

Metodologia para Ajuste do Fator de Esgoto/Água para Aproveitamento de Água de Chuva

Fernando Dornelles, Joel Avruch Goldenfum

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS
fds_eng@yahoo.com.br; j.goldenfum@gmail.com

Rutinéia Tassi

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSM
rutineia@gmail.com

Recebido: 17/02/11 - revisado: 08/11/11 - aceito: 16/02/12

RESUMO

O aproveitamento de água de chuva gera volumes de esgoto cloacal lançados na rede pública, cujos custos de destinação e tratamento não são contabilizados pelo sistema de tarifação de esgoto, geralmente adotado no Brasil, uma vez que esta cobrança é realizada com base no volume de água tratada que é fornecida. Esta situação tem causado rejeição, por parte das companhias de saneamento, ao incentivo de Sistemas de Captação e Aproveitamento de Água de Chuva (SCAAC), embora sejam conhecidas as vantagens da adoção desta prática. Neste sentido, este artigo apresenta uma proposta metodológica para estimar o volume de esgoto gerado em SCAAC, baseada nas características do próprio sistema de aproveitamento de água de chuva e indexado ao volume de água tratada medido no hidrômetro da unidade consumidora. Para elucidar o emprego da metodologia, são apresentados dois exemplos de aplicação, onde são discutidos os resultados para sistemas com diferentes características de eficiência e de capacidade de atendimento. Como resultado da aplicação da metodologia, conclui-se que ela é aplicável, e produz resultados coerentes para a estimativa de volume de esgoto gerado pelos SCAAC, podendo ser adotada pelas companhias de saneamento, praticamente, sem ônus adicional, já que não exige investimentos com a instalação de equipamentos complementares para a quantificação do efluente gerado nos SCAAC.

Palavras-chave: Aproveitamento de água de chuva; Tarifa de esgoto; Fator esgoto/água.

INTRODUÇÃO

Atualmente, existem muitas campanhas sobre a necessidade de conscientização para o uso racional dos recursos hídricos, minimizando a degradação qualitativa dos corpos d'água.

Entre as práticas consideradas como sustentáveis, encontra-se a captação da água da chuva e o seu aproveitamento, como fonte alternativa à água tratada. Os principais argumentos para a utilização da água da chuva conforme Krishna (2003) são:

- a) fonte gratuita: os custos são de captação e utilização;
- b) a utilização da água é realizada próximo do ponto de captação, eximindo a necessidade de sistemas complexos e de alto custo para a distribuição;
- c) é uma fonte alternativa de abastecimento, que contribui para a preservação da disponibilidade de água nos mananciais;

- d) a água da chuva apresenta dureza zero;
- e) a água da chuva é ideal para a irrigação;
- f) reduz o pico de vazão na rede de drenagem pluvial e, também, a poluição difusa;
- g) auxilia na redução do pico de demanda por água tratada, e retarda a necessidade de expansão da capacidade de seu fornecimento;
- h) reduz o valor gasto pelo usuário com abastecimento da água.

Países desenvolvidos já utilizam SCAAC para fins não potáveis há vários anos. A Alemanha, por exemplo, é um pioneiro neste sentido; somente no ano de 2005, 35% dos edifícios construídos foram equipados com SCAAC (Cannon, 2010). Na Austrália, em Queensland, no ano de 2008, aproximadamente, 40% das residências já possuíam SCAAC (White, 2009). No Japão, todos os edifícios com área superior a 30.000m², ou que utilizem mais de 100m³ de água não potável diariamente, são obrigados a construir SCAAC (Yamagata *et al.*, 2003). Além disso,

vários trabalhos mostram que o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis é uma opção atrativa, principalmente para unidades consumidoras com elevadas demandas de água para usos menos nobres (Mierzwa et al., 2007).

Conforme Tomaz (2003), por exemplo, a captação e o aproveitamento da água que precipita nos telhados e lajes de cobertura pode reduzir em até 30% o consumo da água proveniente do sistema de abastecimento público.

No entanto, os investimentos iniciais com a implantação de um SCAAC podem resultar elevados em alguns casos, merecendo uma análise econômica e financeira, para uma melhor tomada de decisão. Chilton et al. (1999) indicam que um critério de limite máximo aceitável para o retorno do investimento é um prazo de 10 anos, de acordo com padrões ingleses. No Brasil, alguns trabalhos mostram, por exemplo, que em uma residência de um casal, com área de captação de 50 m², o retorno do investimento se daria em 37 anos; o tempo de retorno do investimento ficaria reduzido para 8 anos e 4,5 anos, se a área de captação fosse de 100m² e 150m², respectivamente, em ambos os casos atendendo a uma população de 5 pessoas (Hydro, 2011).

DeBusk (2011) identificou que a iniciativa de utilização da água de chuva na Carolina do Norte (EUA) foi aquém da prevista na elaboração do projeto ao monitorar o funcionamento de 3 sistemas de aproveitamento. O autor destaca que o grande aumento deveu-se às modificações realizadas nos SCAAC, especialmente de modo a facilitar o uso da água de chuva, por meio da automatização do sistema, indicando a importância de facilitar o uso desta tecnologia.

Em relação à popularização do aproveitamento de água de chuva, Stark e Pushard (2008) apontam que a normalização das técnicas transmite a mensagem de que a técnica é adequada, e também, é uma ferramenta educacional.

Assim, muitas iniciativas em utilizar as águas pluviais para os consumos não potáveis estão em desenvolvimento. No Brasil, leis, decretos, planos diretores de drenagem urbana e normas técnicas apontam para que, cada vez mais, o aproveitamento de água da chuva seja adotado. (Dornelles *et al.*, 2010). Neste contexto, pode ser citada a Lei Municipal 10.506/2008 da cidade de Porto Alegre (Porto Alegre, 2008), que exige, dentre outras medidas de uso racional da água, o aproveitamento da água de chuva como condição para a aprovação da construção de novas edificações. No âmbito Federal, o Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão, por meio da Instrução Normativa no 1, de Janeiro de

2011, estabelece que, entre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de serviços ou obras, o aproveitamento de água de chuva deve ser incluído.

Embora os benefícios gerados pela captação e aproveitamento de água da chuva sejam indiscutíveis, e bastante conhecidos, um aspecto não abordado é a estimativa do volume de efluente gerado, quando a água da chuva é aproveitada. A literatura a respeito do aproveitamento de água de chuva é extensa, existem diversos manuais e estudos que poderiam ser citados, porém, nenhum trabalho, dentre os consultados, aborda o problema da não tarifação do esgoto gerado pelo aproveitamento de água de chuva.

No Brasil, tradicionalmente, a taxa cobrada para o tratamento de esgoto é estimada com base no volume de água tratada fornecida, medido pelas companhias de saneamento. Nos casos de aproveitamento das águas pluviais, a redução na arrecadação com o abastecimento de água não implica em diminuição dos custos com coleta, condução e tratamento de esgoto, já que o volume de esgoto gerado é independente da origem da água, devendo o consumidor arcar com os custos associados ao esgotamento sanitário.

Em consequência, há necessidade de desenvolver novos métodos para estimativa dos volumes de esgoto, de forma a permitir o cálculo adequado do volume de efluentes gerados e os custos associados.

Desta forma, este trabalho apresenta uma sugestão metodológica para estimar o volume de esgoto gerado, com base nas características do sistema de aproveitamento de água de chuva, o que permite uma adequada tarifação do serviço prestado pelas companhias de abastecimento e saneamento. A metodologia proposta foi aplicada em duas situações hipotéticas para o município de Porto Alegre/RS, para comprovar a sua adequabilidade.

PREMISSAS DE PROJETO

Considera-se que, a partir do projeto do sistema de aproveitamento de água de chuva será possível estimar o volume efluente de esgoto de uma unidade consumidora.

No projeto deve constar o alcance do projeto, a população que utiliza a água de chuva, e a determinação de demanda a ser definida pelo projetista do sistema (ABNT,2007).

Com relação às demandas, os valores de demanda total devem ser obtidos a partir de literatura de adequada, normas técnicas ou decretos municipais, como por exemplo, o decreto 9369/88 de Porto Alegre, que estabelece os volumes mínimos diários para diversos tipos edilícios.

Deve-se estimar, também, a demanda dos usos não potáveis, podendo ser um percentual da demanda total, ou ainda, para edificações residenciais, estimado com base no número de pessoas e a frequência média de acionamentos da descarga de uma bacia sanitária, ou outros usos não potáveis.

As demandas comerciais e industriais podem ser bastante particulares, não sendo previstas em legislação, normatização ou bibliografia, ficando estes casos fadados a inferências especiais de demanda por água não potável.

Não existem maiores problemas em a demanda por água não potável ser superior à capacidade de captação.

Também deve ser conhecida a área de captação de chuva, que em geral são superfícies de cobertura, telhados e lajes, onde não ocorre circulação freqüente. A utilização de outras superfícies não é recomendada em função da presença de contaminantes.

É necessário estimar a eficiência do sistema de aproveitamento de água de chuva, pois esta depende da escolha do volume de reservação. A determinação do volume de reservação é mais bem fundamentada se realizada com base em um cálculo de tempo para o retorno do investimento, o que é uma característica particular de cada sistema, não cabendo a realização de um exemplo desta natureza neste trabalho, já que esta não será extrapolável.

A eficiência pode ser obtida, como neste trabalho, por meio de simulação de balanço de massa (Equação 1) com uma série de precipitação diária, onde é possível obter o somatório dos volumes de água de chuva consumidos e o volume total que efetivamente foi demandado e teve de ser complementado com água tratada.

$$V_i = V_{i-1} + cP_i A - D \quad (1)$$

sendo:

V (litros) o volume de água no reservatório de armazenamento de água de chuva;

P (mm) a precipitação significativa;

A (m²) a área de captação da água pluvial;

D (litros) a demanda diária dos usos não potáveis;

i o indexador de tempo;

c o coeficiente de escoamento.

A série de precipitação diária a ser utilizada na simulação necessariamente deve apresentar período longo o suficiente para ser representativa, cabendo, ainda, efetuar uma análise de consistência de dados para remover períodos atípicos.

A eficiência indica a fração da demanda nominal por água não potável que é atendida pelo sistema de aproveitamento de água de chuva. O valor de eficiência varia entre 0 e 1 (totalmente ineficiente, e totalmente eficiente, respectivamente), sendo calculado pela equação 2:

$$e = \frac{\sum C_{AC}}{\sum C_{TNP}} \quad (2)$$

sendo:

C_{AC} o consumo de água não potável atendido pelo sistema de água de chuva;

C_{TNP} o consumo total de água não potável atendido, ou seja, o que é atendido pelo sistema de água de chuva mais o que é complementado com água tratada fornecido através da rede de abastecimento.

Na simulação por balanço de massa adota-se um coeficiente de escoamento, que representa a parcela líquida de água que ingressa no reservatório, proveniente da captação de chuva. As perdas de massa de água no sistema de aproveitamento de água de chuva dependem do tipo de superfície da área de captação, das condições meteorológicas durante o evento chuvoso e do pré-tratamento dado à água coletada.

O pré-tratamento pode ser um volume fixo de descarte, ou um percentual de rendimento do filtro que, geralmente, é da ordem de 90%.

Segundo Tomaz (2003), uma lâmina de 1,5mm de água de chuva é perdida no início da captação. Esta perda pode ser inclusa no coeficiente de escoamento, ou ainda pode ser utilizada como o valor mínimo para caracterizar uma chuva significativa, onde apenas valores diários de precipitação superiores a esta lâmina mínima são computados na simulação.

RELAÇÃO ESGOTO/ÁGUA DEVIDO AO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

A prática corrente no Brasil, para a cobrança da coleta e tratamento de esgoto, tem sido a da realização de uma estimativa que considera a relação entre esgoto/água, que é proporcional ao volume

de água tratada, medido no hidrômetro de entrada de cada unidade consumidora.

Em geral, cada companhia de abastecimento define qual a relação tarifária que irá empregar. No Brasil, esta relação varia entre 0,6 e 1,0 adotados, respectivamente, pela CESAMA (Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora/MG, antiga Companhia de Saneamento e Pesquisa do Meio Ambiente) e SAAEJ (Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal/SP). No município de Porto Alegre, por exemplo, o DMAE (Departamento Municipal de Água Esgoto) aplica um fator de esgoto/água de 0,8.

Este desconto no volume de esgoto gerado se dá pelo padrão de consumo, que tem parcelas utilizadas em usos que não geram esgoto, como consumo humano, preparo de alimento e rega de jardim.

No entanto, esta relação sofre um desequilíbrio quando são empregados os sistemas de aproveitamento de água da chuva. Nestes casos, há uma redução do consumo de água que é fornecida pela companhia de abastecimento e, conseqüentemente, também, uma redução no custo (consumidor) e arrecadação (fornecedor) com este serviço. No entanto, estes sistemas não promovem a redução dos volumes de esgoto sanitário gerados, que deverão ser igualmente coletados e destinados ao tratamento, independentemente da fonte de água (água tratada canalizada, poço, caminhão pipa ou água de chuva), devendo haver manutenção da cobrança destes custos.

Uma alternativa, que permitiria a determinação correta do volume de efluente a ser tratado, seria a medição direta da descarga de esgoto que é lançada à rede. No entanto, esta alternativa torna-se praticamente inviável, senão proibitiva, por questões técnicas e econômicas.

Esta situação faz com que as companhias de saneamento, em geral, não tenham interesse em incentivar o aproveitamento de água de chuva, por dois motivos: 1) a diminuição da arrecadação com fornecimento de água tratada, devido à redução da demanda; e 2) a elevação da relação esgoto/água que causa um incremento relativo do volume de águas residuárias a serem tratadas, ou seja, para um mesmo volume de água tratada consumido, o percentual de volume de esgoto gerado, em relação ao volume de água tratada, será maior, quando compararmos uma unidade consumidora com o SCAAC e outra sem o sistema.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, não foi encontrada nenhuma medida compensatória para realizar um ajuste da relação esgoto/água

nas referências pesquisadas. Portanto, é necessário abordar adequadamente este tema, para fundamentar a regulamentação do aproveitamento de água de chuva no meio urbano.

MÉTODO PARA INFERIR O VOLUME EFLUENTE COM APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

O aproveitamento de água de chuva causa um acréscimo de vazão de água residuária lançada à rede pública de esgoto sanitário, que não é computada na composição da tarifa de esgoto.

Uma maneira de inferir esse volume de água residuária, proveniente da utilização da água de chuva, pode ser baseada na estimativa de demandas de água tratada e de água de chuva, na eficiência do sistema de aproveitamento de água de chuva, no volume de água medida no hidrômetro de entrada da unidade consumidora, e na relação esgoto/água praticada pela companhia de abastecimento de água e de tratamento de esgoto sanitário.

O volume total (V_T) consumido é constituído da soma do volume de água tratada medido no hidrômetro (V_{AT}) com o volume de água de chuva (V_{AC}) consumido no período de tempo de medição (3).

$$V_T = V_{AT} + V_{AC} \quad (3)$$

O volume de água de chuva também pode ser expresso em função do volume total, e da relação entre a demanda de água de chuva (D_{AC}) e a demanda total (D_T) conforme a Equação 4.

$$V_{AC} = \frac{D_{AC}}{D_T} V_T \quad (4)$$

Combinando a Equação 3 com a Equação 4, e isolando o volume de água de chuva, temos que:

$$V_{AC} = \left(\frac{D_{AC}}{D_T - D_{AC}} \right) V_{AT} \quad (5)$$

A demanda total é obtida pela estimativa de habitantes, usuários da unidade consumidora, que é multiplicada pela demanda per capita praticada na região, recomendada por norma, ou de acordo com padrões de consumo associados à classe social. Já a demanda de água de chuva, é um critério de proje-

to, definido quando é feito o dimensionamento do SCAAC, que considera a relação entre a área de captação de chuva, o volume do reservatório e o regime pluviométrico local.

Com essas informações, normalmente, é utilizada uma simulação numérica de balanço de volumes em intervalo de tempo diário, que fornecerá o valor do coeficiente de eficiência (e) do sistema, ou seja, qual é a capacidade do sistema em atender à demanda por água não potável com os volumes de água de chuva captados (Dornelles *et al.*, 2010).

Na estimativa da demanda de água de chuva, devem ser identificadas, também, as parcelas que não lançam efluente à rede pública de esgoto, devendo ser, por exemplo, estimadas as parcelas referente à irrigação, abastecimento de piscinas e espelhos d'água.

O coeficiente de eficiência é utilizado para determinar qual deve ser a compensação na cobrança da tarifa de esgoto, quando o sistema de água de chuva não atende à demanda estimada, sendo que, neste caso, todo efluente gerado é devido à utilização de água tratada medida no hidrômetro.

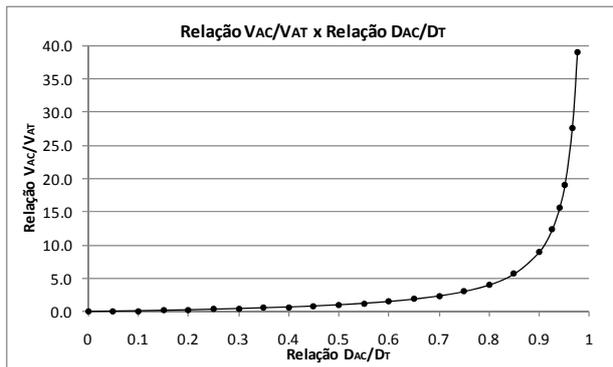


Figura 1 – Comportamento da relação entre os volumes consumidos e as demandas estimadas; (V_{AC}) volume de água de chuva; (V_{AT}) volume de água tratada medido no hidrômetro; (D_{AC}) demanda de água de chuva; demanda total (D_T)

A Figura 1 mostra a relação entre volume de água de chuva e o volume de água tratada, para as condições de demanda de água de chuva nula até próxima à demanda total, obtido por meio da Equação 5. Quando a relação D_{AC}/D_T é próxima de 1, ocorre uma discrepância matemática, que tende a infinito. Na prática, sugere-se a adoção de um limite de aplicação desta inferência, para que acima de certa relação entre as demandas (D_{AC}/D_T) utilize-se uma relação fixa entre os volumes. Por exemplo, a de 0,95 onde o volume de água de chuva é estimado

em 19 vezes o volume de água tratada medida no hidrômetro (V_{AC}/V_{AT}); para a relação 0,975 temos 39 vezes.

Multiplicando-se a estimativa de volume de efluente proveniente do consumo de água tratada (V_{AT}) pela relação esgoto/água (f), e somando com o volume de água de chuva (V_{AC}) multiplicado pela eficiência do sistema (e), é possível inferirmos o volume de efluente total (V_{ET}), referente ao mesmo período de medição do volume de água tratada (Equação 6).

$$V_{ET} = f V_{AT}' + e V_{AC} \quad (6)$$

Nesta equação, a variável V_{AT}' indica o volume estimado de consumo de água tratada, que é a diferença entre o volume total consumido (V_T) e a parcela efetiva atendida pelo sistema de aproveitamento de água de chuva, sendo este último obtido por meio da multiplicação da eficiência (e), com a estimativa de volume de água de chuva (V_{AC}) (Equação 7).

$$V_{AT}' = V_T - e V_{AC} \quad (7)$$

A validade desta dedução baseia-se no comportamento médio esperado do SCAAC, pois a eficiência é obtida por meio da simulação com série de precipitação diária.

Assim, é possível obter o novo fator esgoto/água ajustado (f') para edificações com SCAAC (Equação 8). Este fator é influenciado pela eficiência do sistema de aproveitamento de água da chuva, e pela relação entre as demandas de água de chuva e de água potável (D_{AT}/D_T). Na Figura 2 são apresentadas as curvas do fator esgoto/água para eficiências do sistema de 0,1 até 1, e para a máxima relação de demandas de 0,975.

$$f' = \frac{V_{ET}}{V_{AT}'} \quad (8)$$

O comportamento crescente do fator esgoto/água ajustado é coerente com os crescimentos da relação de demanda (D_{AC}/D_T) e da eficiência (e), já que menos água será medida no hidrômetro e o volume de esgoto gerado permanecerá, em princípio, constante.

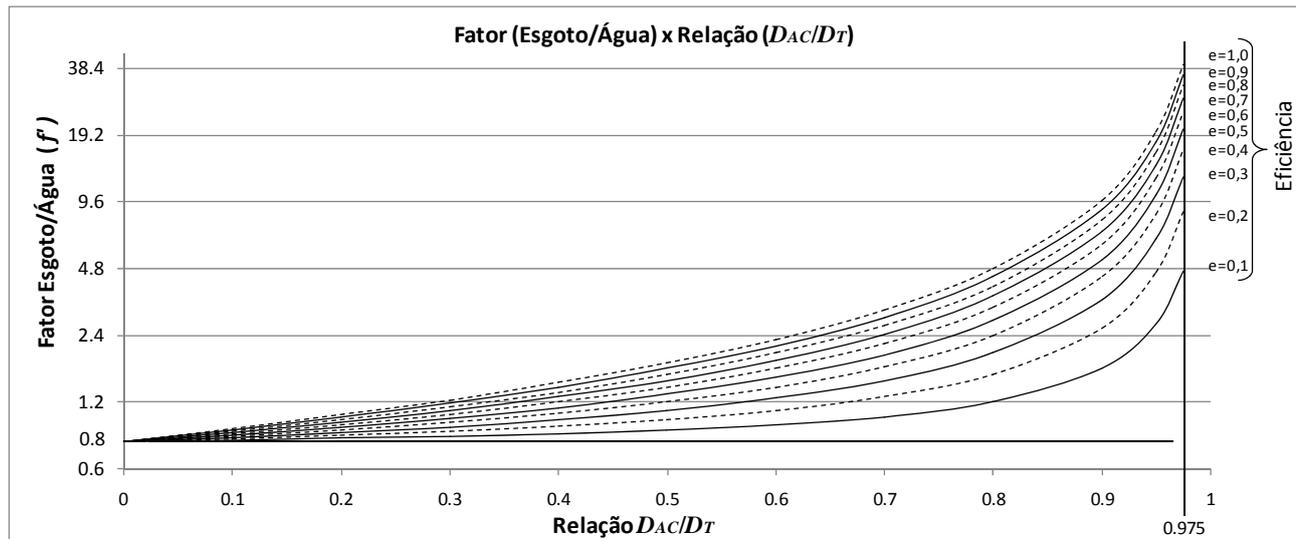


Figura 2 – Fator ajustado esgoto/água em função da relação (D_{AC}/D_T) e a eficiência do sistema de aproveitamento de água da chuva

Assim, sistemas muito eficientes, e que sejam capazes de atender uma grande parcela do consumo total de água, terão um maior fator ajustado esgoto/água.

Para o caso de consumos de água de chuva que não geram esgoto cloacal (V_{AC}), como lavagem de pátio, lavagem de veículos e irrigação, deve-se descontar do volume total consumido esta parcela, ficando a estimativa do volume de esgoto gerado dada pela Equação 9.

$$V_{ET} = f(V_T + e V_{AC}) + e(V_{AC} - V_{AC}) \quad (9)$$

Esta metodologia permite estabelecer uma tarifação do volume de esgoto sanitário gerado, proporcional ao consumo de água tratada, baseada nas características do SCAAC.

Conforme apresentado a seguir, a metodologia proposta foi empregada juntamente com o sistema tarifário de água e esgoto de Porto Alegre/RS, mostrando a sua aplicabilidade.

TARIFAÇÃO DE ÁGUA E ESGOTO EM PORTO ALEGRE/RS

No município de Porto Alegre, o Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) é o responsável pelos serviços de abastecimento de água, coleta e destinação do esgoto cloacal.

O Decreto Municipal 9369/88 (DMAE, 1988) define a forma de tarifação da água e esgoto em 4 faixas, onde o valor unitário do serviço cresce em função da faixa, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Faixas de tarifação de água e esgoto aplicadas pelo DMAE em Porto Alegre/RS

Faixa	Consumo (m ³)	Estimativa da tarifa (R\$)
1	≤20	$T_A = N_U P_B C$
2	21 – 1.000	$T_A = 0,2711 N_U P_B C^{1,43577}$
3	1.001-4.000	$T_A = 5,5 N_U P_B C$
4	>4.000	$T_A = N_U P_B (1.684 C - 6.714.000)$

Nesta tabela, P_B (R\$/m³) é o preço básico da água, C (m³) é o volume de água medido no mês, por unidade consumidora do ramal de abastecimento, N_U é o número de unidades consumidoras do ramal de abastecimento e T_A (R\$) é a tarifa de água.

A taxa de esgoto é obtida a partir do fator esgoto/água adotado para o município de Porto Alegre (DMAE, 1988), que é 0,8. Este fator representa os custos de coleta, e perdas condução e tratamento de esgoto. Assim, a tarifa de esgoto (T_E) é calculada pela Equação 10:

$$T_E = 0,8 N_U P_B C \quad (10)$$

A tarifa total é a soma das tarifas de água e esgoto.

O valor corrente do preço básico praticado pelo DMAE no ano de 2010 é de R\$2,02 para o tipo edifício residencial, e R\$2,29 para o comercial.

No caso de aplicação da metodologia de ajuste do fator esgoto/água, o consumo (C) deve ser substituído pela estimativa do volume de água tratada (V_{AT}), e na Equação 10 o fator esgoto/água a ser utilizado é o obtido pela Equação 8, em substituição ao 0,8 praticado pelo DMAE.

Considerando este sistema tarifário, dois exemplos de aplicação da metodologia aqui proposta foram criados, e são apresentados neste artigo. O primeiro exemplo mostra a sua aplicabilidade para um edifício residencial, enquanto o segundo refere-se a uma edificação comercial, conforme a seguir detalhado.

Ressalta-se que, neste trabalho, as estimativas de custo mensal não contemplam gastos com bombeamento e manutenção, sendo o custo mensal estimado referente ao valor líquido a ser pago à companhia de saneamento.

Aplicação 1: Residencial(Edifício)

Dados:

Local = Porto Alegre

Precipitação média anual=1.354mm

Período de simulação = 29 anos

Nº de habitantes = 70

Nº acionamento de descargas diário por habitante = 6

Vol. por acionamento de descarga = 6L

Demanda diária per capita = 200L

Nº de unidades consumidoras = 14

Demanda diária total = 14m³

Demanda diária por água não potável = 2,52m³

Área de captação de água de chuva= 270m²

Relação $D_{AT}/D_T = 0,18$

Coefficiente de escoamento = 0,85

Precipitação significativa > 2mm

Com os dados para aplicação do exemplo residencial, foi executada a simulação de balanço de massa para a obtenção da eficiência do sistema, para volumes de reservação que variaram de 1 a 30m³. O limite superior foi adotado em função do comportamento assintótico da curva de eficiência (Figura 3)

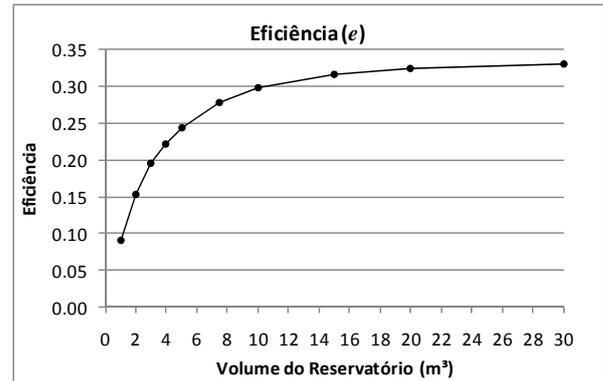


Figura 3 – Eficiência em função do volume de reservação, aplicação 1: residencial

Outros resultados também podem ser obtidos com a simulação, conforme apresentado na Tabela 2. Observa-se o comportamento de redução da fração de tempo de reservatório vazio e de volumes extravasados, com o aumento da eficiência do sistema, sendo este último função direta do próprio volume de reservação.

Tabela 2 – Resultados quantitativos da simulação para aplicação 1 residencial (Edifício)

Volume do res. água de chuva (m ³)	Eficiência do sistema	% do tempo vazio	% extravasado	Vol. Água tratada consumida (m ³ /mês)
1	0,091	75,6%	59,0%	413,2
2	0,154	75,6%	43,5%	408,4
3	0,195	69,1%	33,6%	405,3
4	0,222	68,4%	27,0%	403,2
5	0,244	67,9%	21,9%	401,6
7,5	0,279	63,9%	13,5%	398,9
10	0,299	61,8%	8,5%	397,4
15	0,317	59,9%	4,0%	396,0
20	0,325	59,1%	2,1%	395,4
30	0,331	58,6%	0,4%	395,0

Com base nos valores nominais de demanda, o custo mensal combinado de água e esgoto para o caso de aplicação residencial, sem SCAAC, é de R\$3.876,61.

A metodologia proposta foi utilizada para ajustar o fator esgoto/água, e foram obtidos os custos mensais para a aplicação residencial, conforme apresentado na Tabela 3. Nesta tabela, a coluna com o custo “Método DMAE 1988” apresenta o valor a

ser pago, caso não fosse adotada a metodologia proposta de taxação do volume de esgoto gerado pela utilização da água de chuva captada, ou seja, estimando-se o volume de esgoto gerado como sendo 80% do volume de água tratada, medida no hidrômetro.

Tabela 3 – Custos mensais para a aplicação residencial (Edifício)

Volume do res. água de chuva (m³)	Fator E/A ajustado (a)	Volume de Esgoto gerado (m³/mês)	Custo Água+Esgoto	
			Método DMAE 1988 (b)	Método Proposto (c)
0	0,800	336,0	R\$ 3.876,61	-
1	0,820	337,4	R\$ 3.791,00	R\$ 3.804,83
2	0,834	338,3	R\$ 3.731,22	R\$ 3.754,75
3	0,843	338,9	R\$ 3.692,88	R\$ 3.722,65
4	0,849	339,4	R\$ 3.667,44	R\$ 3.701,37
5	0,853	339,7	R\$ 3.647,42	R\$ 3.684,62
7,5	0,861	340,2	R\$ 3.614,89	R\$ 3.657,43
10	0,866	340,5	R\$ 3.596,20	R\$ 3.641,81
15	0,870	340,8	R\$ 3.579,28	R\$ 3.627,67
20	0,871	340,9	R\$ 3.571,99	R\$ 3.621,59
30	0,873	341,0	R\$ 3.566,32	R\$ 3.616,85

(a) Fator Esgoto/Água ajustado pela Eq. 8

(b) Custo utilizando Fator E/A igual a 0,8 vezes o volume medido no hidrômetro

(c) Custo com o método proposto neste artigo que considera o ajuste no Fator E/A

Sob a ótica de quem paga pelo serviço de água e esgoto, os resultados para a aplicação residencial apontam uma baixa atratividade para a utilização da água de chuva, visto que a redução dos custos com esses serviços não é significativa, em relação ao custo para a mesma edificação sem o SCAAC.

As causas para a pouca atratividade são a baixa relação D_{AC}/D_T e eficiência de 0,331 com capacidade de reserva de 30m³, ou seja, esta eficiência indica que o atendimento médio da demanda por água não potável é de 33,1%.

As particularidades do sistema de aproveitamento para a aplicação residencial proposta conferiram uma pequena diferença entre os custos com o ajuste do fator E/A (Metodologia proposta), e o sem este ajuste (Método DMAE).

Sob o ponto de vista do DMAE, este estaria deixando de arrecadar entre 0,36% ($e=0,091$ e reservatório com 1m³) e 1,42% ($e=0,331$ e reservatório

com 30m³) do valor mensal. Estes percentuais correspondem aos volumes estimados de esgoto gerado exclusivamente pelo aproveitamento de água de chuva, que na forma da tarifação corrente não seriam computados.

Observa-se, ainda, uma não conservação na estimativa do volume de esgoto gerado, onde, para as maiores eficiências são observados maiores volumes. Isso ocorre, pois não foi adotado um fator de redução para estimar o volume de esgoto que é gerado pelo uso da água de chuva, no entanto, o acréscimo não foi significativo a ponto de subtrair a atratividade da utilização de água de chuva.

Aplicação 2: Comercial (Mercado)

Dados:

Local = Porto Alegre

Precipitação média anual=1.354mm

Período de simulação = 29 anos

Área do estabelecimento = 2.986m²

Área de jardim = 300m²

Nº de funcionários = 75

Consumo diário de água não potável per capita = 24L/funcionário

Consumo não potável para limpeza geral = 2,5L/m².dia

Demanda diária por área = 5L/m²

Demanda diária total = 14,93m³

Demanda diária por água não potável que gera esgoto sanitário = 9,27m³

Demanda diária por água não potável que não gera esgoto sanitário = 0,6m³

Área de captação = 1.746m²

Relação $D_{AT}/D_T = 0,62$

Coefficiente de escoamento = 0,85

Com os dados para aplicação do exemplo comercial, foi executada a simulação de balanço de massa para a obtenção da eficiência do sistema, para volumes que variaram de 5 a 100m³. O limite superior foi adotado em função do comportamento assintótico da curva de eficiência (Figura 4).

Outros resultados também podem ser obtidos com a simulação (Tabela 4). Observa-se o comportamento de redução da fração de tempo de reservatório vazio e de volumes extravasados com o aumento da eficiência do sistema, sendo este último função direta do próprio volume de reservação.

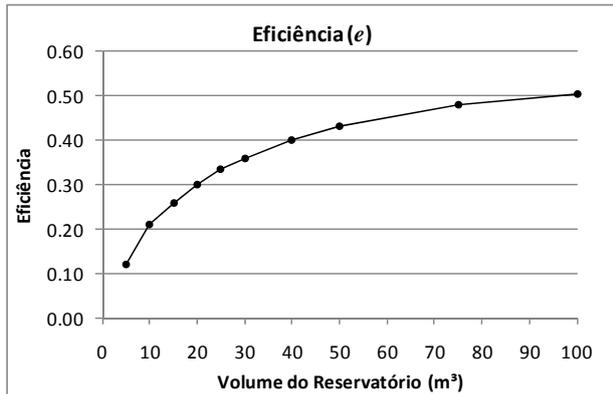


Figura 4 - Eficiência em função do volume de reservação, aplicação 2: comercial (Mercado)

Tabela 4 - Resultados quantitativos da simulação para aplicação comercial (Mercado)

Volume do res. água de chuva (m³)	Eficiência do sistema	% do tempo vazio	% extravasado	Vol. de água tratada consumida (m³/mês)
5	0,120	75,6%	63,4%	412,4
10	0,211	66,6%	50,0%	385,5
15	0,261	65,7%	42,5%	370,6
20	0,302	60,1%	36,6%	358,6
25	0,334	59,3%	31,9%	349,2
30	0,361	55,7%	27,9%	341,2
40	0,402	52,4%	21,9%	328,9
50	0,432	50,1%	17,5%	320,1
75	0,479	46,5%	10,5%	306,1
100	0,503	44,2%	7,1%	299,1

Com base nos valores nominais de demanda, o custo mensal de água e esgoto para o caso de aplicação comercial sem SCAAC é de R\$4.796,60.

Empregando-se a metodologia aqui proposta para ajustar o fator esgoto/água, foram obtidos os custos mensais para a aplicação comercial (Tabela 5).

Para o caso de aplicação comercial, a atratividade obtida foi bem mais expressiva que na aplicação residencial, previamente apresentada. Isto se dá pela maior capacidade de captação (relação entre área de captação e demanda nominal por água não potável).

A relação D_{AC}/D_T de 0,62 conferiu valores superiores a 1 para o fator esgoto/água ajustado, causando assim, uma maior diferença entre os cus-

tos de água e esgoto, para o caso da não utilização do fator ajustado e utilizando-o.

Tabela 5 - Custos mensais para a aplicação comercial (Mercado)

Volume do res. água de chuva (m³)	Fator E/A Ajustado (a)	Volume de esgoto gerado (m³/mês)	Custo Água+Esgoto	
			Método DMAE 1988 (b)	Método proposto (c)
0	0,800	358,3	R\$ 4.796,60	-
5	0,881	363,3	R\$ 4.287,38	R\$ 4.363,67
10	0,952	367,0	R\$ 3.912,21	R\$ 4.046,35
15	0,996	369,1	R\$ 3.708,71	R\$ 3.874,86
20	1,034	370,7	R\$ 3.546,62	R\$ 3.738,62
25	1,066	372,1	R\$ 3.420,53	R\$ 3.632,87
30	1,094	373,2	R\$ 3.314,62	R\$ 3.544,21
40	1,140	374,9	R\$ 3.154,89	R\$ 3.410,77
50	1,175	376,1	R\$ 3.040,97	R\$ 3.315,84
75	1,235	378,1	R\$ 2.863,06	R\$ 3.167,97
100	1,267	379,0	R\$ 2.774,88	R\$ 3.094,88

(a) Fator Esgoto/Água ajustado pela Eq. 8

(b) Custo utilizando Fator E/A 0,8 ao volume medido no hidrômetro

(c) Custo com o método proposto neste artigo que considera o ajuste no Fator E/A

Assim, sob o ponto de vista do DMAE, este estaria deixando de arrecadar entre 1,78% ($e=0,120$ e reservatório com $1m^3$) e 11,53% ($e=0,503$ e reservatório com $100m^3$) do valor mensal. Estes percentuais devem-se aos volumes estimados de esgoto, gerados exclusivamente pelo SCAAC que, na forma da tarifação corrente, não seriam computados.

Da mesma forma que na Aplicação 1, observa-se uma não conservação na estimativa do volume de esgoto gerado, devido a não adoção de um fator de redução para estimar o volume de esgoto que é gerado pelo uso da água de chuva. Destaca-se, no entanto, que o acréscimo não foi significativo ao ponto de subtrair a atratividade da utilização de água de chuva para os fins não potáveis.

CONCLUSÕES

Uma questão ainda em aberto, em relação ao aproveitamento de água de chuva, é de como realizar a cobrança pela geração do esgoto sanitário produzido a partir da utilização da água de chuva, e que é destinado à rede de coleta e tratamento.

O método corrente para a estimativa do volume de esgoto gerado constitui-se na aplicação de um fator de retorno (esgoto/água), que representa a relação entre o volume de esgoto gerado e o volume de água tratada consumida, medida no hidrômetro. Nas situações em que é utilizada a água de chuva, este fator deve ser alterado, já que o volume medido no hidrômetro será menor, enquanto o volume de esgoto, em princípio, será o mesmo. Considerando esta necessidade, este trabalho teve como objetivo verificar a coerência de uma nova metodologia proposta para o ajuste deste fator, baseada no atual procedimento que as empresas de saneamento empregam para a medição do consumo de água tratada, que consiste na medição junto ao hidrômetro.

A metodologia proposta utiliza as características do sistema de aproveitamento de água de chuva (área de captação, coeficientes de escoamento, volume de reservação), as demandas médias prováveis e série histórica de precipitação local.

A fim de exemplificar a aplicação da metodologia proposta, foram desenvolvidas duas aplicações hipotéticas, sendo uma para edifício residencial e outro comercial.

Por meio de simulação numérica, foi obtida a eficiência do SCAAC (nível de atendimento da demanda por água de chuva), para volumes de reservação até que o incremento de eficiência não fosse mais significativo. Os diferentes volumes avaliados foram, então, utilizados com a metodologia proposta para o ajuste do fator esgoto/água, e determinação dos custos tarifários.

Para os exemplos propostos, foi possível encontrar uma diferença na arrecadação de 1,42% e de 11,53%, para a edificação residencial e comercial, respectivamente. Os resultados da estimativa de custo mensal combinado, de água mais esgoto, revelam uma maior diferença entre o custo mensal obtido sem o ajuste do fator esgoto/água e com o ajuste, para os casos onde a relação D_{AT}/D_T e a eficiência do sistema são maiores, como foi o caso da edificação comercial.

Sugere-se, portanto, que para a implementação prática da metodologia aqui proposta, sejam definidos limites de aplicação, tanto de valores mínimos quanto máximos, para a relação de demandas e eficiência. Isso garante que os sistemas de aproveitamento menos atrativos, com baixa relação D_{AT}/D_T e eficiência não deixem de ser implantados. Da mesma forma, a definição desses limites para aplicação em altas relações D_{AT}/D_T e eficiência garante que os usuários não sejam prejudicados em demasia,

devido ao comportamento exponencial nesta faixa de aplicação.

O método mostrou-se coerente na estimativa do volume de esgoto gerado em edificações com SCAAC. Além disso, apresenta potencial de aplicabilidade, pois utiliza o próprio volume de água tratada medido no hidrômetro do ramal de entrada da edificação como indexador, permitindo, assim, que as companhias de saneamento sejam remuneradas pelo serviço de esgotamento e tratamento sanitário, sem custos adicionais para efetuar esta estimativa.

Estes resultados são embasados no comportamento médio dos reservatórios de aproveitamento de água da chuva, obtido por simulação numérica. No entanto, é importante destacar que os demais parâmetros que caracterizam o sistema de aproveitamento de água de chuva (coeficiente de escoamento, chuva significativa e tipo de pré-tratamento) devem ser padronizados ou normatizados, bem como as demandas nominais por água em função do tipo edifício e do padrão de consumo.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527: "Água de Chuva-Aproveitamento de áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos" - Rio de Janeiro, outubro de 2007. 8 p.
- Cannon, C. Job creation potential from rainwater: Germany leading the way with 5,000 jobs created. In: Fine Gael Breaking News, Ireland, January 19, 2010. Disponível em: <http://www.finegael.org/news/a/2098/article> - Acessado em outubro de 2011.
- Chilton, J. C.; Maidment, G. G.; Marriott, D.; Francis, A.; Tobias, G., Case Study of a Rainwater Recovery System in a Commercial Building with Large Roof. *Urban Water*, Nº 1, p. 345-354, 1999.
- DeBusk, K. M.; Hunt, W. F.; Kennedy, S. G.; Wright, J. D., Rainwater Harvesting: Considerations and Challenges in a Humid Region XII-ICUD Porto Alegre/Brazil – 11-16, September, 2011.
- DMAE, Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre. Código de Instalações Prediais de Água e Esgoto, Decreto Nº9369/1998.
- Dornelles, F.; Tassi, R.; Goldenfum, J. A.; Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. Volume. 15 - nº 2 - Abr/Jun, 2010.
- Hydro; Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis. In: Revista Hydro. Aranda Editora – Ano VI, nº 60, p 16-29, Outubro, 2011.

- Krishna, H.; An overview of rainwater harvesting systems and guidelines in the United States. Proceedings of the First American Rainwater Harvesting Conference; 2003 Aug 21-23; Austin (TX)
- Mierzwa, J. C.; Hespanhol, I.; Silva, M. C. C.; Rodrigues, L. B.; Água Pluviais: Método de Cálculo do Reservatório e Conceitos para um Aproveitamento Adequado. RE-GA: Revista de Gestão de Água da América Latina. V. 4, n. 1, p. 29-37, 2007.
- Porto Alegre. Lei Municipal 10.506, de 5 de agosto de 2008. Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas.
- Stark, T; Pusahrd, D., The State of Rainwater Harvesting in the U.S. On Tap – National Environmental Services Center, Fall 2008 – Volume 8 – Issue 3.
- Tomaz, P., Aproveitamento de Água de Chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo, Ed. Navegar, 2ª Edição, 180 p., 2003.
- White, I. W. Decentralised environmental technology adoption: The household experience with rainwater harvesting. Australia, Griffith School of Environment PHD. 527p., 2009.
- Yamagata H.; Ogoshi, M.; Suzuki, Y.; Ozaki, M.; Asano, T. On-site water recycling systems in Japan. In: Water Science and Technology, V. 3, Nº. 3, 149–154, 2003.

Methodology to Adjust the Sewage/Water Factor for Rainwater Harvesting

ABSTRACT

Rainwater harvesting generates sewage volumes released to the public network, whose destination and treatment costs are not accounted for by the sewage charging scheme generally adopted in Brazil, since this collection is carried out based on the volume of potable water supplied, although the advantages of its use are known. This paper proposes a methodology for estimating the volume of sewage generated, based on the characteristics of the rainwater harvesting system and indexed by the volume of treated water measured in the meter of the consumer unit. Two examples with distinct features (efficiency and service capacity) are presented and discussed to elucidate the use of the new methodology. The conclusions indicate that the method to estimate the sewage generated volume by rainwater harvesting is coherent to estimate the volume of sewage generated by the use of rainwater and has immediate practical application since it requires no investment in any additional equipment.

Key-words: *Rainwater harvesting; Sewage charges; Sewage/water factor.*