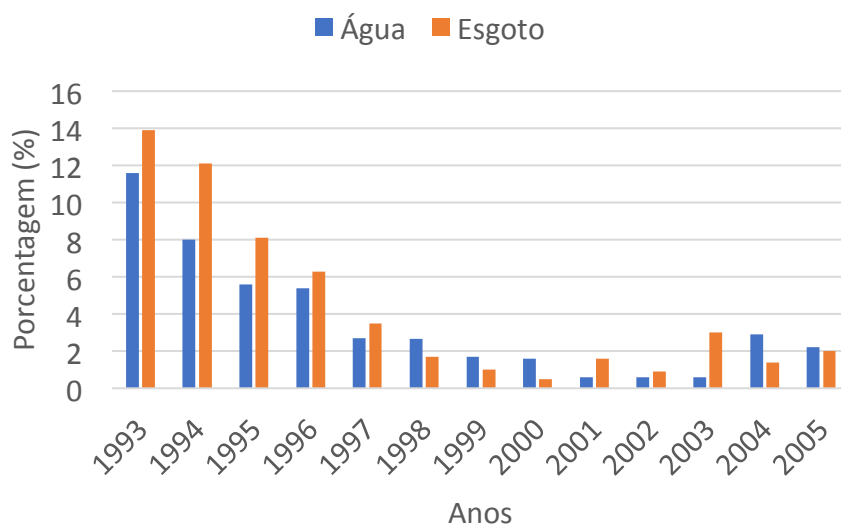


Figura 2 - Mudança nos preços nominais das tarifas de água e esgoto na Alemanha
 Fonte: Schleich e Hillenbrand, 2007

As tarifas de água e esgoto são diferentes para empresas públicas e privadas, sendo as primeiras obrigadas a cobrir os custos do serviço e as demais submetidas a tarifas controladas por agências antitrustes do país. Em 2015, os preços médios de

água foram 1,81 € por m³ e 2,14 € por m³ de águas residuárias (SHORE, 2015). Vários profissionais do setor de saneamento na Alemanha atribuem a redução constante do consumo de água potável nos últimos anos ao aumento dos valores das tarifas.

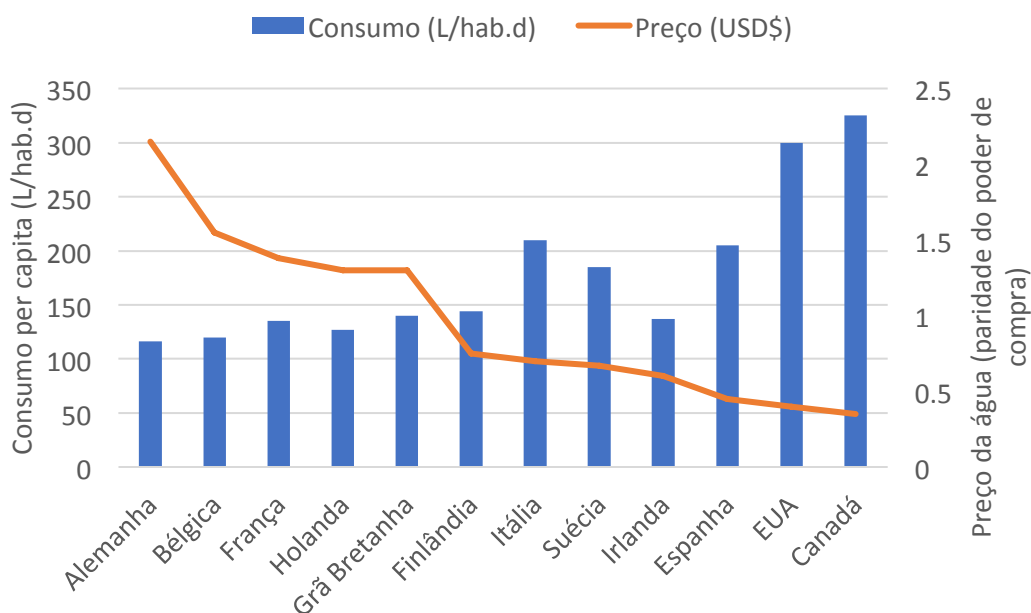


Figura 3 – Relação entre o valor da tarifa de água e o consumo per capita médio de água potável em diferentes países desenvolvidos
 Fonte: Shore, 2015

A literatura técnica é relativamente abundante sobre o efeito das elevadas tarifas sobre o consumo de água, mas isso fica muito claro na comparação entre o consumo de água e as tarifas cobradas em diferentes países, ressaltando o caso particular da Alemanha (BISWAS E KIRCHHERR, 2012). Lá, a tarifa de água é a mais cara em todo o continente europeu, assim como dentre todos os países considerados no estudo realizado por Shore (2015). Em contrapartida, é nesse país que se consome menos água potável dentre todos, indicando a importância do preço da água como medida não estrutural para a conservação desse recurso. Nesse contexto, o reúso de água passa a ser interessante do ponto de vista econômico para o consumidor.

4 O REÚSO PREDIAL DE ÁGUA NA ALEMANHA

O primeiro projeto oficial de reúso de água cinza na Alemanha teve início no ano de 1989, em Berlim. A prática enfrentou resistência por parte das empresas de saneamento na ocasião, por ignorarem a necessidade de conservar de água e por seu interesse em vender mais água. Se alguns especialistas em saúde coletiva e higiene receberam positivamente os novos conceitos, embora com algumas reservas, outros se posicionaram radicalmente contra uma segunda rede de água pelo temor das possíveis conexões cruzadas.

Hoje em dia, órgãos públicos de Berlim que lidam com o reúso de água nas edificações da cidade o fazem de forma mais pragmática e objetiva. As primeiras experiências visavam suprir água de reúso para a descarga sanitária de edificações com cerca de 100 habitantes. A equipe de engenheiros da Universidade Técnica de Berlim (TUB) foi a primeira a definir parâmetros de projeto e os requisitos gerais para a instalação de ETACs no país (NOLDE, 1999). A partir de 1993, com base em vários artigos publicados pela TUB, diversos sistemas de reúso foram implantados, atingindo

cerca de 400 realizações em todo o país no ano de 2009. Destes, alguns sistemas encontram-se operando satisfatoriamente até os dias de hoje, e outros tiveram o funcionamento interrompido por decisão dos proprietários.

Conforme discutido anteriormente, o consumo per capita médio água potável em residências e pequenas empresas na Alemanha no ano de 1998 foi de 129 L/hab.d, e esse número vem se reduzindo de maneira consistente desde então. Cerca de 9% desse consumo ocorre nas pequenas empresas, restando um per capita de cerca de 117 L/hab.d para as residências. As quantidades de água consumidas e água cinza produzida podem variar consideravelmente dependendo do nível socioeconômico das famílias e os hábitos dos usuários.

Um exemplo de segregação das diferentes correntes líquidas em uma residência típica na Alemanha é apresentado na figura 4. Considerando-se um consumo de água potável de 100 L/hab.d, a produção de esgoto doméstico será de 70 L/hab.d (coeficiente de retorno $C = 70\%$). Em geral, a demanda de água não potável (reúso de água cinza) é de cerca de 40 L/hab.d, dos quais em torno de 25 a 35 L/hab são utilizados para a descarga sanitária. Tal como no Brasil, a demanda de água de reúso situa-se bem abaixo do total disponível quantidades de água cinza.

O consumo per capita de água de reúso acima descrito é próximo do consumo médio per capita de água de reúso em edificações residenciais estudadas pelo Núcleo Água da UFES (Figura 5). É possível observar que, entre os edifícios que possuem o sistema de reúso de água cinza, o Ed. Royal Blue consome 52,5 L/hab.dia de um total de 144 L/hab.dia de água cinza produzida, enquanto a edificação Luiz Nogueira consome cerca de 34 L/hab.dia a menos de água de reúso. Essa diferença entre as edificações decorre do fato de que no Luiz Nogueira o consumo de água cinza é restrito ao atendimento das descargas de bacias sanitá-

rias, e o Royal Blue reutiliza a água cinza também nas áreas externas, em limpezas e banheiros da área de lazer, e na irrigação de jardins.

Tal como no balanço hídrico realizado para a residência alemã, no Brasil a produção de água cinza é muito maior do que o consumo de água de reúso. Deve-se atentar para o fato de que o emprego

da água de reúso na lavagem de roupas não é permitido no Brasil, o que limita o consumo per capita desse tipo de água não potável a valores inferiores a 50 L/hab.d. A maior diferença entre os balanços hídricos das edificações nos dois países está na produção de água cinza, fortemente influenciada no Brasil pelo hábito da população de tomar mais de um banho por dia (GONÇALVES, 2006).

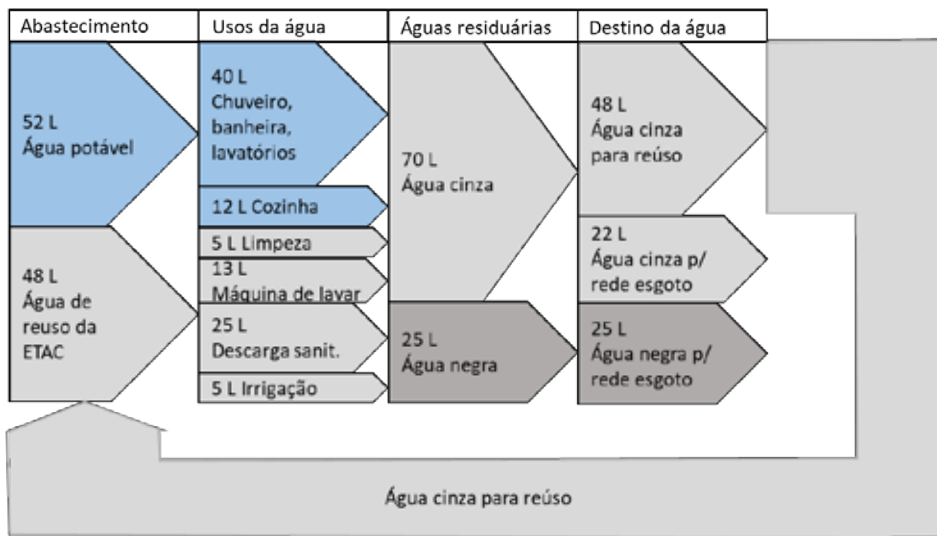


Figura 4 – Balanço hídrico e correntes segregadas de água em uma residência típica alemã
 Fonte: Mehlhart, 2005

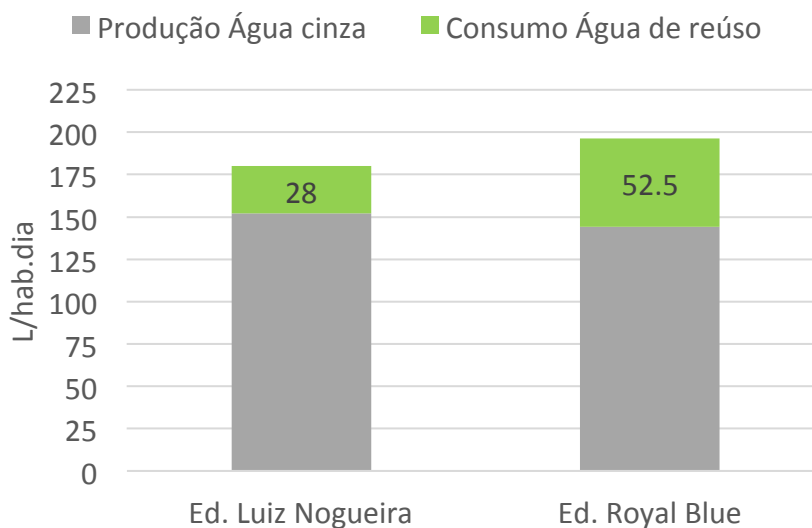


Figura 5 - Produção de água cinza e o consumo de águas de reúso nas edificações com sistema de reúso de águas.
 Fontes: Pertel, 2009 e Aguiar, 2011

5 USOS E PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA DE REÚSO

Tanto no Brasil como na Alemanha a água de reúso pode ser utilizada exclusivamente para fins não potáveis. Deve ser ressaltado que, ainda no início de 2018, o Brasil não dispõe de uma legislação federal que regulamente a prática do reúso de água nas edificações. Em nível regional, existem algumas legislações Municipais e Estaduais, dentre elas a RESOLUÇÃO CONJUNTA SES/SMA/SSRH Nº 01 DE 28 DE JUNHO DE 2017, do Estado de São Paulo, que disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Entretanto, encontram-se em fase de redação dois importantes documentos que visam organizar a prática e aportar segurança institucional a respeito no país:

1 - Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil - PRODUTO III - CRITÉRIOS DE QUALIDADE DE ÁGUA (RP01B), de autoria da empresa CH2M, sob contratação por parte do Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA – Programa Interáguas (Acordo de Empréstimo Nº 8074-BR – Banco Mundial).

2 - A futura norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre Sistemas de água não potável em edificações.

Embora não tenha sido redigida com a finalidade específica de normatizar o reúso predial de águas, a NBR 13.969/1997 tem servido como um balizador em várias instâncias no país, porque prevê o reúso de acordo com a seguinte classificação:

- Classe 1 - Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.

- Classe 2 - lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.

- Classe 3 - descargas de bacias sanitárias.

Todos os usos acima citados podem ser praticados também na Alemanha. A maior diferença é que nesse país é autorizado o reúso de água para a lavagem de roupas, o que impacta muito positivamente o balanço hídrico e a viabilidade econômica dos sistemas de reúso nas edificações. A tabela 1 ilustra diferentes opções cotejadas na concepção de um sistema de reúso de água cinza para uma edificação residencial em Berlim, realizado pela empresa Nolde and Partners (MEINZINGER et al., 2014). A água cinza tratada para efeito de reúso foi considerada nas opções 2 e 4 na alimentação das descargas sanitárias e na lavagem de roupas, sendo que a água cinza escura foi considerada como descarte nas opções 1 e 2. A água cinza clara exclui a vazão de água cinza (escura) proveniente da pia de cozinha, rica em matéria orgânica, óleos e graxas.

Tabela 1 - Opções cotejadas na concepção de um sistema de reúso de água cinza para uma edificação residencial em Berlim (Fonte: Meinzinger et al., 2014)

Opção	Abastecimento de água		Disposição de água cinza (AC)	
	Descarga sanitária	Máquina de lavar	Baixa concentração	Alta concentração
0	Água potável		Esgoto	
1	Água não potável	Água potável	Tratamento de AC	Rede de esgoto
2	Água não potável		Tratamento de AC	Rede de esgoto
3	Água não potável	Água potável	Tratamento de AC	
4	Água não potável		Tratamento de AC	

* Opções 1 e 2: apenas água cinza clara

* Opções 1 e 3: apenas para descarga sanitária

Na Alemanha, os sistemas prediais com reúso de água cinza devem ser objeto de licenciamento para que sejam prevenidas conexões cruzadas, e as tubulações rotuladas e coloridas de acordo com os regulamentos. Os requisitos de qualidade

da água de reúso, utilizada principalmente para descarga sanitária, são os mesmos das diretrizes da União Europeia (EU) para águas de recreação. Essas diretrizes da UE (76/160 / EWG) estabelecem: coliformes totais <10.000 NMP/100 ml; E. coli <1.000 NMP/100ml; e Pseudomonas aeruginosa <100/100 ml. Trata-se de uma medida coerente, tendo em vista que uma água que pode ser utilizada para banho de imersão também pode ser utilizada para descarga sanitária, por exem-

plo. Porém, cumpre observar que tais padrões são muito menos rigorosos do que os praticados no EUA e no Brasil (Tabela 2). Interessante notar que, atualmente, a maioria dos sistemas de reúso de água cinza existentes na Alemanha utiliza reatores biológicos com membranas filtrantes (MBR), que produzem água de reúso com qualidade muito superior ao exigido. O reúso de água cinza para irrigação é praticado em menor escala naquele país (NOLDE, 2005).

Tabela 2 – Padrões de qualidade de águas de reúso predial em diferentes países

País	Referência	Parâmetros	
		Físico-químicos	Biológicos
Brasil	NBR 13.969/1997 - Classe 1	Turbidez ≤ 5 UT	Coli. Term. ≤ 200 NMP/100mL
		6,0 ≤ pH ≤ 8,0	
		0,5 ≤ Cl res. ≤ 1,5 mg/L	
Brasil	NBR 13.969/1997 - Classe 2	Turbidez ≤ 5 UT	Coli. Term. ≤ 500 NMP/100mL
		Cl res. ≤ 0,5 mg/L	
Brasil	NBR 13.969/1997 - Classe 3	Turbidez ≤ 10 UT	Coli. Term. ≤ 500 NMP/100mL
Brasil	ABNT (2018) - texto provisório	Turbidez ≤ 5 UT	Coli. Term. ≤ 200 NMP/100mL
		6,0 ≤ pH ≤ 9,0 0,5 ≤ Cl res. ≤ 1,5 mg/L	
Brasil	Diretiva do Min. Cidades - texto provisório Reuso urbano irrestrito Kluber e Abreu (2018)	Turbidez ≤ 5 UT	Coli termot. ≤ 10 ³ NMP/100mL
		6,0 ≤ pH ≤ 9,0	Helmintos < 1 ovo/L
		Cl res. = 1,0 mg/L	
		DBO ₅ ≤ 15 mg/L	
Alemanha		DBO ₇ ≤ 5 mg/L	Coli totais ≤ 10 ⁴ NMP/100mL
			Coli termot. ≤ 10 ³ NMP/100mL
			Pseudomonas aeruginosa ≤ 10 ² UFC/100mL
EUA	USEPA (2004)	DBO ₅ ≤ 10 mg/L	Coli Term. = ND
		Turbidez ≤ 2 UT	Patógenos viáveis = ND
		6,0 ≤ pH ≤ 9,0	

* NBR 13.969: Classe 1 - Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes. Classe 2 - lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. Classe 3 - descargas de bacias sanitárias.

6 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO A PARTIR DE ÁGUA CINZA

As características qualitativas da água cinza na Alemanha e no Brasil não diferem substancialmente das publicadas por vários autores para esse tipo de água residuária gerada em edificações residenciais (GONÇALVES, 2006).

Segundo Nolde (2005), as configurações dos sistemas de reúso de água predial na Alemanha devem atender aos seguintes princípios:

- Os sistemas de reúso, inclusive as ETACs, devem ser registrados nas autoridades sanitárias locais.
- O risco de existência de conexões cruzadas nas edificações deve ser próximo de nulo. Para tanto, os componentes do sistema, inclusive tubos e conexões, devem ser rotulados e coloridos para efeito de identificação. As torneiras de água devem ser rotuladas e protegidas contra uso não autorizado.
- A água de reúso não deve ser uma fonte de incômodo para os consumidores, devendo estar livre de odor, turbidez e cor objetáveis.
- Tendo em vista que a maioria dos sistemas de abastecimento de água (potável) alemães não utiliza cloro no tratamento, a desinfecção química também na produção de água de reúso é considerada inaceitável.
- Os custos de operação e manutenção dos sistemas de reúso de água devem ser inferiores aos dos serviços de abastecimento de água potável e de esgotamento sanitário para garantir a viabilidade econômica dos empreendimentos.

Os primeiros empreendimentos dotados de sistemas de reúso naquele país adotaram a estratégia de múltiplas barreiras, utilizando sistemas biológicos convencionais seguidos de sistemas de desinfecção. Um exemplo é o edifício Blok 6, um dos primeiros edifícios alemães com reúso de água, cujo tratamento contempla um reator biológico com leito móvel (MBBR). Atualmente, quase todas as empresas que atuam no segmento do reúso predial de água comercializam reatores biológicos com membranas (MBR).

Na pesquisa realizada no website Expert Environmental (www.environmental-expert.com), realizada em dezembro de 2017, verificou-se a existência de 27 empresas atuando no mercado de reúso de água cinza na Alemanha. No que diz respeito aos fabricantes de ETACs, a pesquisa indicou a oferta generalizada de sistemas de tratamento muito parecidos, compostos por um pré-tratamento para remoção de sólidos grosseiros e um MBR com membrana de ultrafiltração. Os seguintes componentes integram a configuração típica deste tipo de ETAC (Figura 6):

- Pré-tratamento – peneira com extravasor
- Reservatório de água cinza bruta produzida na edificação.
- MBR – trata biologicamente e realiza a ultrafiltração da água cinza.
- Reservatório de água tratada, também equipado com uma alimentação de água potável para garantir a segurança operacional do sistema.
- Sistema de controle automatizado.

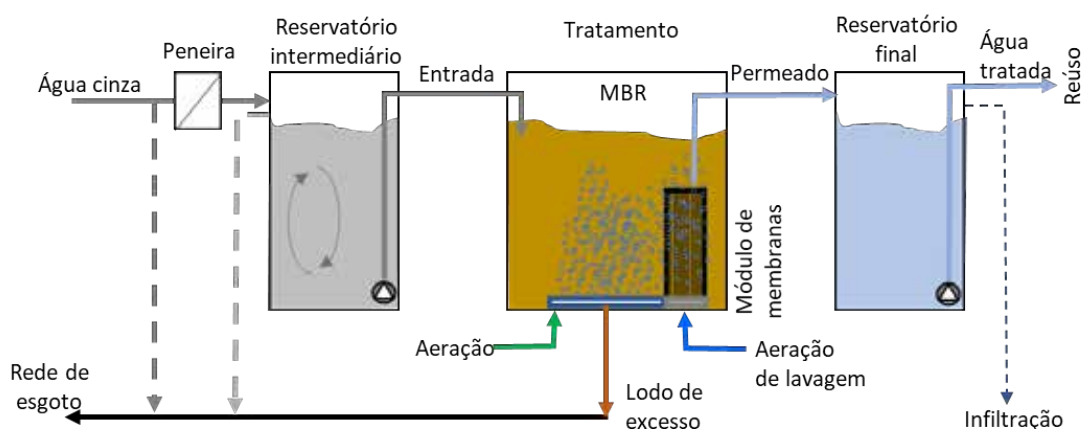


Figura 6 – Configuração típica de uma ETAC com um biorreator com membrana filtrante de ultrafiltração (MBR)
 Fonte: iWater Wassertechnik, 2014

É importante ressaltar que, mesmo que a membrana de ultrafiltração retenha os microrganismos de maior tamanho, ainda assim é importante a instalação uma etapa de desinfecção, para assegurar uma concentração residual de cloro na água de reúso. Do ponto de vista da arquitetura dos sistemas, prevalecem os sistemas modulares pré-fabricados, com excelente acabamento, e que são vendidos por faixa de vazões ou capacidades de tratamento. Em todos os casos, o controle do sistema é realizado automaticamente, mediante o emprego de sensores de pressão, de válvulas automatizáveis e de um controlador lógico programável (CLP), sendo de especial interesse da automação a lavagem da membrana filtrante.

As ETACs encontram maior utilização em residências unifamiliares, condomínios residenciais, hotéis e campings, razão pela qual são comercializadas com capacidade de tratamento variando predominantemente de 200 a 10.000 L/d. Nolde (2005) informou que mais de 95% dos sistemas instalados no ano de 2005 na Alemanha atendiam a edificações residenciais ocupadas por uma ou duas famílias, com uma capacidade de tratamento de cerca de 600 L/d. Para o autor, empreendimentos dessa natureza demandam uma área de instalação de 0,81 m², altura de 1,88 m e um

investimento de EU\$ 5.000,00. Tais sistemas são capazes de economizar 200 m³/ano em média.

Já no Brasil, a estratégia de tratamento de água cinza mais amplamente aceita atualmente é a das múltiplas barreiras de tratamento, com uma predominância de sistemas de tratamento que não empregam membranas filtrantes. Uma possível razão para tanto é o consumo de energia característico dos MBR, em especial aqueles que utilizam membranas de ultrafiltração. Outro motivo relevante é a ausência de fabricantes de membranas filtrantes no país, o que causa uma dependência de fornecedores estrangeiros que pode prejudicar a sustentabilidade dos empreendimentos. Há registros de ETACs com capacidade variando de 500 L/d até 300.000 L/d em funcionamento no país. Na pesquisa realizada na internet no final de 2018, constatou-se a existência de 12 fornecedores de ETACs no país. Desses, alguns fabricam sistemas de tratamento físico-químico à base de coagulação – floculação – decantação – filtração – desinfecção, em configurações semelhantes às das estações de tratamento de água convencionais. As principais vantagens desse tipo de sistema são a compactidade, a modularidade e o reduzido consumo de energia. Por outro lado, o tratamento físico-químico não remove eficientemente matéria

orgânica dissolvida, consome produtos químicos (coagulantes e floculantes), produz muito lodo e requer controle automatizado eficiente.

Outros fabricantes fornecem ETACs com tratamento biológico, compreendendo as seguintes etapas (Figura 7):

- Pré-tratamento – peneira com extravasor
- Tratamento biológico – processos biológicos aeróbios ou anaeróbios + aeróbios seguidos de decantação.

- Filtração terciária – para remoção de sólidos suspensos do efluente da etapa aeróbia.
- Desinfecção – Normalmente com cloro, para assegurar uma concentração residual.
- Reservatório de água tratada, também equipado com uma alimentação de água potável para garantir a segurança operacional do sistema.
- Sistema de controle automatizado – opcional para efeito de monitoramento e controle.

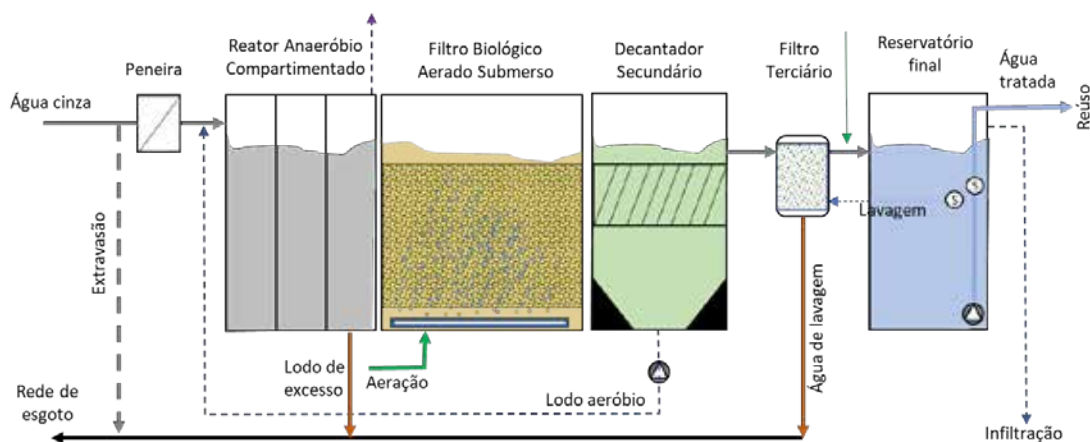


Figura 7 – Configuração de uma ETAC com uma associação em série de processos biológicos anaeróbio e aeróbio

Fonte: www.fluxoambiental.com.br

Tais sistemas, a depender da configuração e da capacidade, podem ocupar áreas significativas nas edificações e demandar um investimento inicial maior do que os sistemas com tratamento físico-químico. Porém, são muito eficientes no tratamento, produzem pouco lodo e possuem reduzido custo de operação e manutenção. Os processos biológicos mais utilizados atualmente nas ETACs brasileiras são: filtros biológicos aerados submersos; reatores anaeróbios compartimentados associados a Filtros biológicos aerados submersos, biodiscos e wetlands. Os primeiros são mais compactos e, por isso, são empregados em edificações com maior porte. Os wetlands têm

uso preferencial em edificações que demandam pequenas vazões de reúso e em empreendimentos com elevada disponibilidade de área para sua implantação.

7 ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS DAS ETACS

Os valores de CAPEX e OPEX das ETACs além foram obtidos por meio de consultas diretas aos fabricantes ou de consultas aos websites dos mesmos, nos poucos casos em que tais valores se encontram publicados. No caso do Brasil, tomaram-se como referência as ETACs do tipo anaeróbio – aeróbio comercializadas pela empresa Fluxo

Máquinas e Equipamentos Ltda EPP, com cerca de 35 unidades em funcionamento em vários estados do país. A empresa forneceu todas as informações relativas ao CAPEX e ao OPEX apresentados no estudo a seguir. As informações são referentes ao ano de 2014, quando o estudo foi realizado.

Em comparação ao mercado brasileiro, pode se afirmar que os preços dos sistemas de tratamento de água cinza por meio de MBR na Alemanha são extremamente elevados (Figura 8). Embora o mercado alemão exerça uma maior demanda por ETACs de pequeno porte, o que resulta em um preço relativo maior (R\$/m³ tratado) em função

do porte das instalações, percebe-se que o preço relativo era cerca de 50% menor no Brasil no ano de 2014. Tome-se como exemplo uma ETAC com capacidade para 5 m³/d nos dois países (figuras 8 e 9). O preço na Alemanha é de R\$ 122.700,00 (R\$ 24.540,00/m³ tratado), e no Brasil, de R\$ 35.000,00 (R\$ 7.000,00/m³ tratado). Deve-se atentar para o fato de que a estratégia de operação quase que totalmente automatizada das ETACs na Alemanha é uma resposta aos elevados custos de mão de obra especializada no país. Em Berlim, as ETACs funcionam hoje em dia com autonomia de cerca de 15 dias.

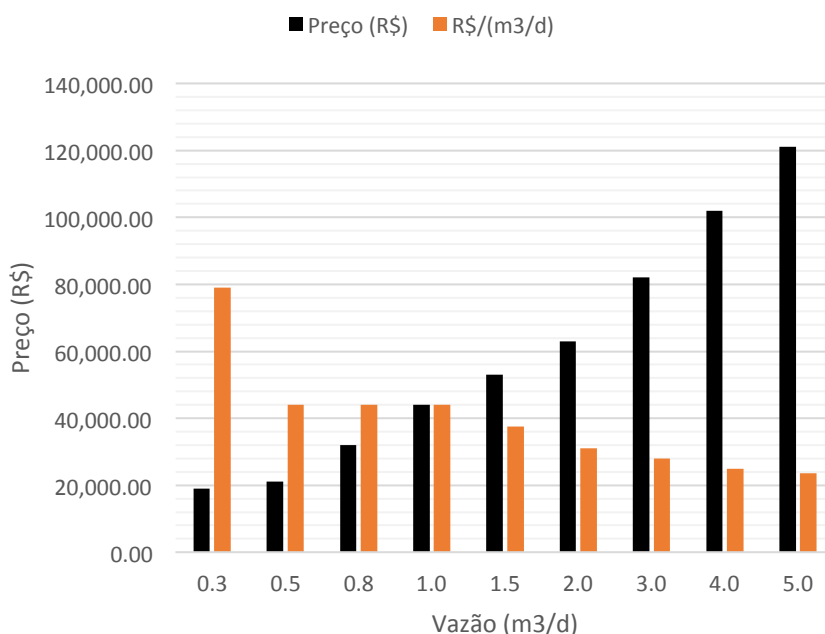


Figura 8 – CAPEX de ETACs com MBR ultrafiltração na Alemanha em 2014 (valores fornecidos pelos fabricantes consultados)

Já no Brasil, tendo em vista que a mão de obra ainda é relativamente barata, predominam ETACs com reduzido nível ou até mesmo desprovidas de automação. A demanda operacional de uma ETAC

do tipo apresentado na figura 7 corresponde a aproximadamente 2 horas/semana de um operador treinado para operá-la.

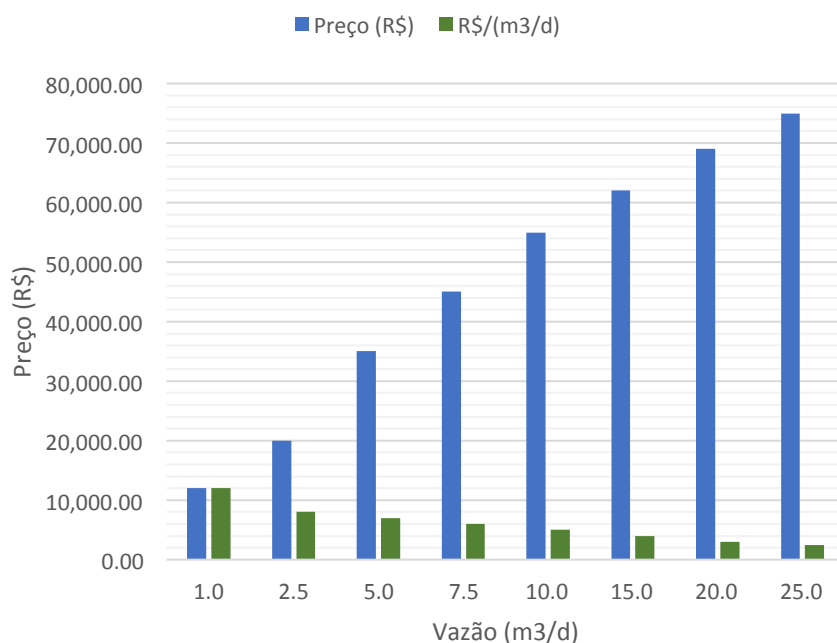


Figura 9 – CAPEX de ETACs anaeróbio - aeróbio no Brasil em 2014 (valores fornecidos pelo fabricante consultado)

Uma análise comparativa dos custos envolvidos na operação e manutenção de ETACs nos dois países é apresentada na tabela 3. Os dados apresentados referem-se a um estudo realizado pela TU Berlim para um conjunto habitacional em Berlim, cotejando três opções para o Sistema de reúso de água cinza:

- Opção 1 - somente reúso de água cinza clara para descarga sanitária
- Opção 2 - reúso de água cinza clara para descarga sanitária e lavagem de roupa
- Opção 3 - reúso de água cinza total (clara e escura) para descarga e lavagem de roupa

Tabela 3 – Custos de operação e de manutenção de ETACs em edificações multifamiliares na Alemanha e no Brasil (Vitória – ES)

Item	Unidade	Alemanha			Brasil
		Opção 1	Opção 2	Opção 3	
Capacidade	m³/d	7,74	11,55	11,55	11,55
Rec. Humanos	R\$	6.400,00	6.400,00	6.400,00	2.370,13
Manutenção	R\$	7.000,00	7.760,00	8.960,00	1.100,00
Economia de água	R\$	42.488,00	58.792,00	63.404,00	21.078,75
Economia de energia no aquecimento de água	R\$	11.728,00	11.728,00	17.576,00	0,00
Disposição de Resíduos	R\$	0,00	0,00	2.000,00	700,00
Custos anuais	R\$	36.296,00	50.104,00	55.188,00	15.909,82
Custos por apartamento	R\$/apto	288,00	392,00	420,00	126,27

O exemplo do Brasil refere-se ao Ed. Royal Blue, localizado no bairro residencial Praia do Canto, no Município de Vitória (ES), cujo sistema de reúso encontra-se em operação desde 2008. A configuração da ETAC lá instalada é a mesma da figura 7 (tratamento biológico anaeróbio - aeróbio).

Apesar de todos os componentes de custos na Alemanha serem significativamente superiores aos correspondentes no Brasil, as reduções de custos com o consumo de água potável nas três opções consideradas compensam amplamente esses custos mais elevados. Em Berlim, as tarifas de água e de esgoto somadas totalizam cerca de R\$ 16,00 para cada m³ de água potável consumido no ano de 2013. Em Vitória, considerou-se uma tarifa residencial de água de R\$ 3,20/m³ e a de esgoto o equivalente a 80% desse montante. Isso resulta em uma conta a pagar de cerca de R\$ 5,80 para cada m³ de água potável consumida, o que explica a grande diferença entre as reduções de custos com água potável nos dois países.

É importante ressaltar a tendência em transformar as ETACs na Alemanha em equipamentos que recuperam a energia térmica da água cinza, tendo em vista que o uso de água quente é praticamente universalizado nas edificações por lá (MEIZINGER et al., 2014). O consumo de energia nas ETACs alemãs situa-se entre 1,5 e 2,5 kWh/m³ (tratamento e recalque), conforme pode ser calculado por meio dos dados operacionais da ETAC da iWater Wassertechnik (2014). Sem dúvidas trata-se de uma faixa de valores bastante superior às praticadas no Brasil (0,7 a 1,4 kWh/m³), país em que a viabilidade econômica desse tipo de empreendimento depende diretamente do consumo de energia no sistema de reúso como um todo (AGOSTINI, 2009 e FRANCI, 2011).

Entretanto, a recuperação de calor nas ETACs (principalmente nos países de clima frio) pode resultar em uma impressionante economia de energia, variando de 9 a 10 kWh/m³ em edifícios resi-

denciais multifamiliares (NOLDE, 2014). Acoplada a um sistema de recuperação de calor, a ETAC permite o pré-aquecimento da água fria com o calor das águas cinzas escoadas durante o banho, por exemplo. Dessa forma, a temperatura da água potável pode aumentar de 10°C para 24°C e reduzir a carga do aquecedor de água. Portanto, nos casos em que a energia calorífica é recuperada com eficiência, as ETACs alemãs são superavitárias em energia, mesmo quando utilizados reatores com membranas (MBR).

8 CONCLUSÃO

O consumo de água potável é substancialmente menor na Alemanha em relação ao Brasil. Diferenças ambientais, culturais, tecnológicas e, sobretudo, de valor das tarifas de água e de esgoto estão na origem desse fato. A prática do reúso de água cinza é mais difundida no Brasil, sobretudo nas regiões mais ricas do país onde há escassez hídrica. Tanto lá como aqui ainda não há arcabouço legal que regulamente a prática, embora estejam em fase de conclusão as primeiras normas brasileiras sobre o tema. Na Alemanha, há uma predominância de ETACs de pequeno porte, e a opção preferencial é por processos com membranas filtrantes com elevado nível de automatização. No Brasil, há uma predominância de tecnologias convencionais de tratamento, sobretudo porque os valores de tarifa são relativamente baixos para assegurar a viabilidade econômica de sistemas de reúso. Em comparação ao mercado brasileiro, pode-se afirmar que os preços dos sistemas de tratamento de água cinza por meio de MBR na Alemanha são extremamente elevados. Entretanto, o elevado valor das tarifas de água e esgoto assegura o retorno do investimento, mesmo com o emprego de tecnologias que consomem muita energia elétrica. Há uma tendência em transformar as ETACs na Alemanha em equipamentos que recuperam a energia térmica das águas cinzas, o que pode torná-las superavitárias em energia

9 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro à pesquisa por parte do CNPq e à Universidade Técnica de Berlim pelo apoio operacional e logístico à mesma.

10 REFERÊNCIAS

AGOSTINI, R.S. - **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 apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, 2009, 70 pgs.

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.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 133 pgs. 2011.

BISWAS, A. E KIRCHHERR, J. - **Water prices in Europe need to rise substantially to encourage more sustainable water consumption.** EUROPP – European Politics and Policy, London School of Economics, 2012. Disponível em <http://bit.ly/EUWater>, acessado em 10 de janeiro de 2018.

EUROSTAT - **Water statistics.** Eurostat – Statistics explained, 2018. Disponível em http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_statistics, acessado em 5 de fevereiro de 2018.

FRANCI, T.K. - **Avaliação da viabilidade econômica de um sistema de reúso de água cinza em uma edificação residencial multifamiliar de alto padrão.** Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Administração da Universidade Federal do Espírito Santo. 83 pgs. 2011.

GONÇALVES, R.F. (Coord.) - **Uso racional da água em edificações. Livro do Projeto PROSAB** – Rio de Janeiro Ed. ABES RJ, Sermograf, ISBN 85-7022-154-1, 332 pgs, 2006.

IWATER WASSERTECHNIK GMBH & CO. KG - **Greywater recycling** – Brochura do Sistema ewuaqua. 24 pgs, 2014. Disponível em www.ewuaqua.de (acessado em 10 de janeiro de 2018).

KIRSCHBAUM, B. E RICHTER, S. - **Water management in Germany – Water supply – Wastewater disposal.** Ed. Umweltbundesamt, 2014. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/flyer-water-management-in-germany>

KLUBER, H. E ABREU, S. - **Proposta do Plano de Ação para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil (Projeto).** Apresentação realizada no 7º ENA – Encontro Nacional das Águas, realizado em 8 de agosto de 2018 em São Paulo. <http://abconsindcon.com.br/wp-content/uploads/2018/08/7%C2%BA-ENA-T6-Proposta-do-Plano-de-A%C3%A7%C3%A3o-para-Instituir-uma-Pol%C3%ADtica>

-de-Re%C3%BAso-de-Efluente-Sanit%C3%A1rio-Tratado-no-Brasil.pdf. Acessado em 5 de setembro de 2018

MEHLHART, G. (Coord.) – **Information Sheet H 201 Greywater Recycling Planning fundamentals and operation information. fbr-Information Sheet H 201.** Ed. Fachvereinigung Betriebsund Regenwassernutzung e.V. Havelstr. 29 pgs, 2005. Disponível em <https://www.fbr.de>, acessado em 5 de fevereiro de 2018.

MEINZINGER, F.; LI, Z., NOLDE, E., RUX, J. - **Water and energy recovery from greywater - Case Study Hafencity in Hamburg.** 17th International Symposium on Water Energy and Resources. Hamburg, Alemanha, 2014. [file:///C:/Users/Ricardo/Downloads/EWA_17th_IntSymp-WER-01-Meinzinger%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Ricardo/Downloads/EWA_17th_IntSymp-WER-01-Meinzinger%20(1).pdf) (acesso em fevereiro de 2017)

NOLDE - **Greywater recycling systems in Germany — results, experiences and guidelines.** *Water Science & Technology*, Vol 51, No 10, pp 203–210, 2005.

NOLDE - **Decentralised Water and Energy Recycling from Low Polluted Greywater in a Residential Passive House for 41 Flats.** Anais do 17th International Symposium on Water Energy and Resources (IFAT 2014), European Water Association, 2014. (<http://www.ewa-online.eu/id-17-symposium-proceedings.html>, acessado em 22 de agosto de 2018)).

NOLDE, E. - **Greywater reuse systems for toilet flushing in multistorey buildings – over ten years experience in Berlin.** *Urban water vol. 1*, pp 275 – 284, 1999.

PERTEL, M. - **Caracterização do uso da água e da energia associada à água em uma edificação residencial convencional e uma dotada de um sistema de reúso de águas cinza.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 104 pgs, 2009.

SCHLEICH, J. E HILLENBRAND, T. - **Determinants of Residential Water Demand in Germany.** Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI). <http://www.isi.fraunhofer.de>. 32 pgs., 2007)

SHORE, R. - **Canadians rank among world's top water hogs - Global cities that conserve the most water use incentives, new technologies and metering.** Vancouver sun August 8, 2015 -<http://www.vancouversun.com/Canadians+rank+among+world+water+hogs/11274891/story.ht>, acessado em janeiro de 2016.

SNIS - **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2015.** Publicação do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2016. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>, acessado em 5 de fevereiro de 2018.

USEPA - **GUIDELINES FOR WATER REUSE.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/625/R-04/108 Camp Dresser & McKee, Inc. 2004 (NTIS PB2005 106542). 2004.