

Eficiência da interceptação de esgoto sanitário em rede pluvial na bacia do Arroio Capivara – Porto Alegre/RS

Efficiency of foul sewage diversion into a storm drainage system in the Arroio Capivara watershed basin – Porto Alegre/RS

Amanda Wajnberg Fadel e Fernando Dornelles

Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

awfadel@outlook.com; fds_eng@yahoo.com.br

Recebido: 25/09/14 - Revisado: 03/06/15 - Aceito: 20/07/15

RESUMO

A destinação de efluentes sanitários à rede pluvial é uma constante no Brasil. Tendo em vista a presença anterior do sistema pluvial ao separador absoluto, esta era a alternativa para o afastamento do esgoto cloacal das zonas urbanizadas. Após, com as iniciativas de integralização das redes separadoras absolutas, discute-se alternativas para a universalização da coleta de efluentes sanitários. Este trabalho propôs-se a analisar a resposta de uma bacia quando da interceptação das cargas sanitárias presentes no sistema pluvial por meio de coleta de tempo seco. As análises foram feitas com base no modelo chuva-vazão SCS-Hidrograma Unitário Triangular, considerando os dados pluviométricos e características da bacia hidrográfica e do esgoto sanitário da região. Juntamente, utilizou-se de séries sintéticas de precipitação que, inseridas no modelo desenvolvido, auxiliaram na obtenção dos resultados. Foi adotada a bacia hidrográfica do Arroio Capivara, na Zona Sul de Porto Alegre, para aplicação da metodologia. O intuito deste estudo foi comparar o total de carga estimada em termos de DBO lançada no corpo receptor com e sem o sistema de interceptação proposto. Para isto, foram idealizados quatro cenários, com a variação da vazão de interceptação e da urbanização (representada pelo parâmetro CN), chegando a valores de aproximadamente 85% de desvio da carga de efluentes.

Palavras Chave: Rede de esgoto mista. Coleta de tempo seco. Interceptação de esgoto sanitário

ABSTRACT

Disposal of sanitary sewage into the storm drainage network is a common practice in Brazil. As the storm drain system was commonly built before the sanitary sewers, this was the alternative to remove foul sewage from the urban areas. Afterwards, with the rise of separate sewage networks, alternatives to universal collection of sewage are being discussed. This paper aims to analyze the response of a watershed when intercepting sewage discharges in storm drainage networks, through collection in dry weather conditions. The analysis was based on the SCS-Triangular Unit Hydrograph rainfall-runoff model, considering the rainfall data and watershed and sewage characteristics in the region. In addition, synthetic precipitation series were used to obtain better results. The Arroio Capivara watershed basin (in Porto Alegre city) was chosen to apply this methodology. The aim of this study is to compare the total BOD estimated discharge in the receiving water body with and without the proposed interception system. For this, four scenarios were modeled, varying the flow interception and the level of urbanization (represented by the CN parameter), obtaining values of approximately 85% sewage diverted.

Keywords: Combined sewage system. Flow interception. Sewage diversion during dry weather

INTRODUÇÃO

Porto Alegre é a décima capital mais populosa do Brasil (IBGE, 2010) e, assim como diversas outras cidades, enfrenta as dificuldades no ordenamento do território e serviços essenciais à população. Com uma população de cerca de 1,4 milhão de habitantes em 2013, a capital tem, segundo dados do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE, 2013a), 100% da população atendida com abastecimento de água e 87,7%, com coleta de esgoto. Conta, ainda, com obras em andamento do Programa Integrado Sócio Ambiental (PMPA, 2013), o qual contribuirá para o aumento da capacidade de tratamento de esgoto de 27% para 77% do esgoto produzido.

Atualmente, Porto Alegre encontra-se em uma fase de universalização da coleta de esgoto por sistema separador absoluto. Dados do DMAE (2013a) apontam que cerca de 60% da população já é atendida por este tipo de rede; entretanto, percebe-se ainda a má qualidade das águas dos córregos da capital. Com a ampliação da capacidade do tratamento de esgoto pelo Plano Integrado Sócio Ambiental (PISA), parte do problema será resolvido, mas ainda persistirá a demanda pela transição completa das antigas ligações para o sistema de coleta, visto que, mesmo nas regiões onde este sistema já é considerado estabelecido, ainda não se tem 100% das ligações corretas. Assim, mesmo que haja esforços convergentes à universalização, a mistura remanescente de esgoto cloacal ao pluvial deverá ser um ponto considerado na avaliação da eficiência de ambos os sistemas.

Com isso, é importante inicialmente ratificar que, diferentemente do que é usualmente relatado, Porto Alegre, assim como a maioria das cidades brasileiras, não apresenta um sistema misto eficiente de coleta de esgotos pluvial e sanitário. Em redes mistas, por ser coletado tanto esgoto sanitário quanto o pluvial, deve-se manter o sistema sob severas condições de controle, contando com coleta a tempo seco e vertedores dimensionados para o extravasamento durante períodos chuvosos. Nos Estados Unidos, por exemplo, é exigido, para os sistemas mistos, um plano de controle das águas vertidas aos corpos receptores, no qual é estipulado o lançamento de águas pluviais e esgoto sanitário em apenas quatro eventos anuais (ALONSO, 2013). Deste modo, o que ocorre frequentemente nas cidades brasileiras, em realidade, são adaptações no sistema pluvial para que este se comporte como unitário, coletando também os esgotos sanitários. Estes chamados “sistemas mistos” estão presentes em muitos municípios em decorrência de conexões irregulares de esgoto sanitário sem tratamento, ou contribuição de fossas sépticas sem manutenção. Além disso, segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (DEP, 2005a), devido à falta de capacidade financeira para ampliação da rede sanitária, algumas prefeituras têm permitido, mesmo que contrariando as legislações que regulam o lançamento de efluentes, o uso da rede pluvial para transporte de efluentes cloacais, o que acaba por contaminar e muitas vezes comprometer o funcionamento do sistema pluvial.

Pinto e Cavassola (2011) apresentam um contraponto, enfatizando a importância da utilização de ambos os sistemas no Brasil, devendo a separação absoluta ser implementada progressivamente mediante adaptações dos sistemas “mistos”

já existentes em grande parte das cidades. Os autores ainda afirmam que “não teremos tempo nem recursos financeiros suficientes para promover a universalização do esgotamento sanitário no RS, se for para adotar exclusivamente o sistema de separador absoluto da forma atual”. E é neste ponto que se encaixa a coleta de tempo seco proposta no presente estudo, representada por estruturas de desvio nas redes pluviais para baixas vazões, interceptando o fluxo de efluente sanitário eventualmente presente.

Com este pensamento, foi iniciado, na década de 1990, um projeto para recuperar as águas do Balneário de Ipanema, em Porto Alegre. O programa Saneamento da Praia de Ipanema buscou soluções para aperfeiçoamento da rede; para isso, começaram a ser implementadas, além das redes coletoras tipo separador absoluto, estações de bombeamento e tratamento e adaptação de interceptores (DMAE, 1998). Com um sistema de maior controle, foi possível, segundo o programa, inicialmente, a ligação dos principais contribuintes de cargas poluidoras a equipamentos interceptores, proporcionando, para vazões menores e de tempo seco, o desvio de certos volumes de esgoto sanitário ao correto tratamento, o que antes era inexistente. Já em épocas de cheias ou chuvas intensas, os efluentes eram lançados diretamente nas águas do Balneário de Ipanema. Ainda que em determinados momentos o encaminhamento do esgoto ao tratamento não fosse total, foi possível adaptar este sistema para moldes mais próximos aos ideais de um sistema misto, enquanto não fosse completamente instalado o sistema separador absoluto. Atualmente, nesta região está sendo planejada a finalização da rede absoluta de coleta de esgoto, para ser integrada ao Projeto Integrado Socioambiental (PMPA, 2013), que irá ampliar a capacidade de coleta e tratamento de esgotos da capital.

COLETA DE TEMPO SECO

Como solução parcial para as dificuldades encontradas nos sistemas de coleta de efluentes sanitários, enquadra-se a captação, ou interceptação, de esgoto a tempo seco. Este sistema, diferentemente do separador absoluto, consiste em admitir a coleta de esgoto sanitário via rede pluvial, instalando-se, em pontos determinados, interceptores. Estes interceptores têm como intuito desviar, durante as baixas vazões na rede, o efluente para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE); ou seja, em dias não chuvosos, garante-se que o efluente desviado terá predominantemente as características sanitárias, podendo ser acolhido pelo tratamento de esgotos usual da cidade.

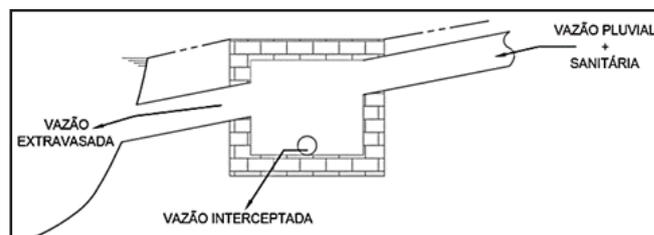


Figura 1 - Esquema de interceptação de vazões em tempo seco

As estruturas denominadas captação de tempo seco, esquematizadas pela Figura 1,

[...] estão inseridas nas galerias de águas pluviais capazes de desviar a vazão remanescente que é encontrada quando do estio. Tais vazões são geralmente provenientes de ligações indevidas de esgoto sanitário na rede de drenagem pluvial. (DIAS; ROSSO, 2011)

Evidentemente, este sistema só terá sua eficiência passível de ser comparada ao separador absoluto em períodos sem chuvas consideráveis. Além desta limitação meteorológica, sua operacionalidade exige um nível de manutenção maior que o tradicional, sendo esta uma das razões para constantes críticas a sua utilização.

Ainda que estas estruturas possam auxiliar no sistema de esgotamento sanitário dos municípios, não deve ser uma prática rotineira das companhias de saneamento. Isto por que as redes separadoras absolutas existentes não são projetadas para o acréscimo das contribuições que as captações a tempo seco venham a originar quando do desvio da vazão interceptada para tratamento. Em seus estudos D'Alcantara et al. (2005) observaram um aumento da extensão da rede sob pressão em 18% quando da utilização de captação a tempo seco; isto por que, em períodos chuvosos, ao incluir tais elementos, submetem-se as redes coletoras de esgoto sanitário que recebem o valor interceptado a trabalharem em regime de conduto sob pressão, com utilização de 100% da seção do coletor, enquanto que, para redes cloacais, “as lâminas d'água devem ser sempre calculadas admitindo o escoamento em regime uniforme e permanente, sendo o seu valor máximo, para vazão final, igual ou inferior a 75 % do diâmetro do coletor” (ABNT, 1986).

No Rio de Janeiro, por sua vez, obteve-se, com a aplicação dos coletores a tempo seco, uma contribuição positiva na recuperação das lagoas Araruama e Saquarema, região na qual o avanço dos serviços de coleta e tratamento de esgotos convencionais encontrou grandes dificuldades, principalmente pelas diversas áreas de concentração de habitações precárias e favelas. Segundo Ramos e Johnsson (s/d), “projetos de coleta de esgotos em sistemas tipo separador absoluto tem demonstrado que, em áreas de ocupação desordenada, a coleta atinge apenas cerca de 30% do esgoto produzido”, enquanto que a adoção pela alternativa de coleta de tempo seco na região possibilitou a coleta e tratamento de 60% do esgoto produzido, além dos custos do sistema terem sido reduzidos pela metade.

Deste modo, a coleta de tempo seco pode ser pensada como uma alternativa para o melhoramento da qualidade dos corpos receptores, buscando a interceptação da carga de efluente cloacal que porventura estiver presente no sistema pluvial. Para corroborar com a escolha por sua utilização, faz-se necessário uma avaliação prévia do nível de contribuição na redução do lançamento de esgotos sanitários nos corpos d'água que a interceptação poderá atingir. Estudos de avaliação deste tipo de sistema geralmente estão vinculados à medição da qualidade da água no corpo receptor posteriormente à instalação de um coletor de tempo seco; contudo, torna-se interessante, da mesma forma, avaliar anteriormente se o que é proposto corresponderá aos resultados esperados. Para isto, será apresentado neste arti-

go uma modelagem com a finalidade de verificar previamente a funcionalidade da coleta de tempo seco a partir de dados de séries de precipitação juntamente com a caracterização dos efluentes sanitários, aplicada às características da bacia do Arroio Capivara, na Zona Sul de Porto Alegre - RS.

METODOLOGIA

Para as avaliações pretendidas neste estudo, será estipulado que toda a vazão sanitária produzida na bacia é destinada à rede pluvial. Considerando a existência de mistura completa e imediata do efluente nos períodos de chuva e ainda desconsiderando a sua depuração natural, a parcela de esgoto passível de ser desviada para a ETE dependerá diretamente do nível de chuvas da região e da vazão de interceptação adotada. Ainda, assumindo-se vazão de interceptação ligeiramente superior à de esgoto sanitário produzida na região, garante-se que, nos períodos não chuvosos, 100% da carga seja desviada, desde que o funcionamento dos pontos de coleta de tempo seco não esteja comprometido devido a obstruções.

Como forma de avaliação da eficiência de desvio da carga poluidora, será utilizado um fator de vazão não interceptada, o qual será utilizado para o cálculo da carga total de efluente lançada com a utilização da coleta de tempo seco, em termos de DBO. Ao ser comparado com a carga de efluentes lançada atualmente na região, pode-se obter um indicativo da eficiência do sistema.

Se considerarmos as ligações de esgoto sanitário na rede pluvial como uma fonte poluidora dos corpos receptores, podemos enquadrar os cenários até então descritos na CONAMA 430, a qual trata das condições e padrões de lançamento de efluentes. Segundo o Artigo 16:

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

[...]

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. (BRASIL, 2011)

Para os objetivos deste estudo, de gerar um índice de interceptação da carga cloacal produzida na bacia, combinou-se em uma modelagem a geração de escoamento superficial e de efluente sanitário na bacia com a capacidade de desvio de parte deste para o sistema de tratamento.

Visto que prevalece a inexistência de monitoramento de vazão em bacias urbanas de pequena escala adotou-se a transformação de chuva em vazão, sendo necessária a escolha do modelo que permitirá estimar esta resposta. Para este tra-

balho, foi escolhida a conjunção HUT-SCS, a qual se baseia no hidrograma unitário triangular, proposto pelo antigo Soil Conservation Service (atualmente, Natural Resources Conservation Service) para a obtenção da chuva efetiva, e consequente geração da resposta em termos de vazão para cada evento chuvoso na região de estudo.

Uma vez que para a aplicação de modelos de transformação chuva-vazão é necessária a utilização de dados de precipitação com informações discretizadas no tempo, optou-se pelo uso de séries sintéticas de precipitação, as quais levam em conta as informações estatísticas de séries históricas observadas, gerando as lâminas precipitadas com respectivas durações. Também é possível por este artifício, a ampliação da duração de séries com dados, uma vez que a representatividade dos resultados obtidos aumenta com o tamanho da série utilizada.

Para a obtenção das séries sintéticas, foi utilizado o programa ClimaBR desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa que, com base nos dados pluviométricos de uma região, extrai, dentre outras informações, os valores da probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido o anterior também chuvoso $P(C/C)$, da probabilidade de um dia ser chuvoso tendo sido o anterior seco $P(C/S)$, o número de dias chuvosos (NC), a precipitação total diária (P) e sua duração (OLIVEIRA, 2003). Com base nessas informações, o gerador de série sintética utiliza o processo da Cadeia de Markov para definir os dias chuvosos e sorteio aleatório com base nas distribuições de probabilidade para as lâminas precipitadas e suas durações. A geração de diversas séries sintéticas independentes entre si permite a aplicação do Método de Monte Carlo para a obtenção de resultados estatisticamente mais robustos.

Posto isso, assumindo-se que a modelagem utilizará séries sintéticas de precipitação, teve-se como um dos dados iniciais do programa proposto as lâminas diárias precipitadas e respectivas durações. Inicialmente, para todo evento de chuva a ser rodado, calculou-se tempo de retorno em anos (Tr), utilizando-se uma curva IDF, tipicamente descrita pela equação 1:

$$I = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \tag{1}$$

com a, b, c e d calibrados para a localidade escolhida, t correspondendo à duração considerada do evento de chuva, em minutos, e I, à intensidade do evento, em mm/h.

Com o tempo de retorno de cada evento chuvoso calculado, iniciou-se, o processo de obtenção da chuva de projeto. Primeiramente, foi necessário definir o tempo de duração da chuva de projeto e a discretização que será utilizada conforme o nível de detalhamento desejado para os resultados. Tendo estes dados, foi novamente relacionado ao Tr inicialmente obtido para o eventos chuvoso, buscando o cálculo (pela equação 1) das respectivas intensidades (agora para a chuva de projeto) de cada intervalo de tempo. Posteriormente, cada pulso de chuva foi gerado pela relação a seguir.

$$P = I * td \tag{2}$$

onde td é relativo a cada intervalo de tempo até completar

a duração total do evento chuvoso, gerando as precipitações acumuladas da chuva de projeto.

O modelo do SCS-HUT considera o fato de que apenas quando o solo estiver saturado será gerado escoamento superficial, proporcional à resposta da bacia estimada pelo hidrograma unitário triangular. Dessa forma, foi possível obter a vazão de escoamento final, ou seja, a resposta da bacia para os eventos de chuva no período considerado. Após, somou-se a esta vazão de escoamento obtida àquela referente à produção de esgoto da bacia, resultando na vazão de entrada do sistema proposto.

Retomando a concepção da ideia de interceptação de tempo seco, o interceptor consiste em um dispositivo com uma entrada (equação 3) e saída, que poderá se dar de duas formas: ou pelo sistema de desvio (vazão interceptada) ou por extravasamento - considerando que a segunda opção somente ocorrerá quando a vazão de entrada for maior do que a de interceptação (equação 4).

$$Q_{entrada} = Q_{escoamento} + Q_{esgoto} \tag{3}$$

$$Q_{saída} = Q_{interceptação} + Q_{extravasamento} \tag{4}$$

Idealmente, a vazão interceptada deve ser encaminhada para tratamento adequado, uma vez que, na maior parte do tempo (sem a ocorrência de chuvas intensas) esta é composta basicamente pelo esgoto sanitário coletado via rede pluvial. Em períodos chuvosos, por sua vez, a vazão total de entrada do interceptor frequentemente supera a de interceptação; neste caso, ao exceder a capacidade de desvio, o fluxo é extravasado do dispositivo ou para a continuação da rede pluvial ou para o curso d'água mais próximo, conforme já foi apresentado anteriormente, na Figura 1.

Ao longo do intervalo considerado, é possível obter o volume total extravasado, esquematizado na Figura 2. Cabe lembrar que, neste estudo, foram realizadas análises anuais, e, dessa forma, a vazão de esgoto pode ser considerada constante ao longo do tempo.

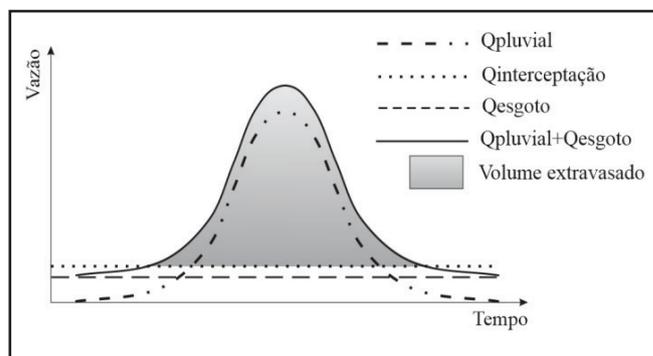


Figura 2 - Esquema de vazões do sistema proposto

Para cada intervalo de tempo discretizado a relação entre a vazão total (escoamento superficial + vazão sanitária) e a vazão de interceptação resultará no índice de vazão extravasada, que, proporcional à carga produzida na bacia, corresponde ao total de carga lançada naquele intervalo de tempo. A soma destas cargas discretas ao longo dos anos da série compõe o

total lançado (TL), em termos de kg de DBO. Cabe lembrar que, com base nos dados de caracterização do efluente sanitário da bacia, obteve-se o valor da carga que estaria sendo lançada anualmente nos cursos hídricos, caso não exista a coleta alguma deste efluente. Considerando a duração da série utilizada, tem-se o total que seria lançado sem a interceptação (TSL), também em termos de kg de DBO.

Salienta-se que foi desconsiderada a carga contaminante presente no escoamento pluvial, permitindo a comparação direta da bacia sem e com o sistema de interceptação em função do esgoto sanitário produzido. Desta forma a carga estimada por este método tende a ser menor que a real lançada - visto que não é considerada a contaminação do próprio esgoto pluvial, não sendo adequada a utilização direta destes resultados em, por exemplo, uma simulação de qualidade d'água do corpo receptor.

APLICAÇÃO METODOLOGICA

Conforme informações obtidas junto ao Departamento de Água e Esgoto de Porto Alegre, a adoção de caixas coletoras de tempo seco é uma prática relativamente comum no município. Os PVs de tempo seco, como são chamados, são indicados como alternativas em dois casos específicos na cidade:

Em regiões onde é possível encontrar imóveis os quais estão localizados em cotas altimétricas inferiores às das canalizações de esgoto instaladas. Neste caso, fica impossibilitada a ligação à rede cloacal; logo, essa ligação é feita na rede pluvial;

Em ocasiões nas quais não existem áreas disponíveis para o estabelecimento do sistema cloacal; tais circunstâncias ocorrem em regiões bastante urbanizadas, onde o traçado ideal para a rede usualmente situa-se em lotes completamente construídos.

Em ambos os casos, é adotada uma medida interventiva nas redes pluviais que por ventura venham a receber os efluentes domésticos da região. Portanto, são utilizadas as caixas

interceptoras que funcionam tanto como poços de visita quanto para possibilitar o desvio do esgoto cloacal para as corretas canalizações à jusante. Garante-se, deste modo, que ao menos um percentual do efluente, oriundo das baixas vazões – de tempo seco –, seja destinado ao tratamento.

Apesar de estas serem as situações com indicação para aplicação destas medidas, existem algumas medidas tomadas com o intuito de melhoramento da qualidade dos cursos hídricos, como a do programa Saneamento da Praia de Ipanema (DMAE, 1998). Este programa, assim como o que apresentam Volschan (2011) e Pinto e Cavassola (2011), propõe a transição de antigos sistemas de coleta para separador absoluto pela instalação de alguns equipamentos na rede pluvial, dentre eles, as caixas de tempo seco.

No caso do balneário de Ipanema, foram identificados quatro arroios e outras redes pluviais que estariam contribuindo para a má qualidade das águas. Por o Arroio Capivara ser aquele com maior vazão de contribuição e com concentrações médias de coliformes fecais na ordem de 106 NMP 100 mL⁻¹, este foi identificado como a carga mais significativa de poluição e escolhido como local de aplicação da metodologia proposta descrita neste artigo.

Segundo o seu Plano Diretor (DEP, 2005b), a bacia do Capivara é dividida em duas regiões: uma maior que é drenada pelo Arroio Capivara (11,34 km²) e uma outra a oeste da bacia que esco diretamente para o Guaíba (2,09 km²). Para fins deste estudo, será considerada apenas a área de contribuição do próprio arroio.

A bacia situa-se na Zona Sul de Porto Alegre e encontra-se parcialmente urbanizada (Figura 3). Estudos na região apontam que o parâmetro CN (o qual está relacionado ao percentual de impermeabilização do solo) é da ordem de 80 para a região próxima à foz, enquanto, para as áreas mais a montante, chega a valores de 72. Com base nos coeficientes de cada sub-bacia e suas respectivas áreas, chega-se ao valor médio atual de 77,7

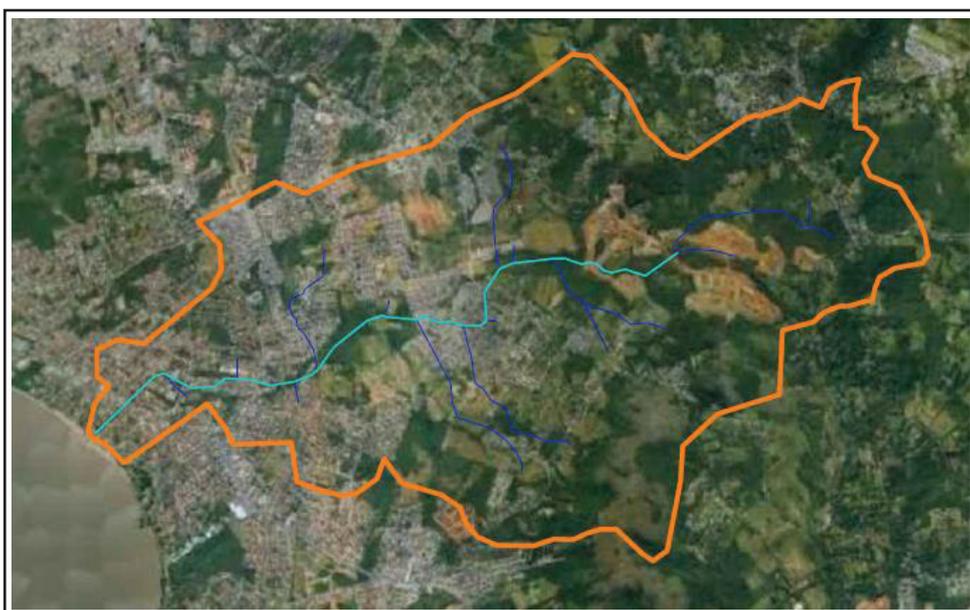


Figura 3 - Ocupação da bacia do Arroio Capivara
Fonte: Adaptação do DEP (2005b) e Google Earth (2013)

e, para um horizonte de desenvolvimento urbano de 30 anos, previsto pelo Plano Diretor de Porto Alegre, 82,9.

O comprimento total do talvegue do Arroio Capivara é de aproximadamente 3,9 km. A cota da nascente chega acerca de 80 m, e, no ponto de deságue no Guaíba, aproximadamente 0,3 m. Com isso, o tempo de concentração, conforme a equação de Kirpich, é de 50,73 min. Os dados de caracterização dos efluentes sanitários na bacia encontram-se descritos na sequencia.

Tabela 1 - Características relacionadas ao efluente sanitário da bacia do Arroio Capivara

| | Atual | Projeção (2030) |
|--|---------------------|---------------------|
| População (hab) | 21.167 ^a | 24.838 ^b |
| Consumo de água (L hab ⁻¹ dia ⁻¹) | 200 | |
| Coefficiente de retorno | 0,8 | |
| Vazão esgoto (m ³ dia ⁻¹) | 3.387 ^a | 3.974 ^b |
| Concentração DBO no efluente (mg L ⁻¹) | 300 | |

^aValor indicado pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Capivara.

^bProjeção proporcional ao crescimento previsto para Porto Alegre, segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico.

Fonte: DEP (2005b) e DMAE (2013b)

SIMULAÇÃO

Para fins de simplificação, considerou-se a interceptação ocorrendo ao longo do Arroio Capivara (Figura 4), buscando captar toda a contribuição pluvial gerada na bacia. Esta simplificação permite o cálculo da resposta da bacia como um sistema único. No entanto, para sistemas reais, podem-se adotar interceptores menores para cada sub-bacia, por exemplo, somando-se a resposta de cada uma para obter-se o total.

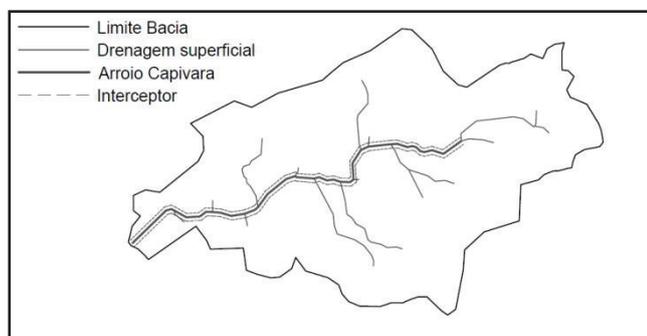


Figura 4 - Esquema do interceptor ao longo do Arroio Capivara

Para a obtenção de séries sintéticas de precipitações, por meio do programa ClimaBR possibilita-se importação de

dados do INMET ou da ANA ou, ainda, a inserção direta por arquivo de texto com tais informações. Isto seria interessante, uma vez que a região de estudo - Porto Alegre - possui uma boa base de dados levantados por estes dois órgãos; contudo, não foi possível realizar estas opções por alguma limitação não identificada do programa. Assim, optou-se por utilizar as informações das estações pluviométricas já cadastradas no banco de dados do ClimaBR. Porém, dados das estações do município de Porto Alegre não são apresentadas no banco de dados, selecionando-se assim, a estação de Barra do Ribeiro, por ser a estação disponível mais próxima da região de estudo (cerca de 30 km). Na Figura 5 estão identificadas as duas estações pluviométricas cadastradas na ANA, com destaque para a bacia em estudo.



Figura 5 - Localização das estações pluviométricas próximas a Porto Alegre

Fonte: Hidroweb (ANA, 2013)

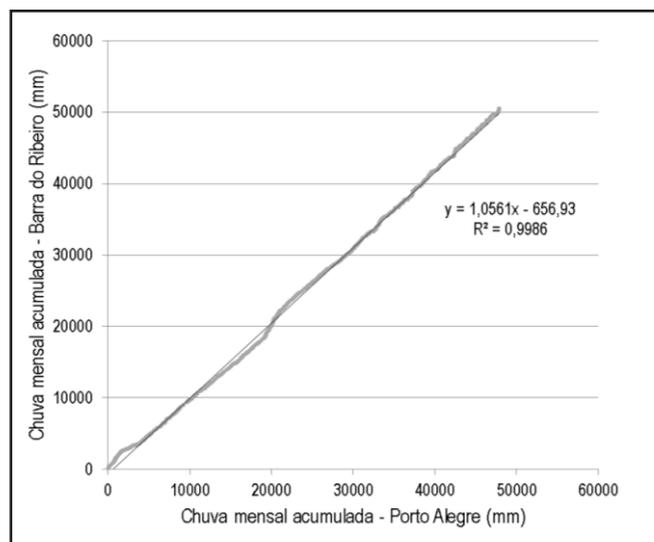


Figura 6 - Análise de dupla massa entre os postos de Barra do Ribeiro e Porto Alegre

Buscando validar a opção de utilizar os dados de chuva de Barra do Ribeiro (posto 3051023) para a simulação, foi realizada uma análise de dupla massa com os dados de chuva observados em Porto Alegre, no posto 3051011, com valores mensais de 1977 a 2013. Esta análise permite comparar os

dados de um posto com outro de forma que se verifique a relação entre eles. Quanto mais linear for esta relação, maior a proporcionalidade entre os postos. Ainda, quanto mais próximo de 1 for a inclinação da reta, maior será a semelhança entre os dados. Conforme se pode verificar na Figura 6, com os dados de chuva dos dois postos foi possível obter uma boa relação, ratificando a representatividade do posto de Barra do Ribeiro em função do posto de Porto Alegre.

Após a inserção no modelo proposto da série sintética gerada, entrou-se com os dados de caracterização da bacia do Arroio Capivara. O intervalo de tempo discretizado escolhido foi de 5 min, visto que é indicado utilizar valores menores do que 1/5 do tempo de concentração da bacia. Com tais dados, gera-se a chuva efetiva para cada intervalo de tempo e o hidrograma unitário da região e, através do método de convolução, a vazão total diária de escoamento para a bacia do Arroio Capivara.

Adicionando às vazões diárias de escoamento a vazão de esgoto produzida na bacia, de 0,0339 m³/s para o ano inicial e 0,0397 m³/s para o ano final, tendo como base a projeção do Plano Diretor de Saneamento Básico municipal (DMAE, 2013B), obtém-se a vazão total que chega às canalizações pluviais. A relação entre esta vazão e a vazão de interceptação, resultará na

$$F = \frac{Q_{plu} + Q_{esg} - Q_i}{Q_{plu} + Q_{esg}} \quad (5)$$

parcela de vazão não interceptada (F) a cada dia, sendo:

Q_{plu}: vazão resultante do escoamento superficial do evento de chuva

Q_{esg}: vazão de esgoto sanitário produzida na bacia

Q_i: vazão de interceptação

A carga total de DBO lançada será proporcional ao índice de não interceptação F (kg), conforme a equação 6.

$$TL = TSL \times F \quad (6)$$

onde:

TL: total de carga lançada com a interceptação [kg]

TSL: total de carga que seria lançada sem a interceptação [kg]

RESULTADOS

Com base nos parâmetros e definições já apresentados, analisa-se os resultados do sistema proposto.

Foram escolhidos os seguintes dados para análise:

- Carga total que seria lançada sem adoção da interceptação (TSL)
- Carga total lançada com a interceptação (TL)
- Eficiência do sistema

Buscando um período mínimo de dados com o qual fosse possível obter uma melhor representatividade dos resultados, foram testadas séries sintéticas de 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 anos de duração, verificando-se se, com o horizonte de 30 anos utilizados para as projeções mencionadas,

é atingida uma boa estabilidade dos resultados de simulação. Propôs-se a análise das respostas quando da variação da vazão de interceptação (Q_i) e do parâmetro CN. Naturalmente, espera-se que, com uma maior vazão de interceptação, a carga total lançada tenda a diminuir. De maneira inversa, tem-se o comportamento do sistema quando do aumento do CN, que representará o aumento da impermeabilização do solo; com isso, eleva-se escoamento superficial, gerando um acréscimo no número de extravasamentos do interceptor.

Para obtenção da eficiência do sistema, foi contabilizado o índice de redução da carga lançada no Arroio Capivara com e sem interceptação de esgotos. De acordo com o que foi proposto, a comparação dos resultados será realizada com a variação dos dois parâmetros já apresentados (Q_i e CN), levando em consideração o aumento da carga de efluentes produzida na bacia, proporcional ao crescimento populacional.

A variante Q_i representará a resposta do modelo de acordo com a vazão de interceptação, mas isto também dependerá de uma rede de apoio ao sistema; ou seja, a variação da carga final lançada está sujeita à capacidade das demais redes coletoras em receber a vazão interceptada e encaminhá-la corretamente ao tratamento. Outro fator limitante são as características da Estação de Tratamento de Esgotos da região. Posto que a intenção do sistema é destinar o volume interceptado para tratamento, deve-se fazer atenção para que, em períodos de chuvas mais intensas não ocorram intercorrências que possam comprometer o sistema de tratamento dos efluentes em função do aumento da diluição do efluente coletado.

A variação do CN foi ponderada para levar em consideração o crescimento urbano da região, visto que atualmente a bacia de estudo não se encontra totalmente urbanizada. Para isto, foram utilizadas as projeções apresentadas no Plano de Drenagem Urbana da bacia do Arroio Capivara que, entre outras considerações, avalia o aumento da área impermeável para cada sub-bacia, previsto pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (PDDUA).

Os quatro cenários escolhidos, então, são embasados nas combinações entre as vazões de interceptação de 0,05 m³ s⁻¹ e 0,1 m³ s⁻¹ e para os CNs de 77,7 e 82,9.

Tabela 2 - Características dos quatro cenários propostos

| | Cenário Atual 1 | Cenário Atual 2 | Cenário Futuro 1 | Cenário Futuro 2 |
|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| Q _i (m ³ s ⁻¹) | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,1 |
| CN | 77,7 | 77,7 | 82,9 | 82,9 |
| Q _{esg} (m ³ s ⁻¹) | 0,0339 | 0,0339 | 0,0397 | 0,0397 |

Conforme exposto, o cenário atual 1 considera a atual situação urbana e vazão de interceptação ligeiramente acima da vazão calculada de contribuição sanitária (Q_{esg}). Desta forma, garante-se que, em períodos de tempo seco ou pouca chuva, toda a vazão de esgoto consiga ser desviada pelo interceptor. Contudo, se for de interesse o aumento da remoção da carga lançada no córrego, deve-se ampliar Q_i, o que é analisado no cenário atual 2, lembrando que tal ampliação deve ser tal que

não cause intercorrências na ETE e com perda de eficiência no tratamento do efluente. Analogamente são as características para os demais cenários, com a consideração da ocupação urbana futura.

Para as séries sintéticas geradas, foram contabilizados os dias com chuva, totalizando o número de dias chuvosos (NC) para a duração de cada série e a média anual. Logo, pode-se concluir que o restante dos dias foram não chuvosos e, então, traçar uma relação com o número de dias da série. Disto resulta um percentual de aproximadamente 76% de dias não chuvosos na região.

Partindo-se do princípio de que a coleta de tempo seco tem sua máxima eficiência quando da baixa contribuição pluvial no sistema, em 76% dos dias garante-se que toda a carga de esgotos estará sendo desviada para a ETE. Tem-se, portanto, um bom indicativo inicial para a justificativa de instalação deste sistema. Ainda, este valor deve sofrer um acréscimo já que os dias com precipitações de pequena intensidade podem ter vazões baixas o suficiente para serem totalmente interceptadas, não havendo, assim, lançamento de carga para o corpo d'água receptor.

Conforme já apresentado, o PDDU da Bacia do Arroio Capivara apresenta a caracterização do efluente sanitário produzido na região com vazão de $0,0339 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e concentração de DBO em 300 mg L^{-1} . Com isso, considerando a não captação e lançamento dos efluentes diretamente na rede pluvial, chega-se a uma carga total de DBO lançada (TSL) anualmente no Arroio Capivara de $3,71 \times 10^5 \text{ kg}$.

O TSL, ao ser comparado com o total lançado com a interceptação (TL) - gerado pela modelagem proposta - serve como parâmetro para verificação se a instalação da coleta de tempo seco é vantajosa. Já foi apresentado que, com a utilização deste sistema na região, em 76% dos dias do ano, o desvio da carga de DBO será total - referente aos dias não chuvosos. O modelo, então, computa também o acréscimo de remoção que existirá mesmo em períodos de chuva, uma vez que o interceptor continuará funcionando, porém com uma concentração de DBO menor (igual à condição de mistura completa do esgoto pluvial com o sanitário). Este acréscimo é inversamente proporcional ao volume de chuvas no período e ao número de dias em que a vazão total coletada for maior do que a interceptada, representado pelo número de extravasamentos.

Como se pode observar nos gráficos que seguem, é atingida uma estabilidade nas médias dos resultados a partir de séries com 30 anos de dados. Isto vai ao encontro do que foi proposto, de apresentar os resultados para o horizonte de 30 anos do PDDUA. Assim, para fins de comparação entre os cenários, serão utilizados os resultados obtidos para 100 séries sintéticas de 30 anos de duração cada.

Na Figura 7 e Figura 8, os pontos indicam o TL para cada uma das 100 repetições de cada um dos conjuntos de anos; as linhas contínuas representam as médias dos resultados ao longo da simulação; as linhas pontilhadas apresentam o intervalo entre o 10º e o 90º percentil, representando a faixa na qual se encontram 80% dos valores.

Para o cenário atual 1, a média da carga lançada anualmente para a 100 séries de 30 anos é de $5,72 \times 10^4 \text{ kg DBO ano}^{-1}$. Comparativamente ao TSL, isso representa uma diminuição

de 84,6% na carga lançada.

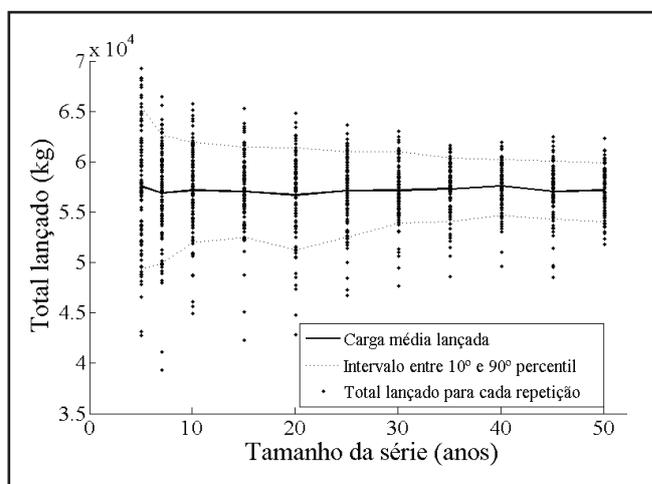


Figura 7 - Carga lançada para o cenário atual 1

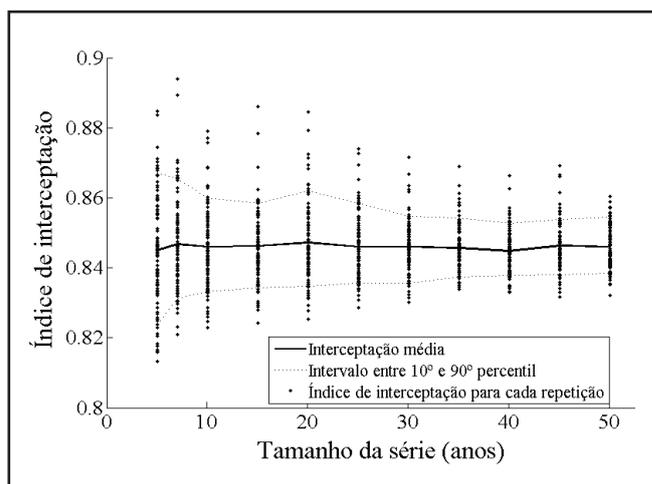


Figura 8 - Índice de interceptação da carga de DBO para o cenário atual 1

Da mesma maneira, foram obtidos os resultados para os demais cenários. A Tabela 3 apresenta o resumo dos resultados obtidos, com TSL e TL em kg DBO ano^{-1} .

Tabela 3 - Quadro resumo dos resultados

| | Cenário Atual 1 | Cenário Atual 2 | Cenário Futuro 1 | Cenário Futuro 2 |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| TSL | $3,71 \times 10^5$ | | $4,35 \times 10^5$ | |
| TL | $5,72 \times 10^4$ | $4,94 \times 10^4$ | $6,76 \times 10^4$ | $5,79 \times 10^4$ |
| Diminuição da carga final lançada | 84,6% | 86,7% | 84,5% | 86,7% |

A resposta do sistema para o aumento da vazão de interceptação é apresentada pela diferença entre os cenários 1 e 2. No comparativo da situação atual, chega-se a uma diminuição bruta de $7.848,8 \text{ kg DBO por ano}$, representando um aumento

na eficiência de interceptação de 2,1%, enquanto que, para os cenários futuros, este aumento é de 1,9%. O menor acréscimo apresentado entre os cenários futuros é compreensível, visto que estes representam a resposta da bacia para um panorama de ocupação urbana mais intensa, onde o volume escoado tende a ser maior, superando o interceptado em mais eventos.

A diferença entre os cenários atual e futuro, mostra a influência do aumento de escoamento superficial, resultado do crescimento urbano proposto. Mantendo-se a vazão de interceptação em $0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, nota-se o acréscimo de $10.438,4 \text{ kg DBO}$ lançada por ano, enquanto que, para a vazão de $0,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, este aumento seria de $8.508,6 \text{ kg DBO ano}^{-1}$.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual sistema proposto apresenta uma alternativa para o melhor gerenciamento das ditas redes mistas existentes, buscando uma aproximação do nível de controle que este modelo de esgotamento sanitário exige. Por meio da coleta de tempo seco, mesmo que sejam utilizadas as redes pluviais para afastamento do efluente sanitário, possibilita-se que exista um dispositivo de desvio desta carga, diminuindo o seu impacto nos cursos d'água receptores. Através da modelagem apresentada, foi possível verificar previamente se, baseando-se no panorama de chuvas e características do efluente na região, tal artifício apresenta-se como uma opção a ser estudada para colaborar com o sistema existente.

Considerando que todas as ligações de esgoto sanitário estariam ligadas às redes pluviais, caso não houvesse intervenção, todo o efluente seria destinado aos cursos d'água receptores deste sistema. Contudo, no presente trabalho, com a instalação do sistema de coleta de tempo seco, o desvio do efluente sanitário chega a um nível de cerca de 85%. Considerando apenas este índice, conclui-se que o sistema proposto se adequa às condições de lançamento de DBO da Resolução CONAMA 430, a qual exige, para o lançamento direto de efluentes, uma remoção mínima de 60%. Assim, embasado por esta legislação, tem-se, um bom indicativo inicial para a justificativa de instalação deste sistema. Contudo, este resultado é apenas um indicativo de que o índice de desvio dos efluentes sanitários do sistema pode ser considerado bastante significativo, uma vez que aqui se trata a eficiência do sistema relacionada a não interferência na qualidade das águas, e não a remoção efetiva da carga do efluente. Sabe-se da necessidade de que demais parâmetros - como a carga presente no efluente pluvial e indicadores de qualidade da água - sejam avaliados para uma análise mais segura.

Lembra-se que o índice de eficiência aqui apresentado está relacionado com a interceptação da carga poluente, devendo-se ainda ser analisada a eficiência de tratamento desta vazão desviada, para se chegar ao índice de remoção propriamente dito. Além disso, para implementação deste sistema, se faz necessário o estudo da interferência nas estações de tratamento do efluente diluído, resultante dos dias chuvosos.

Atenta-se também para as simplificações na modelagem apresentada (como a obtenção do escoamento superficial por transformação chuva-vazão e a utilização de dados médios na

caracterização do efluente), impostas pela falta de dados observados na bacia, o que pode acarretar incertezas na metodologia. Recomenda-se, assim, o monitoramento hidrológico na região, buscando conhecer a real eficiência dos sistemas interceptadores e verificar a exatidão da metodologia proposta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9.649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ALONSO, L. O sistema misto ou unitário no tratamento de esgotos. *BIO - Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente*, p. 13, jan/mar. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Hidroweb - Sistema de informações hidrológicas*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 430*: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, 2011.

D'ALCANTARA, W.; ROSSO, T. C.; GIORDANO, G. *Tomada de tempo seco: benefícios e riscos* - Estudo de caso: Vulnerabilidade do sistema de coleta de esgotos da bacia de contribuição da Lagoa Rodrigo de Freitas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-056.pdf>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

Departamento de Esgotos Pluviais (DEP). *Plano Diretor de Drenagem Urbana*. Porto Alegre, 2005 a.

_____. *Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Capivara*. Porto Alegre. 2005b.

DIAS, A. P.; ROSSO, T. C. Análise dos elementos atípicos do sistema de esgoto - separador absoluto - na cidade do Rio de Janeiro. *ENGEVISTA - Revista da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense*, v. 13, n. 3, p. 177-192, dez. 2011.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO (DMAE). Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/>>. Acesso em: 15 de agosto de 2013a.

_____. *Plano Municipal de Saneamento Básico*. Porto Alegre, 2013b.

_____. *Saneamento da Praia de Ipanema – O Resgate da Qualidade de suas Águas*. 1998.

DORNELLES, F. *Aproveitamento de água da chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial*. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

GOOGLE EARTH. Imagens de Satélite. Versão 7.1.2.2041, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

OLIVEIRA, V. D. P. *Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação*. 2003. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2003.

PINTO, J. H. F.; CAVASSOLA, G. Universalização do esgotamento sanitário? *Conselho em Revista* - CREA/RS, n. 83, p. 29, jul. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (PMPA). *Projeto Integrado Socioambiental (PISA)*. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/pisa/>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

RAMOS, M.; JOHNSON, R. M. *Água, gestão e transição para uma economia verde no Brasil* - Propostas para o setor público. [S.l.]: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, (s/d).

VOLSCHAN JR, I. *Vulnerabilidades dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário da região metropolitana do Rio de Janeiro frente às mudanças climáticas*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 7. 2011. Disponível em: <<http://xiisimpurb2011.com.br/app/web/arq/trabalhos/6eecc8aab186d5e0141a0de335378b6.pdf>>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

ZANETTI, S.; OLIVEIRA, V.; PRUSKI, F. Validação do modelo ClimaBR em relação ao número de dias chuvosos e à precipitação total diária. *Eng. Agríc.* [online], v. 26, n 1, p. 96-102, jan/abr. 2006.

Contribuição dos autores:

Amanda Fadel Neste estudo, a metodologia proposta foi desenvolvida em conjunto pelos dois autores. Ficou a cargo da Amanda a caracterização do local de estudo, bem como a obtenção e tratamento dos dados e a aplicação metodológica.

Fernando Dornelles O código inicial para a simulação no Matlab foi desenvolvido pelo Prof. Fernando e adaptado por Amanda, para os objetivos do artigo. As conclusões também foram contribuições dos dois autores, com algumas observações do Fernando.