
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

AMANDA WAJNBERG FADEL

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE INTERCEPTAÇÃO DE ESGOTO
SANITÁRIO: APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
ARROIO CAPIVARA - PORTO ALEGRE/RS**

Porto Alegre
Dezembro 2013

AMANDA WAJNBERG FADEL

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE INTERCEPTAÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO:
APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAPIVARA - PORTO
ALEGRE/RS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO
AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
DO SUL COMO PARTE DOS REQUISITOS
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Fernando Dornelles

Porto Alegre
Dezembro 2013

AMANDA WAJNBERG FADEL

AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE INTERCEPTAÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO:
APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAPIVARA - PORTO
ALEGRE/RS

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **04/12/2013** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....
Prof. Dr. Fernando Dornelles – Orientador

.....
Oceanógrafa Msc. Ester Loitzenbauer – Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental - IPH/UFRGS

.....
Eng. Civil Diego Polacchini Carrillo – Especialista em Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental – FEPAM

.....
Prof. Dr. Juan Martín Bravo – Departamento de Obras Hidráulicas – IPH/UFRGS

Conceito:.....

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho a minha família, em especial aos meus pais, Anete e Sergio, por todo apoio e carinho neste momento. Sem eles nada disto seria possível. Agradeço a confiança depositada em mim em concluir esta fase com o empenho e dedicação almejados.

Agradeço a todos os professores que auxiliaram na minha formação até aqui, principalmente ao meu orientador, Fernando Dorneles, pelo conhecimento repassado, paciência e principalmente dedicação à orientação.

Aos meus amigos, deixo o meu "muito obrigado" por estarem comigo nos momentos difíceis e, sobretudo, nos bons.

À sociedade como um todo e à UFRGS, agradeço a oportunidade de um ótimo ensino em uma das melhores universidades federais do país.

Life is like riding a bicycle.
To keep your balance, you must keep moving.
Albert Einstein

RESUMO

FADEL, A. W. Avaliação de sistema de interceptação de esgoto sanitário: aplicação na bacia hidrográfica do Arroio Capivara - Porto Alegre/RS. 2013. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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. Devido às diversas informações disponíveis, optou-se por adotar a bacia hidrográfica do Arroio Capivara, na Zona Sul de Porto Alegre, para aplicação da modelagem. A finalidade deste estudo foi a de comparação entre o total de carga de DBO lançada no corpo receptor com e sem o sistema de interceptação proposto. Para isto, ainda 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 remoção.

Palavras-chave: rede de esgoto mista, coleta de tempo seco, interceptação de esgoto sanitário.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 12 |
| 2. Delimitação do tema..... | 13 |
| 3. Objetivos..... | 14 |
| 4. Revisão Bibliográfica..... | 14 |
| 4.1. Legislação Referente | 14 |
| Política Nacional do Saneamento..... | 14 |
| CONAMA 430 | 15 |
| 4.2. Análise das características e inter-relação dos sistemas de esgotos sanitário e pluvial..... | 16 |
| Sistema misto X Sistema separador absoluto | 16 |
| Adaptações das redes coletoras..... | 18 |
| 4.3. Captação de esgoto a tempo seco..... | 19 |
| 5. Metodologia..... | 21 |
| 5.1. Modelo chuva-vazão | 21 |
| 5.2. Modelo interceptor de esgoto sanitário | 24 |
| 5.3. Dados de Precipitação | 27 |
| Séries Sintéticas de Precipitação | 27 |
| ClimaBR | 27 |
| 6. Aplicação Metodológica..... | 30 |
| 6.1. Situação da área em estudo..... | 30 |
| Caracterização da Bacia Hidrográfica do Arroio Capivara | 31 |
| 6.2. Simulação | 33 |
| 7. Apresentação e Análise dos Resultados | 36 |
| 7.1. Resultados da geração de série sintética de precipitação | 38 |
| 7.2. Resultados para o sistema de interceptação de esgotos..... | 40 |
| Comparativo à CONAMA 430 | 42 |
| 8. Conclusão e recomendações | 43 |
| 9. Referências | 45 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Esquema do sistema unitário. | 17 |
| Figura 2: Esquema do sistema separador absoluto. | 17 |
| Figura 3: Esquema de interceptação. | 19 |
| Figura 4: Fluxograma das etapas de estudo. | 21 |
| Figura 5: Hidrograma triangular SCS. | 23 |
| Figura 6: Convolução de HU. | 24 |
| Figura 7: Esquema de vazões do sistema proposto. | 26 |
| Figura 8: Comparativo entre os dados reais e os obtidos por séries sintéticas. | 29 |
| Figura 9: Localização da bacia do Arroio Capivara e demais bacias da região. | 32 |
| Figura 10: Localização da foz do Arroio Capivara. | 32 |
| Figura 11: Divisão das sub-bacias de contribuição da bacia do Arroio Capivara. | 33 |
| Figura 12: Esquema do interceptor ao longo do Arroio Capivara. | 34 |
| Figura 13: Localização das estações pluviométricas próximas a Porto Alegre. | 34 |
| Figura 14: Layout do programa utilizado. | 35 |
| Figura 15: Precipitações diárias para a série sintética de 500 anos de duração. | 38 |
| Figura 16: Comparativo entre o ClimaBR e a série observada. | 39 |
| Figura 17: Carga lançada para o cenário atual 1. | 40 |
| Figura 18: Índice de interceptação da carga de DBO para o cenário atual 1. | 41 |
| Figura 19: Total lançado para cada cenário. | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Caracterização da bacia. | 24 |
| Tabela 2: Caracterização dos efluentes gerados. | 25 |
| Tabela 3: Características do efluente sanitário na bacia do Arroio Capivara. | 33 |
| Tabela 4: Características de cobertura do solo das sub-bacias. | 37 |
| Tabela 5: Características dos quatro cenários propostos. | 37 |
| Tabela 6: Média das precipitações dos dias chuvosos (mm). | 38 |
| Tabela 7: Quadro resumo dos resultados. | 41 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA: Agência Nacional de Águas

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

DEP: Departamento de Esgotos Pluviais

DMAE: Departamento Municipal de Água e Esgotos

ETE: Estação de Tratamento de Esgotos

HU: Hidrograma Unitário

HUT: Hidrograma Unitário Triangular

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

MMA: Ministério do Meio Ambiente

PDE: Plano Diretor de Esgotos

PDUUA: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental

PISA: Programa Integrado Socioambiental

PV: Poço de Visita

SCS: *Soil Conservation Service*

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha_{0,5}$ = razão de precipitação

Δ = parâmetro intensidade média e máxima instantânea de precipitação

μ = média

A = área [km²]

CN = parâmetro de reposta hidrológica quanto à permeabilidade do solo

D = duração de evento de chuva [h]

g = coeficiente de assimetria

h = declividade

I = intensidade de chuva [mm/h]

L = comprimento [km]

P = chuva [mm]

Q = vazão [m³/s]

S = capacidade máxima de infiltração [mm]

s = desvio padrão

tc = tempo de concentração [horas]

te = tempo de recessão [horas]

tp' = tempo do pico do escoamento [horas]

tr = duração da precipitação [horas]

Tr = tempo de retorno [ano]

x' = variável normal padrão

1. Introdução

Porto Alegre é a 10ª mais populosa capital do Brasil, com base nos dados do último Censo (IBGE, 2010) e, assim como diversas outras cidades, enfrenta as dificuldades no que tange o ordenamento do território e serviços essenciais à população. Com uma população de cerca de 1,4 milhão de habitantes, a capital tem, segundo dados do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE, 2013), 100% da população atendida com abastecimento de água e 87,7%, com coleta de esgoto (sendo 60,7% por rede separadora absoluta). 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.

As primeiras obras de saneamento na cidade são datadas de 1906, quando foram implantadas as redes coletoras iniciais no Centro de Porto Alegre. Ao longo das décadas, foram-se ampliando estas redes para demais bairros e, somente em 1966, concluído o primeiro Plano Diretor de Esgotos Sanitários. Durante as décadas de 80 e 90, estabeleceu-se no país a tendência de saneamento com ações de retirada de esgotos das zonas habitadas; nesta época, a administração pública priorizava execução de redes para o afastamento dos efluentes produzidos nos aglomerados urbanos. (PDE, 2009).

Desde então, em quase 50 anos, foram realizadas 5 revisões do Plano Diretor de Esgoto, sempre levando em consideração projeções para o crescimento urbano. Devido aos diversos planos existentes, pode-se considerar que a cidade conta com uma sólida base teórica de estudos e massivos investimentos em saneamento; no entanto, ainda enfrenta sérios problemas nessa área. Diversas pessoas vivem em situações precárias de saneamento básico e enormes loteamentos são previstos para regiões as quais carecem de serviços básicos de atendimento.

Atualmente, Porto Alegre encontra-se em uma fase de universalização da coleta de esgoto por sistema separador absoluto. Dados do DMAE (2013) 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 PISA, parte do problema será resolvido, mas ainda restará a questão da transição completa das ligações para o sistema de coleta oficial, visto que não se tem 100% das ligações corretas nas regiões onde este sistema já está teoricamente estabelecido.

Como solução parcial para as dificuldades encontradas no esgotamento, enquadra-se a captação 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 tem o intuito de desviar, a baixas vazões na rede, o efluente para uma ETE; ou seja, em dias não chuvosos, garante-se que o efluente desviado terá as características sanitárias, podendo ser acolhido pelo tratamento de esgotos usual da cidade. 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 consideravelmente alto, sendo, por esta razão, alvo de constantes críticas.

Visando auxiliar na transição para o sistema separador absoluto, foi adotado o conceito de coleta de tempo seco para a Bacia Hidrográfica do Arroio Capivara, na Zona Sul de Porto Alegre, na década de 90 (DMAE, 1998). Deste modo, o presente trabalho tem como meta a avaliação do comportamento de um interceptor de tempo seco hipotético ao longo do Arroio Capivara, valendo-se desta experiência como pano de fundo para as apreciações deste trabalho. Para isso, serão utilizados os dados históricos de chuva na capital, fazendo-se uso de diferentes cenários os quais serão importantes na comparação dos resultados quando da alteração de alguns parâmetros.

2. Delimitação do tema

Antes mesmo da Lei do Saneamento oficializar o sistema separador absoluto para o esgotamento sanitário, diversos municípios brasileiros já planejavam sua implementação. Uma das alternativas bastante comuns nos projetos de transição dos antigos sistemas de coleta via rede pluvial tem sido a utilização de artifícios como a coleta de tempo seco. Esta consiste da instalação, na rede pluvial, de um elemento similar a um poço de visita, o qual é adaptado para desviar o fluxo para a rede separadora absoluta a baixas vazões.

Com base nas informações obtidas junto ao DMAE, Em Porto Alegre, diversas bacias hidrográficas receberam este tipo de tratamento, principalmente na Zona Sul. Dentre elas, está a Bacia Hidrográfica do Arroio Capivara, córrego considerado como um dos mais poluídos da região. A bacia do Capivara apresenta ocupação urbana correspondente a cerca de 30% da sua área total, sendo mais intensa junto à foz e se tornando rarefeita em direção às nascentes. Apesar de não ser uma região com uso intensivo do solo, a falta de esgotamento sanitário adequado contribuiu com uma intensa degradação dos cursos d'água; tal impacto só começou a ser revertido com as intervenções realizadas pelo programa Saneamento da Praia de Ipanema (DMAE, 1998). Atualmente, a bacia do Arroio Capivara já conta com diversos avanços no sistema separador absoluto, tendo sido já apresentado um início da recuperação de seus córregos através de medições de qualidade da água, apesar da existência ainda de ligações irregulares de efluentes sanitários nas galerias pluviais, conforme aponta o programa. Recentemente, o Ministério das Cidades aprovou a liberação de verba para a construção do restante da rede coletora na região (BECK, 2013). Devido às diversas ações e da disponibilidade de informações, a bacia do Arroio Capivara foi escolhida como unidade de estudo do presente trabalho.

A medição da qualidade da água pós-instalação de um coletor de tempo seco – conforme se adotou no caso citado - é uma alternativa viável para aferição da eficiência do sistema; contudo, torna-se interessante, da mesma forma, avaliar previamente se o que foi proposto corresponderá aos resultados esperados. Para isto, será apresentada uma modelagem a fim de verificar a funcionalidade da coleta de tempo seco a partir de dados de séries sintéticas de precipitação e de caracterização dos efluentes sanitários, aplicada às características da bacia do Arroio Capivara.

Considerando que toda a vazão sanitária seja destinada à rede pluvial e que há mistura completa da DBO presente no efluente nos períodos de chuva, ao desconsiderar a degradação

natural, a parcela de esgoto passível de ser desviada 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, garante-se que, nos períodos não chuvosos, 100% da carga seja desviada, desde que o funcionamento dos PVs de tempo seco não esteja comprometido.

3. Objetivos

O objetivo desse estudo é a aferição da alteração da carga de efluentes cloacais lançada anualmente pela bacia no Arroio Capivara (e posteriormente no lago Guaíba) quando da utilização da interceptação de tempo seco.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Legislação Referente

Política Nacional do Saneamento

A Lei Federal nº 11.445 de 2007 estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico no país. Esta lei define o saneamento básico como os serviços relacionados ao abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos urbanos e o gerenciamento das águas pluviais. A gestão do saneamento fica organizada em cinco itens principais: planejamento, regulação, fiscalização, prestação de serviços e participação e controle social.

O Art. 2º do Capítulo I – Princípios Fundamentais, aponta que os serviços públicos de saneamento básico devem ser prestados visando:

- I. Universalização do acesso;
- II. Integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;
- III. Abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- IV. Disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- V. Adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- VI. Articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- VII. Eficiência e sustentabilidade econômica;

- VIII. Utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
- IX. Transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- X. Controle social;
- XI. Segurança, qualidade e regularidade;
- XII. Integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

(BRASIL, 2007)

A partir da Lei do Saneamento, percebe-se uma adoção federal pelo sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, devendo os municípios adequarem-se a esta lei. Nota-se também que apenas serão aceitas soluções individuais de afastamento e destinação final dos efluentes sanitários na ausência de redes públicas de saneamento, e ainda desde que obedçam as normas reguladoras e órgãos responsáveis.

CONAMA 430

A resolução CONAMA nº 430 de 2011 complementa e altera a resolução nº 357 de 2005 principalmente no que tange os tópicos de condições e padrões de lançamento de efluentes nos cursos d'água receptores. Conforme consta na CONAMA 430,

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

I – condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) Materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas:
 - 1. óleos minerais: até 20 mg/L;
 - 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) Ausência de materiais flutuantes; e
- 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 auto depuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

A resolução ainda aponta condições e padrões para o lançamento de efluentes após tratamento. Para isso, o efluente deve ter as seguintes características:

- a) pH entre 5 e 9;
- b) Temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) Materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
- e) Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
- f) Ausência de materiais flutuantes.

(MMA, 2011)

Tanto a Política de Saneamento quanto a resolução CONAMA apresentada trazem a questão da gestão do esgotamento sanitário. Assim, é de extrema importância a consideração destas duas normativas para o desenvolvimento de projetos neste contexto. Enquanto a Lei 11.445 aborda o gerenciamento do saneamento, preconizando a integralização dos diversos sistemas e apontando processos indicados para o sistema de coleta e tratamento do esgotamento sanitário, a CONAMA 430 enfoca no lançamento dos efluentes, finalizando o ciclo. Dessa forma, é necessário que todo e qualquer sistema satisfaça às orientações de gerenciamento da Política de Saneamento, bem como aos padrões estipulados pela CONAMA.

4.2. Análise das características e inter-relação dos sistemas de esgotos sanitário e pluvial

Sistema misto X Sistema separador absoluto

Por sistemas de esgotamento sanitário entende-se a existência de dois padrões bem conhecidos: sistema misto (ou unitários) (Figura 1) e sistema separador absoluto (Figura 2). No primeiro, tem-se a mesma rede de coleta para os esgotos sanitário e pluvial, enquanto que, no segundo sistema, existem duas redes independentes para a coleta em separados destes efluentes, seguido pelo tratamento dos efluentes sanitários antes do descarte nos corpos hídricos receptores.

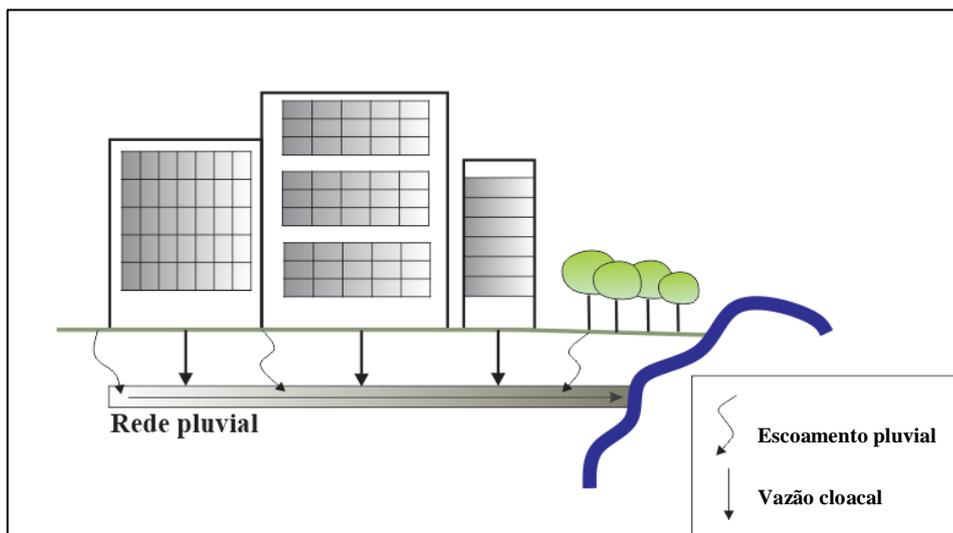


Figura 1: Esquema do sistema unitário.

Fonte: Elaboração do autor.

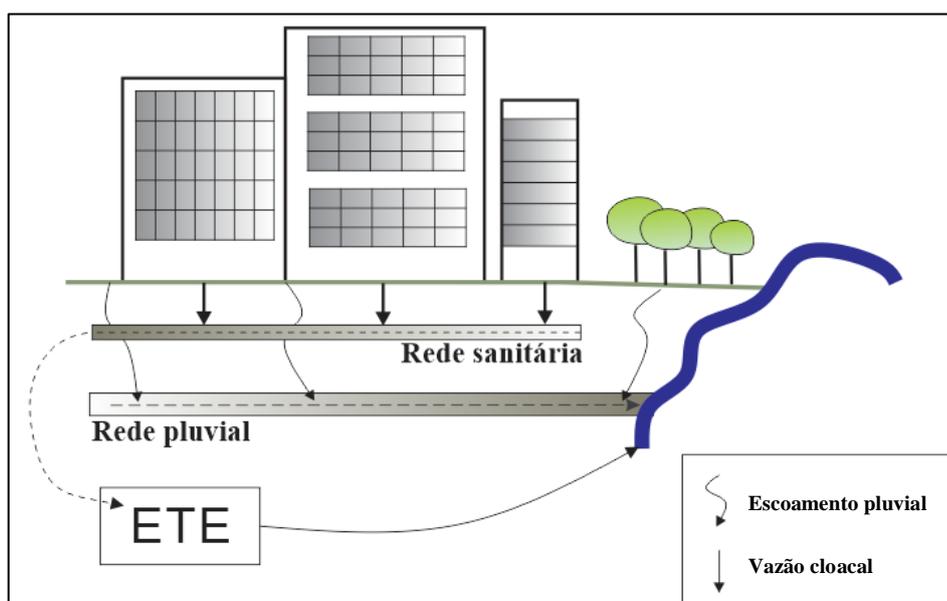


Figura 2: Esquema do sistema separador absoluto.

Fonte: Elaboração do autor.

Assim, é importante ratificar que Porto Alegre, como a maioria das cidades brasileiras, não apresenta reais sistemas mistos de coleta de esgotos, como pode-se imaginar em uma análise inicial, tendo em vista a eventual coleta de efluentes sanitários pela rede pluvial. Segundo ALONSO (2013), sistemas mistos, conforme já mencionado, são constituídos por uma única rede. Nesta rede são coletados tanto esgoto sanitário quanto o pluvial, desde que mantida sob severas condições de controle, contando com sistemas de coleta a tempo seco - sendo toda

vazão de períodos não chuvosos encaminhada para tratamento - e vertedores dimensionados para o extravasamento durante períodos chuvosos.

ALONSO (2013) ainda aponta que, 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. Deste modo, deve-se realizar um estudo hidrológico, determinando os volumes de reservatórios necessários para o acúmulo e tratamento da parcela de efluente que não poderá mais ser destinada diretamente aos corpos hídricos. Na Holanda, por sua vez, é permitido o lançamento destas águas apenas uma vez por ano. Estes exemplos mostram que o controle é um dos componentes fundamentais dos sistemas mistos, além da preocupação com a qualidade das águas dos corpos receptores dos efluentes. O autor ainda complementa que é importante ressaltar que tanto nos Estados Unidos quanto na Holanda não são permitidas novas redes do sistema misto, visto que se tornam, em longo prazo, mais onerosas do que o atual sistema utilizado, de separação absoluta. Deste modo, o que ocorre comumente nas cidades brasileiras são “adaptações” no sistema pluvial para que este se comporte como unitário.

Adaptações das redes coletoras

Concebidas no final do século XIX, as primeiras canalizações de esgoto sanitário de Porto Alegre foram previstas para as ruas Ramiro Barcelos, Protásio Alves, João Alfredo e área central. No entanto, com as sucessivas ampliações e reforços de bombeamento, não foi possível evitar que se construíssem extravasores para a rede pluvial, priorizando sempre o afastamento dos efluentes sanitários da população, utilizando-se das canalizações pluviais, já consolidadas na época. (PDE, 2009)

Em Porto Alegre apesar de adotado o sistema separador absoluto para a coleta dos esgotos sanitários, devido à dinâmica urbana desordenada e fiscalização insuficiente, este sistema funciona como uma rede pseudoseparadora cuja consequência é a alteração dos parâmetros de ambas as redes, de esgoto sanitário e pluvial.

(PDE, 2009).

No mesmo período, no Rio de Janeiro, conforme apresenta D'ALCANTARA *et al* (2005), a região da bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas foi contemplada com diversos investimentos para a adaptação de antigas redes e implantação de sistemas de esgotamento sanitário, os quais não foram totalmente finalizados. Assim, observa-se hoje problemas causados pela falta de continuidade dos investimentos no setor, comprometendo a eficiência do sistema adotado. O aumento da vulnerabilidade também é apontado por DIAS e ROSSO (2011), com a introdução de elementos atípicos do sistema separador absoluto. Muitas ações adotadas para a despoluição dos corpos hídricos podem gradualmente descaracterizar e até desqualificar as vantagens iniciais deste sistema, como é o caso da utilização da rede pluvial como sistema misto de esgotos.

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”*.

Os chamados “sistemas mistos” estão presentes em muitos municípios também em decorrência de conexões irregulares de esgoto sanitário sem tratamento ou, em casos específicos, da contribuição de fossas sépticas sem manutenção, resultando praticamente em ligações diretas do efluente sanitário à rede pluvial. Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (DEP, 2005A), devido à falta de capacidade financeira para ampliação da rede de cloacal, algumas prefeituras têm permitido o uso da rede pluvial para transporte do cloacal.

4.3. Captação de esgoto a tempo seco

As estruturas denominadas captação de tempo seco, esquematizadas pela Figura 3,

[...] 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 e ROSSO, 2011)

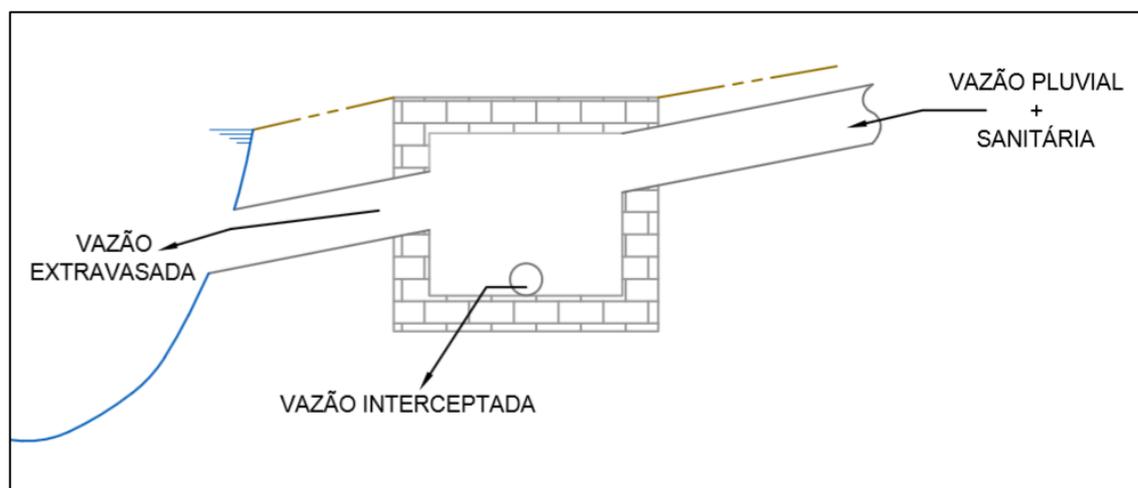


Figura 3: Esquema de interceptação.

Estes elementos assemelham-se aos poços de visita (PV) utilizados nas redes de água e esgoto. Nos períodos sem chuva, agem direcionando os esgotos clandestinos presentes no sistema de drenagem pluvial para o de esgotamento sanitário e posterior tratamento; já em períodos chuvosos, parte do efluente é extravasada para o corpo d'água ou segue pela rede pluvial e parte continua sendo interceptada, de forma mais diluída. O limite entre as vazões

interceptada e extravasada está relacionado à capacidade máxima de desvio, devendo esta ser projetada com base nas características da bacia de contribuição.

A captação a tempo seco pode ainda ser compreendida como um incremento à eficiência do sistema de esgotamento existente. No momento em que se consolida a padronização para separador absoluto, a coleta de tempo seco se torna um complemento ao sistema, visto que, mesmo em regiões dotadas de ambas as redes (pluvial e sanitário), as ligações clandestinas e esgoto não são incomuns, podendo ser compensadas pela a coleta de tempo seco.

A alternativa de utilizar caixas coletoras de tempo seco para viabilizar financeiramente a transição para o sistema separador absoluto é defendida por diversos autores. No artigo de VOLSCHAN (2011), o autor enfatiza que neste modelo *“o sistema de esgotamento sanitário estaria sendo construído gradualmente e em etapas, [...] para posteriormente contar com a rede coletora convencional do sistema separador absoluto”*.

Outro exemplo de aplicação dos coletores a tempo seco ocorreu na recuperação das lagoas Araruama e Saquarema, no Rio de Janeiro. Nesta região o avanço dos serviços de coleta e tratamento de esgoto encontraram grandes dificuldades, principalmente pelas diversas áreas de concentração de habitações precárias e favelas. Segundo RAMOS e JOHNSON (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”*. A adoção pela alternativa de coleta de tempo seco na região possibilitou o tratamento de 60% do esgoto, além dos custos do sistema terem sido reduzidos pela metade.

Entretanto, VOLSCHAN (2011) reforça que os investimentos devem ser prioritários para regiões cujos sistemas de esgotamento sanitário não estejam integralmente implantados; ou seja, áreas com carências ou inexistência de redes básicas coletoras, ligações domiciliares e demais infraestruturas das moradias. Nestes casos, completa o autor,

não faz sentido realizar investimentos para captar vazões em tempo seco em detrimento de investimentos para interligações de domicílios e entre outros elementos de uma dada bacia de esgotamento sanitário.

VOLSCHAN (2011)

Em muitos casos, as captações a tempo seco são apresentadas como a solução para as diversas carências do esgotamento sanitário nas regiões. Na realidade, estas estruturas são uma forma parcial de resolver a problemática do esgotamento sanitário e não podem se tornar uma prática rotineira das companhias de saneamento. Isto por que as atuais redes separadoras absolutas não são projetadas para o acréscimo das contribuições que as captações a tempo seco venham a originar. Em seus estudos D'ALCANTARA *et al* (2005) observou um aumento da extensão da rede sobe pressão em 18% quando da utilização de captação a tempo seco; isto significa que, em períodos chuvosos, ao incluir tais elementos, submete-se as redes coletoras de esgoto sanitário a trabalhar em regime de conduto sob pressão, com lâmina d'água igual a 100% do coletor, enquanto que *“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).

5. Metodologia

Conforme já explicitado nos objetivos deste trabalho, a modelagem proposta servirá como base para a discussão da eficiência da coleta de tempo seco em redes pluviais. Assim, será utilizada uma bacia hidrográfica como unidade de estudo e, considerando que toda a carga sanitária produzida seja coletada pela rede pluvial, será verificada a eficiência do sistema, bem como a variação da carga total lançada para diferentes cenários, os quais serão detalhados no Capítulo 7, dedicado aos resultados.

Uma vez que se discute o comportamento hidrológico de um sistema dependente de drenagem pluvial, faz-se necessário a obtenção da variação de vazões do corpo receptor ou, então, de séries de chuva da localidade de estudo para gerar os correspondentes hidrogramas. Para isto, serão utilizadas Séries Sintéticas de Precipitação combinadas ao tratamento de dados por modelagem matemática. Em seguida, aplica-se o modelo para as características da unidade de estudo delimitada, extraíndo-se a resposta final do estudo proposto.

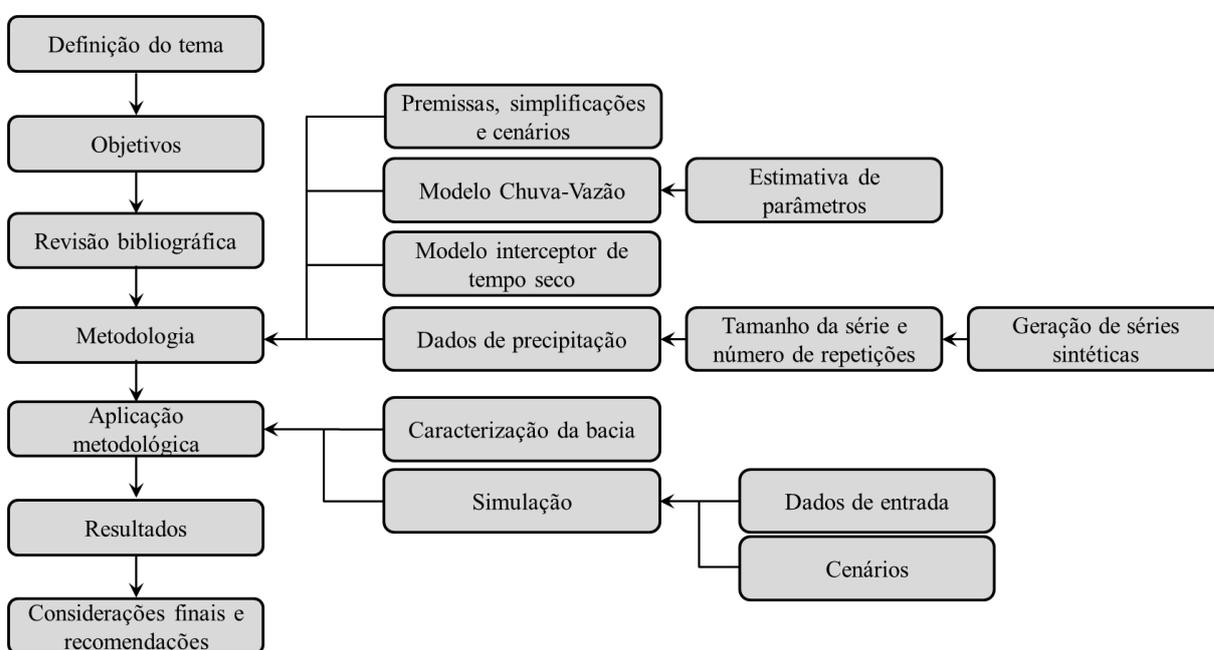


Figura 4: Fluxograma das etapas de estudo.

5.1. Modelo chuva-vazão

Pensando que uma bacia é um sistema o qual transforma chuva em vazão e que esta vazão gerada é o grande interesse dos estudos hidrológicos, a primeira demanda é a escolha do modelo que permitirá estimar a resposta da bacia. A vazão gerada por um evento de chuva é resultado da combinação de dados da própria precipitação com as características da bacia em questão; dependendo destas duas variáveis, seleciona-se o modelo mais adequado para obtenção da resposta. Um dos métodos mais simples e mais utilizados para obtenção do volume de escoamento superficial (e que será utilizado neste estudo) é o método do SCS (*Soil Conservation Service*) o qual considera o fato de que apenas quando o solo estiver saturado será gerado escoamento superficial.

Tendo os dados de entrada de caracterização da bacia, inicialmente procura-se obter a intensidade da chuva gerada pela série histórica, bem como a precipitação acumulada (Pac). Conforme já mencionado, o modelo do SCS tem com objetivo a geração da chuva efetiva (Pef), ou seja, aquela que resulta em escoamento superficial, interessante aos modelos de hidrologia urbana. Desta forma, a partir dos dados reposta hidrológica quanto à permeabilidade do solo (representado pelo parâmetro CN), obtêm-se, então, esta vazão resultante de contribuição. Para isto, o SCS baseia-se em duas equações básicas:

Equação 1

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Equação 2

$$Pef = \frac{(Pac - 0,2S)^2}{Pac + 0,8S}, \text{ quando } Pac > 0,2S$$

$$Pef = 0, \text{ quando } Pac \leq 0,2S$$

Onde

S: capacidade máxima de infiltração [mm]

CN: parâmetro de reposta hidrológica quanto à permeabilidade do solo

Pef: chuva efetiva [mm]

Pac: chuva acumulada [mm]

A chuva acumulada é obtida pela série com a qual se está trabalhando e, com o tempo de duração de cada evento, calcula-se a intensidade correspondente. O tempo de retorno pode ser obtido pela curva IDF, descrita na Equação 3.

Equação 3

$$I = \frac{a \cdot T r^b}{(t + c)^d}$$

Com *a*, *b*, *c* e *d* padronizados para esta localidade e *t* correspondendo à duração considerada do evento de chuva, em minutos.

A resposta da bacia para o impulso unitário de chuva pode ser idealizada por um Hidrograma Unitário (HU). TUCCI (2012) lembra que, em 1957, o *Soil Conservation Service* apresentou um “método para determinação do hidrograma unitário em que o mesmo é considerado um triângulo”, conforme mostra a Figura 5.

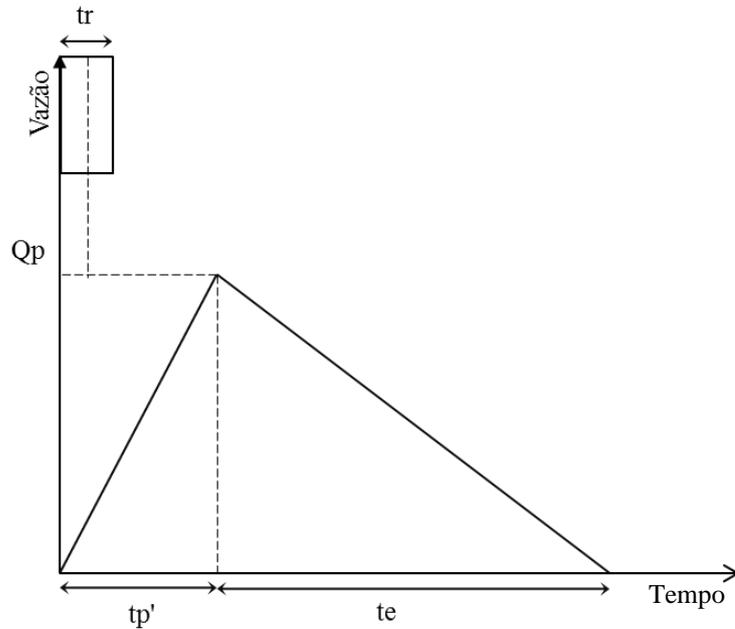


Figura 5: Hidrograma triangular SCS.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo

Equação 4

$$tp' = tr/2 + 0,6tc$$

Equação 5

$$te = 1,67tc'$$

Equação 6

$$Qp = \frac{2,08A}{tp'}$$

Onde

tr: duração da precipitação [horas]

tc: tempo de concentração [horas]

tp': tempo do pico do escoamento [horas]

te: tempo de recessão [horas]

Qp: vazão de pico [m³/s]

A: área da bacia [km²]

Levando em conta a chuva efetiva e a vazão de pico, tem-se o hidrograma de saída da bacia, como resposta ao evento chuvoso. A vazão total resultante pelo escoamento ao longo da duração da série é dada pela convolução dos hidrogramas de resposta para cada intervalo de tempo considerado, conforme exemplifica a Figura 6.

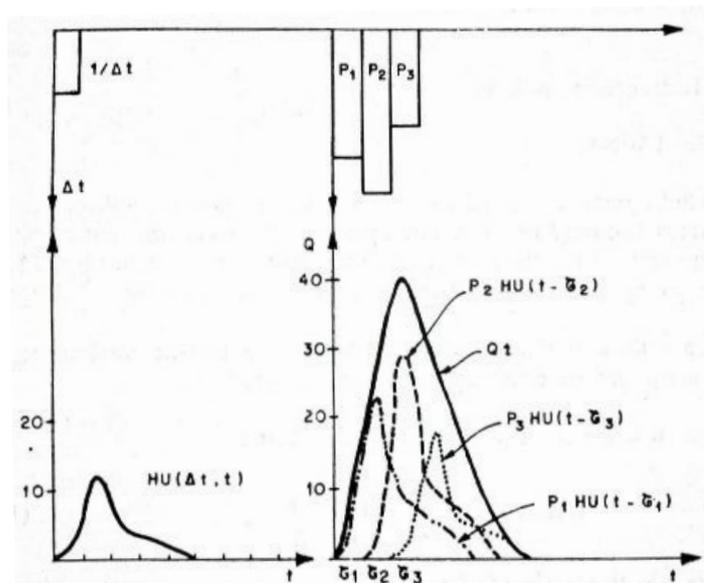


Figura 6: Convolução de HU.

Fonte: TUCCI, 2012.

O hidrograma obtido com a convolução representa a vazão de escoamento final, ou seja, a resposta da bacia para os eventos de chuva no período considerado.

5.2. Modelo interceptor de esgoto sanitário

Com base nos conceitos já apresentados, elaborou-se a modelagem da resposta de uma bacia de acordo com os dados de chuva, seguido do comportamento da mesma quando da interceptação da carga de esgoto gerada. Para isto, faz-se necessário a introdução dos dados de entrada descritos na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1: Caracterização da bacia.

| Característica da bacia | Unidade |
|------------------------------|-----------------|
| Área | km ² |
| CN médio | adimensional |
| Máxima altitude | m |
| Mínima altitude | m |
| Comprimento do rio principal | km |
| Tempo de concentração | min |

Para obtenção do tempo de concentração, utilizou-se a equação de Kirpich (Equação 7).

Equação 7

$$tc = 57 \left(\frac{L^3}{h} \right)^{0,385}$$

Onde

tc: tempo de concentração [min]

L: comprimento do curso d'água principal [km]

h: diferença de altitude do curso principal

Tabela 2: Caracterização dos efluentes gerados.

| Característica para o interceptor | Unidade |
|--|-------------------|
| Vazão de interceptação ¹ | m ³ /s |
| Vazão de esgoto cloacal ² | m ³ /s |
| Concentração de DBO ³ | kg/m ³ |
| Carga de DBO | kg/s |

Pensando nos objetivos iniciais deste estudo, de avaliar a eficiência dos interceptores de esgoto na rede pluvial, é proposta a avaliação da diferença entre a vazão que entra e a que sai do interceptor, considerando-se que toda a carga de efluentes sanitários produzida na bacia será destinada à rede pluvial. Para isto, inicialmente, é necessário a geração da vazão de escoamento, resposta da bacia aos eventos de chuva considerados.

Conforme já mencionado, para a obtenção da vazão de escoamento são necessários os dados de chuva e duração dos eventos. Contudo, em séries históricas de precipitações, os intervalos de tempo muitas vezes não correspondem às durações propriamente dita dos eventos. Isto se deve ao fato de que os dados a que se tem acesso são, na maioria dos casos, diários. Para contornar esta situação, é interessante a utilização de séries sintéticas de precipitação (lâminas e durações), as quais levam em conta as informações da série histórica observada.

Assim, assumindo-se que a modelagem terá com base séries sintéticas de precipitação, têm-se como dados iniciais as lâminas diárias precipitadas e respectivas durações. Para todo evento, inicialmente, calcula-se o tempo de retorno (Tr), utilizando-se a curva IDF já apresentada. Considerando que se deseja obter a resposta da bacia a cada intervalo de tempo (previamente estipulado), retorna-se à curva IDF, com o Tr calculado, para obter as intensidades de chuva para estes intervalos. Novamente, as precipitações são obtidas, agora para o tempo discretizado. Com isso, entra-se no modelo de chuva-vazão proposto, possibilitando a geração do escoamento diário por intervalo de tempo.

Em seguida, soma-se à vazão de escoamento obtida pelo modelo SCS a referente à produção de esgoto, resultando na vazão de entrada. A saída do sistema poderá se dar de duas formas: pelo sistema de interceptação ou por extravasamento (considerando que a segunda somente ocorrerá quando a vazão de entrada for maior do que a de interceptação).

$$Q_{entrada} = Q_{escoamento} + Q_{esgoto}$$

$$Q_{saída} = Q_{interceptação} + Q_{extravasamento}$$

Ao ser instalado um interceptor, este possibilitará que uma fração da vazão total seja desviada e, conseqüentemente, a diminuição da carga total a ser destinada aos corpos d'água. Esta diminuição indicará a eficiência do interceptor.

Para cada intervalo de tempo discretizado a relação entre a vazão total (escoamento superficial + vazão sanitária) e a vazão de interceptação resultará em um índice de vazão extravasada (conforme Figura 7), que, proporcional à carga produzida na bacia, corresponderá ao total de carga lançada naquele intervalo de tempo. A soma destas cargas discretas ao longo dos anos da série compõe o que será chamado de *total lançado* na serie sintética (TL). Cabe lembrar que, com base nos dados de caracterização do efluente sanitário da bacia, é possível obter os valores da carga que seria lançada anualmente nos cursos hídricos, caso não houvesse a coleta deste efluente. Considerando a duração da série utilizada, tem-se o *total que seria lançado* sem a interceptação (TSL).

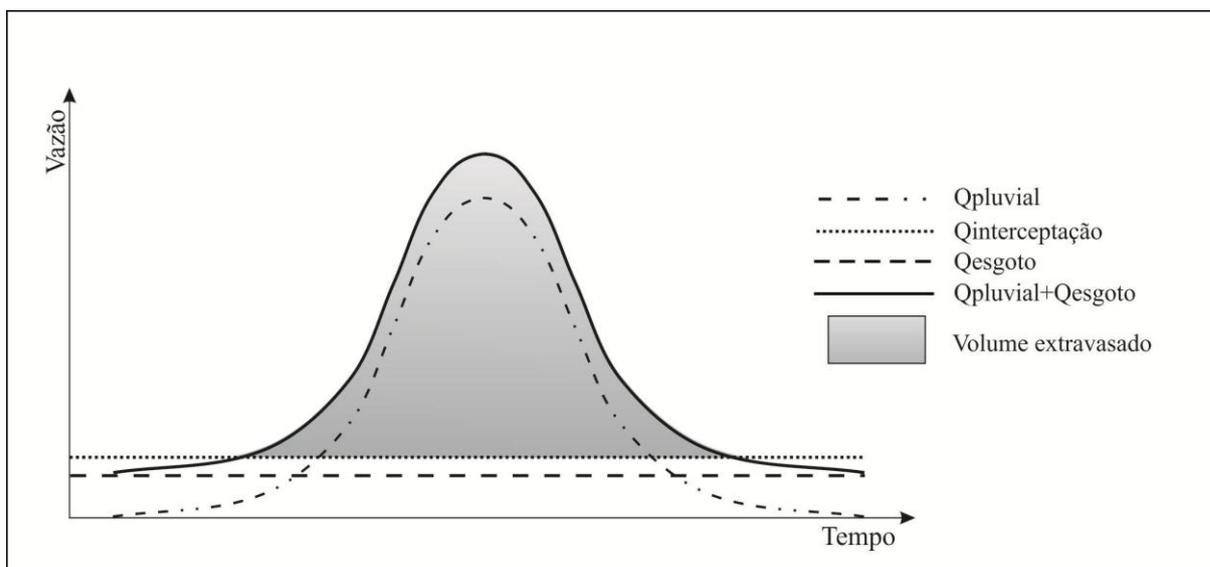


Figura 7: Esquema de vazões do sistema proposto.

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

5.3. Dados de Precipitação

Séries Sintéticas de Precipitação

Quando da inexistência de dados de vazão para estudos hidrológicos, a utilização de séries de precipitação passa a ser a alternativa para a estimativa de hidrogramas. Contudo, independente da fonte de informações, sempre existirão algumas incertezas e falhas nos dados de chuva disponibilizados. Para contornar tais dificuldades, uma alternativa é a utilização de séries sintéticas geradas com base nas séries medidas de precipitação; tal modelagem é “[...] o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios produzidos por algoritmos computacionais, a fim de gerar sequências de números aleatórios que se assemelham aos dados climáticos reais” (WILKS (1999) apud ZANETTI et al (2006)). Conforme DORNELLES (2012), a utilização de séries sintéticas é recomendada, pois se pode obter “[...] uma amostragem artificial mais equivalente à população de dados, onde é possível a ocorrência de situações extremas não contempladas na amostra de dados medidos. Ainda, as séries sintéticas são empregadas com o objetivo de reduzir custos com a aquisição de dados”. Também é possível por este artifício, a ampliação da duração de séries com dados; já que a precisão dos resultados obtidos com o tratamento de dados de chuva aumenta proporcionalmente com o tamanho da série utilizada, quanto maior o número de anos com dados, maior será a confiabilidade destes.

Soma-se a isto, o fato de que, para certos modelos de chuva-vazão, como o SCS, são necessários intervalos de tempo menores e invariáveis, o que pode ser obtido por meio de séries sintéticas. Assim, com a utilização de séries sintéticas, busca-se, por meio das probabilidades de ocorrência de chuva, séries representativas dos dados históricos observados e que sejam o mais correspondentes possíveis às características da região de estudo.

Para a obtenção das séries sintéticas, diversos são os modelos existentes. Em 2003, foi desenvolvido o ClimaBR pela Universidade Federal de Viçosa, programa este que vem sendo utilizado para estudos no país, conforma aponta OLIVEIRA (2003).

ClimaBR

Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizado o Gerador de Séries Sintéticas ClimaBR devido o fácil acesso e manuseio, além da boa representatividade dos dados medidos, conforme aponta OLIVEIRA (2003). Visto que o detalhamento da funcionalidade do gerador não é foco do presente trabalho, serão apresentados, a seguir, apenas os principais artifícios utilizados pelo programa para a geração das precipitações sintéticas.

Segundo OLIVEIRA (2003), na obtenção das precipitações, o ClimaBR baseia-se que “*para cada dia chuvoso, ocorreu um único evento, o qual é estatisticamente equivalente ao efeito combinado das diversas precipitações que, eventualmente, tenham ocorrido neste dia*”. Com base, então, nos dados pluviométricos de uma região, gera-se, dentre outras informações, os valores mensais 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) e a precipitação total diária (P).

Inicialmente, para a definição de ocorrência ou não de precipitação em um dia, gera-se, para toda a extensão escolhida da série, um conjunto de dados aleatórios, variando de 0 a 1 para cada dia da série. Com isso, calcula-se as probabilidades através da Cadeia de Markov de 1ª ordem, conforme as equações que seguem.

Equação 8

$$P(C/S) = \frac{NCS}{NS}$$

Equação 9

$$P(C/C) = \frac{NCC}{NC}$$

Em que:

$P(C/S)$: probabilidade, obtida para cada mês, de um dia ser chuvoso, tendo sido o anterior seco.

NCS: número de dias chuvosos do mês tendo sido o anterior seco.

NS: número de dias secos no mês.

$P(C/C)$: probabilidade, obtida para cada mês, de um dia ser chuvoso tendo sido o anterior também chuvoso.

NCC: número de dias chuvosos do mês, tendo sido o anterior chuvoso.

NC: número de dias chuvosos no mês.

A probabilidade final de ocorrência de um dia chuvoso é então calculada pela Equação 10.

Equação 10

$$P(C) = \frac{NC}{NDM}$$

Em que NDM é o número de dias do mês.

A precipitação total para os dias chuvosos é estimada a partir da distribuição Person tipo II, na qual os parâmetros de média, desvio padrão e coeficiente de assimetria são gerados a partir dos valores médios mensais da série histórica. A precipitação total diária é calculada pela Equação 11.

Equação 11

$$P = \mu + \frac{2s}{g} \left(\left(\frac{g}{6} \left(x' - \frac{g}{6} \right) + 1 \right)^3 - 1 \right)$$

Onde:

P: precipitação total diária [mm]

μ : média mensal da precipitação total diária [mm]

s: desvio padrão da precipitação total diária [mm]

g: coeficiente de assimetria precipitação total diária [adimensional]

x': variável normal padrão [adimensional]

Após a obtenção da precipitação, ainda é feita uma correção das médias mensais e dos desvios padrões, a fim de reduzir as diferenças entre os valores gerados e os observados. A correção da média é calculada pela Equação 12 e do desvio padrão, pela Equação 13.

Equação 12

$$P_c = \frac{\mu}{\mu_c} P$$

Onde:

P_c: precipitação total diária com média corrigida [mm]

μ_c: média mensal da precipitação total diária calculada [mm]

Equação 13

$$P = (P_c - \mu) \frac{s}{s_c} + \mu$$

Onde:

s_c: desvio padrão da precipitação total diária calculada a partir da série sintética.

Para exemplificar a proximidade dos dados gerados pelo ClimaBR e os observados, é apresentada a Figura 8, na qual compara-se os resultados observados na região da estação pluviométrica de Santa Cecília (RS) aos modelos ClimaBR e o Cligen. Enquanto o modelo ClimaBR exige apenas a inserção de dados de precipitação, o modelo Cligen demanda um maior número de dados de entrada.

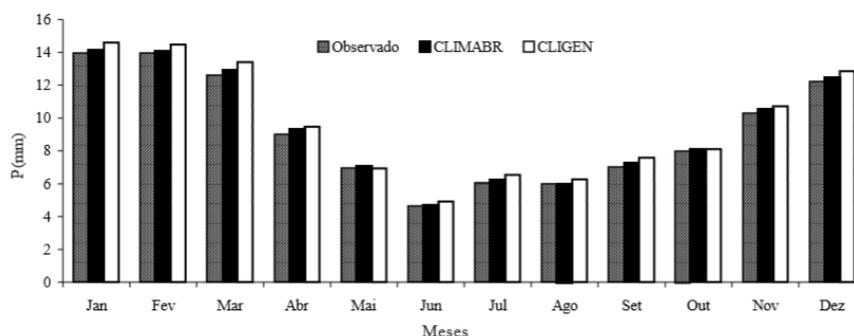


Figura 8: Comparativo entre os dados reais e os obtidos por séries sintéticas.

Fonte: OLIVEIRA, 2003.

Além das lâminas precipitadas, o modelo estima as durações das chuvas por:

Equação 14

$$D = -\frac{\Delta}{2\ln(1 - \alpha_{0,5})}$$

Sendo:

D: duração do evento de chuva [h]

$\alpha_{0,5}$: razão entre a precipitação máxima ocorrida em 30 minutos e a precipitação total diária [adimensional]

Δ : parâmetro que expressa a relação entre os valores diários de intensidade máxima instantânea de precipitação e de intensidade média [adimensional]

6. Aplicação Metodológica

6.1. Situação da área em estudo

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 algumas regiões, 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 que geralmente está presente. Há também 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 para poços de visita quanto para desviar o esgoto cloacal para as corretas canalizações à jusante. Garante-se, deste modo, que ao menos um percentual do efluente, oriundo das baixas vazões, seja destinado ao tratamento. Este caso assemelha-se com o que RAMOS e JOHNSON (s/d) identificaram nos aglomerados urbanos do Rio de Janeiro.

Porto Alegre também apresenta situações semelhantes ao que pregam VOLSCHAN (2011) e PINTO e CAVASSOLA (2011) acerca *da transição para sistema separador absoluto pela instalação de alguns equipamentos na rede pluvial, dentre eles, as caixas de tempo seco*. Pensando nessa problemática, foi iniciado, na década de 90, um projeto para recuperar as águas do Balneário de Ipanema, em Porto Alegre. O programa Saneamento da Praia de Ipanema (DMAE, 1998) buscou soluções para uma melhor transição ao sistema separador absoluto de coleta de esgotos. Para isso, começaram a ser implementadas redes coletoras tipo separador absoluto, estações de bombeamento e tratamento e adaptação de interceptores. Com um sistema de maior controle, foi possível, segundo o programa, inicialmente, a ligação dos principais contribuintes de cargas poluidoras a interceptores, proporcionando, para vazões

menores e de tempo seco, o desvio dos respectivos volumes de esgoto ao correto tratamento, o que antes era inexistente. Já em épocas de cheias ou chuvas intensas, os efluentes eram lançados diretamente nas águas de Ipanema. Ainda que em determinados momentos o encaminhamento do esgoto ao tratamento não fosse total, foi possível adaptar o antigo sistema para moldes mais próximos aos ideais do 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.

No caso da praia de Ipanema, foram identificados quatro arroios e outras redes pluviais que estariam contribuindo para a má qualidade das águas. Por o Arroio Capivara ser o com maior vazão de contribuição e com concentrações médias de coliformes fecais na ordem de 10^6 org/100mL, este foi identificado como a carga mais significativa de poluição.

Caracterização da Bacia Hidrográfica do Arroio Capivara

Visto que os objetivos do presente estudo não englobam a produção de dados referente às características da região de estudo, a utilização da bacia hidrográfica do Arroio Capivara como unidade de análise torna-se uma boa alternativa, devido ao fato desta localidade já ter sido objeto de diversas intervenções da prefeitura municipal, e, assim, ter suas características já bem conhecidas. As informações de área, parâmetro CN, altitudes e comprimento do rio principal foram obtidas pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Capivara, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (IPH) em 2005 para o Departamento Municipal de Esgotos Pluviais (DEP, 2005B).

Segundo o Plano Diretor, 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 corre 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, como se pode observar na Figura 9, encontra-se parcialmente urbanizada. Estudos na região apontam que o parâmetro CN 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.

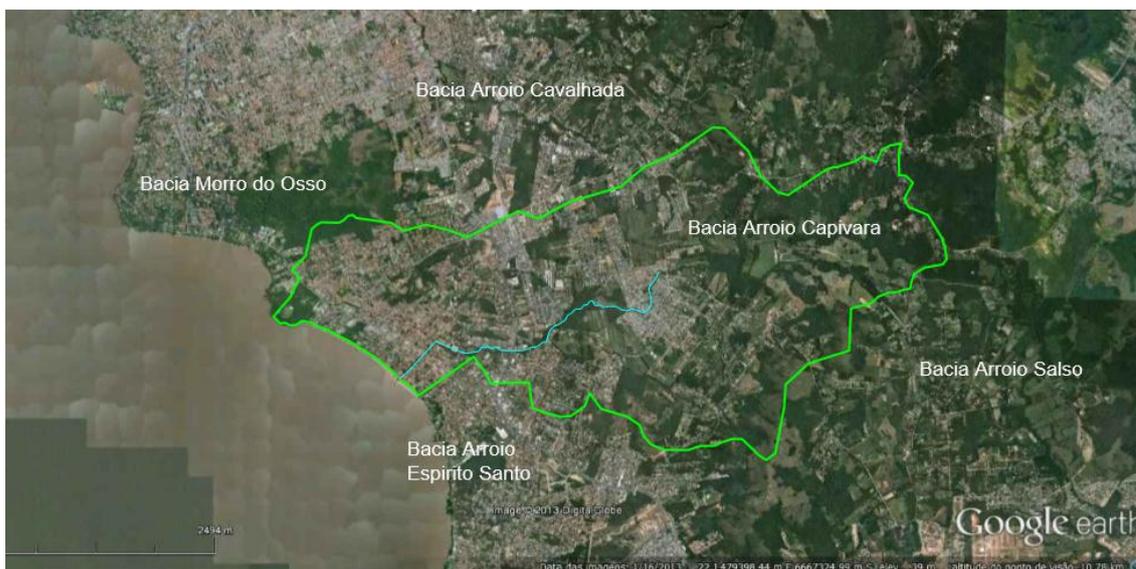


Figura 9: Localização da bacia do Arroio Capivara e demais bacias da região.

Fonte: Adaptação do DEP (2005B) e Google Earth (2013).

O Arroio Capivara encontra-se já bastante canalizado, resultado da crescente urbanização da região. Sua foz está localizada entre as ruas Gávea e das Laranjeiras. Anterior às intervenções de esgotamento sanitário do Balneário Ipanema, foi instalado, junto à foz, uma espécie de interceptor (destacado na Figura 10) o qual supõe-se que desviaria parcialmente as águas do córrego justamente para diminuição da carga poluente lançada. Entretanto, não foi possível obter maiores informações acerca deste componente.



Figura 10: Localização da foz do Arroio Capivara.

Fonte: Adaptação de Google Earth (2013).

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 0,3m. Com isso, o tempo de concentração, conforme a equação de Kirpich (Equação 7), é de 50,73 min.

A bacia é dividida em 20 sub-bacias (Figura 11) e, a partir das características de cada uma e parâmetros de projeto da Prefeitura Porto Alegre, obtém-se aos valores de caracterização dos efluentes sanitários na bacia indicados na Tabela 3.

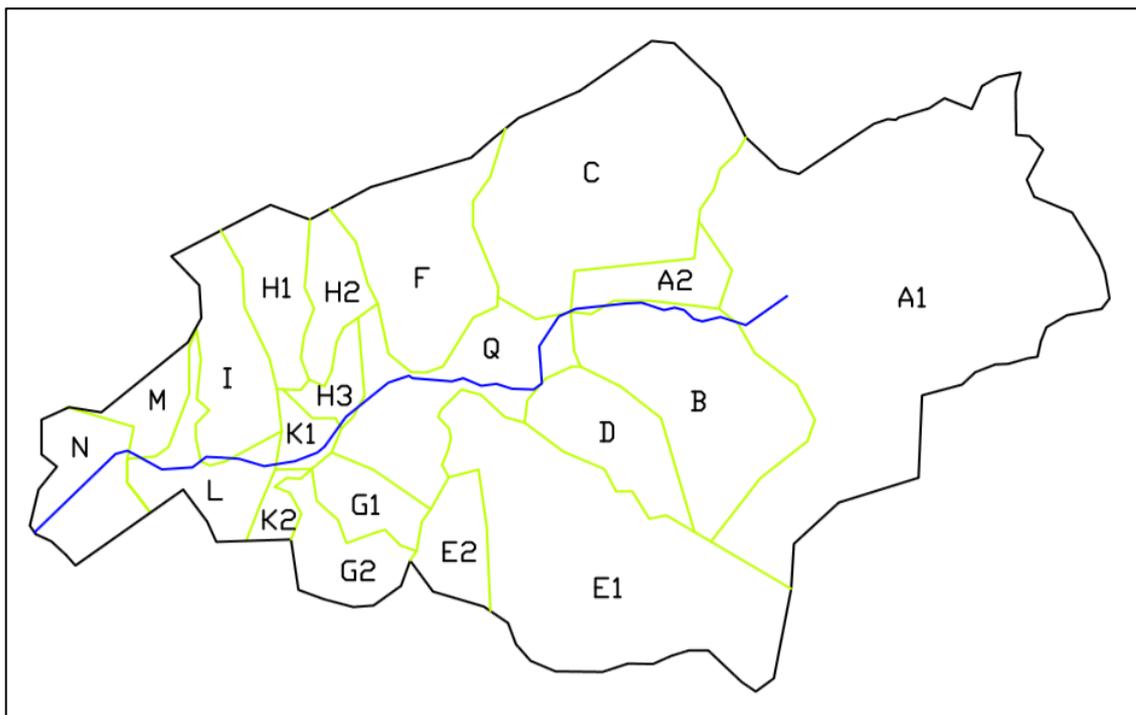


Figura 11: Divisão das sub-bacias de contribuição da bacia do Arroio Capivara.

Fonte: Adaptado de DEP (2005B).

Tabela 3: Características do efluente sanitário na bacia do Arroio Capivara.

| População | Consumo de água (l/hab.dia) | Coefficiente de retorno | Vazão esgoto (m ³ /dia) | Concentração DBO no efluente (mg/l) |
|-----------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 21.167 | 200 | 0,8 | 3.387 | 300 |

Fonte: DEP, 2005B.

6.2. Simulação

Para fins de simplificação, considerou-se a interceptação ao longo do Arroio Capivara (Figura 12), 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, pode-se adotar interceptores menores para cada sub-bacia, por exemplo, somando-se a resposta de cada uma para obter-se o total.

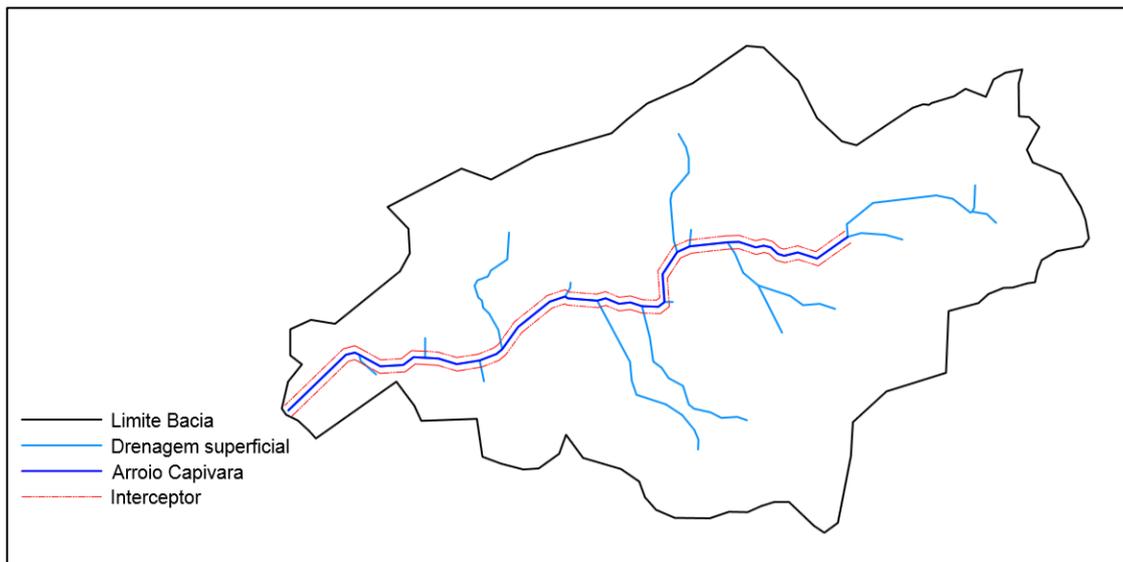


Figura 12: Esquema do interceptor ao longo do Arroio Capivara.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Exposta a área de estudo e o funcionamento do modelo e sistema escolhidos para ser utilizado neste trabalho, apresenta-se, a seguir, a base de dados de chuva selecionada. Na entrada de dados do modelo ClimaBR, existe a possibilidade da 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 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, ficando escolhida, deste modo, a estação de Barra do Ribeiro, por ser a estação disponível mais próxima da região de estudo. Na Figura 13 estão identificadas as estações pluviais cadastradas na ANA, com destaque para a estação escolhida.



Figura 13: Localização das estações pluviométricas próximas a Porto Alegre.

Fonte: ANA (Hidroweb), 2013.

A figura Figura 14 apresenta o *layout* do programa, bem como a janela para inserção da estação escolhida.

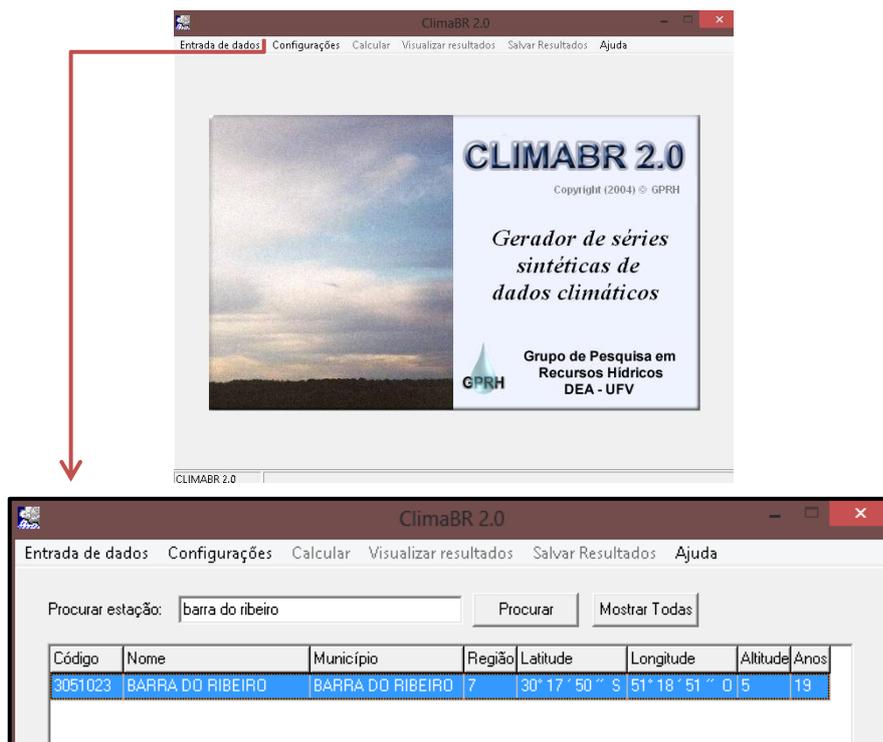


Figura 14: Layout do programa utilizado.

Após a inserção, no modelo proposto, da série sintética gerada, entra-se com os dados de caracterização da bacia do 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 e o hidrograma unitário para cada intervalo de tempo e, através da convolução, a vazão total diária de escoamento para a bacia do Capivara.

Adicionando às vazões diárias de escoamento a vazão de esgoto produzida na bacia, de 0,0392 m³/s, obtém-se a vazão total que chega às canalizações pluviais por dia. A relação entre esta vazão e a vazão de interceptação, resultará na parcela de vazão não interceptada (F) a cada dia.

Equação 15

$$F = \frac{Q_{plu} + Q_{esg} - Q_i}{Q_{plu} + Q_{esg}}$$

Sendo:

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

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 , conforme a Equação 16.

Equação 16

$$TL = TSL \times F$$

Onde:

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

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

7. Apresentação e Análise dos Resultados

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

Foram escolhidos os seguintes dados para análise:

- Numero de dias chuvosos (NC)
- Número de extravasamentos (NE)
- 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 homogeneidade dos resultados, foram utilizadas cem séries sintéticas de chuva para 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 anos de duração cada, extraídas de diferentes intervalos de uma série de 500 anos. Propôs-se a análise das respostas quando da variação da vazão de interceptação 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 numero de extravasamentos do interceptor.

Para 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. A variante vazão de interceptação (Q_i) representará a resposta do modelo de acordo com o percentual de remoção que se deseja ter e depende da rede de apoio ao sistema; ou seja, a variação da carga final lançada está sujeita à capacidade da rede coletora em receber a vazão interceptada. Outro fator limitante são as características da Estação de Tratamento de Esgotos na região. Posto que a intensão 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. Já a variação do CN foi ponderada para levar em consideração, neste modelo, o crescimento urbano da região, visto que atualmente a bacia de estudo não encontra-se totalmente urbanizada. Para isto, foram utilizadas as projeções apresentadas no Plano de Drenagem Urbana da bacia do Capivara que, entre outras considerações, avalia o aumento da área impermeável na bacia, previsto pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (PDDUA), representado na Tabela 4.

Tabela 4: Características de cobertura do solo das sub-bacias.

| Sub-Bacia | Área (km ²) | Atual | | Futuro | |
|-----------|-------------------------|--------------------|----|--------------------|----|
| | | % área impermeável | CN | % área impermeável | CN |
| A1 | 2,95 | - | 72 | - | 72 |
| A2 | 0,24 | 7,68 | 76 | 38,2 | 83 |
| B | 0,76 | - | 84 | 55,3 | 87 |
| C | 1,26 | 17,37 | 78 | 39,9 | 84 |
| D | 0,33 | - | 83 | 47,6 | 86 |
| E1 | 1,42 | - | 83 | 55,3 | 87 |
| E2 | 0,21 | - | 83 | 55,3 | 87 |
| F | 1,26 | 17,74 | 78 | 55,6 | 88 |
| G1 | 0,18 | - | 84 | 56,4 | 88 |
| G2 | 0,23 | - | 83 | 56,9 | 88 |
| H1 | 0,3 | 19,12 | 79 | 56,4 | 88 |
| H2 | 0,17 | 19,12 | 79 | 56,4 | 88 |
| H3 | 0,08 | 25,61 | 80 | 57,5 | 88 |
| I | 0,4 | 19,21 | 79 | 55,3 | 87 |
| K1 | 0,09 | 5,56 | 75 | 57,5 | 88 |
| K2 | 0,08 | 1,7 | 74 | 57,5 | 88 |
| L | 0,27 | 16,14 | 78 | 55,3 | 87 |
| M | 0,16 | 15,27 | 78 | 55,3 | 87 |
| N | 0,31 | 12,26 | 77 | 55,3 | 87 |
| Q | 0,64 | 6,41 | 75 | 56 | 88 |

Fonte: DEP, 2005B.

Os quatro cenários escolhidos, então, são propostos para vazão de interceptação de 0,05 m³/s e 0,1 m³/s e para CN de 77,7 e 82,9 (média ponderada dos valores das sub-bacias).

Tabela 5: Características dos quatro cenários propostos.

| | Cenário Atual 1 | Cenário Atual 2 | Cenário Futuro 1 | Cenário Futuro 2 |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| Qi (m³/s) | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,1 |
| CN | 77,7 | 77,7 | 82,9 | 82,9 |

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}), de 0,0392 m³/s. 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. Analogamente são as características para os demais cenários, com a consideração da ocupação urbana futura. Neste estudo, no entanto, não foi considerado o aumento da vazão de esgoto que venha a ocorrer com o crescimento da população.

Os resultados obtidos dividem-se em duas classificações: os relacionados à análise das séries sintéticas e os de comportamento do sistema de coleta de tempo seco propriamente dito.

7.1. Resultados da geração de série sintética de precipitação

Conforme já exposto, o gerador de série produz novas séries de precipitação com base nas probabilidades de dias chuvosos ou não da série de precipitação medida. Os intervalos de séries de 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 anos foram extraídos de uma série inicial de 500 anos; a Figura 15 apresenta as precipitações desta série. A Tabela 6 e Figura 16 indicam as médias diárias dos dias chuvosos em cada mês de precipitação tanto da série histórica quanto da criada pelo ClimaBR. Pode-se observar que as médias da série sintética de 500 anos se assemelham bastante às observadas no posto pluviométrico Barra do Ribeiro, com 19 anos de medições.

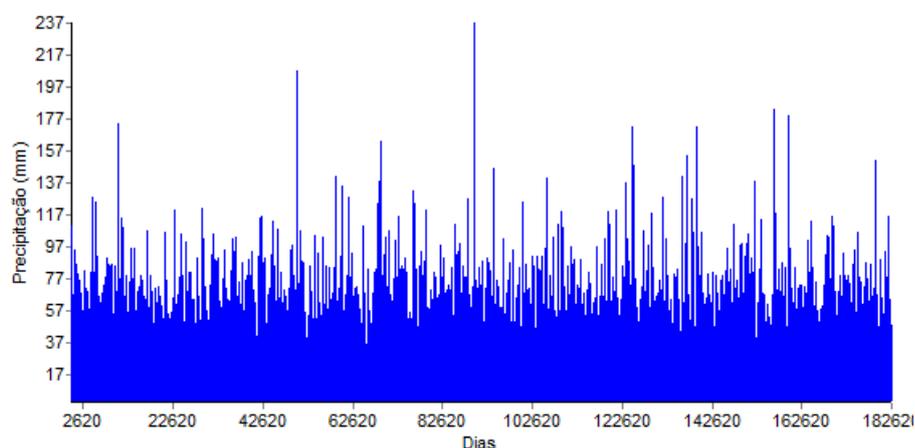


Figura 15: Precipitações diárias para a série sintética de 500 anos de duração.

Tabela 6: Média das precipitações dos dias chuvosos (mm).

| | Observado | ClimaBR |
|-----------|-----------|---------|
| Janeiro | 13,66 | 13,67 |
| Fevereiro | 12,68 | 12,68 |

| | Observado | ClimaBR |
|-----------------|-----------|---------|
| Março | 13,75 | 13,75 |
| Abril | 15,64 | 15,72 |
| Mai | 16,48 | 16,48 |
| Junho | 19,04 | 19,13 |
| Julho | 15,92 | 15,94 |
| Agosto | 17,68 | 17,75 |
| Setembro | 15,01 | 15,01 |
| Outubro | 16,95 | 16,96 |
| Novembro | 13,14 | 13,14 |
| Dezembro | 16,84 | 16,84 |

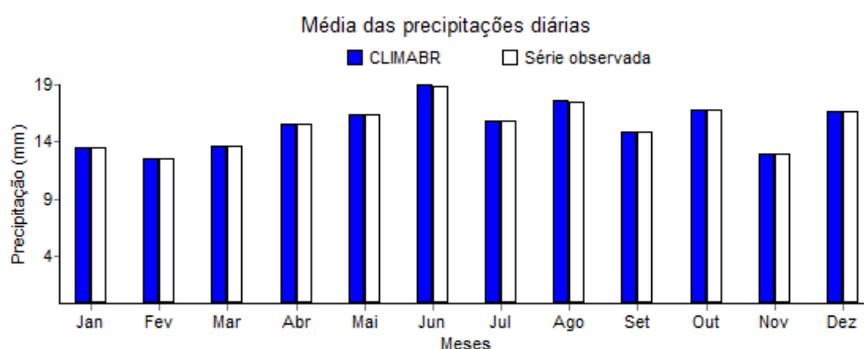


Figura 16: Comparativo entre o ClimaBR e a série observada.

Para cada intervalo de séries, 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 correto destino. 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.

7.2. Resultados para o sistema de interceptação de esgotos

O PDDU da Bacia do Arroio Capivara apresenta a caracterização do efluente sanitário produzido na região com vazão de 0,0392 m³/s e concentração de DBO em 300mg/l. Com isso, considerando a não captação e lançamento dos efluentes diretamente na rede pluvial, chega-se a uma carga total de DBO lançada anualmente no Arroio Capivara (TSL) de 371.120,36 kg.

O TSL, ao ser comparado com o total lançado com a interceptação (TL), 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. O modelo, então, computa também o acréscimo de remoção que existirá mesmo em períodos de chuva, uma vez que o interceptor continuará funcionando. 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 (NE).

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 este período. Na **Figura 17** e **Figura 18**, 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; 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 carga média lançada anualmente para a série de 30 anos é de 57.227,22 kg DBO/ano. Isso representa uma diminuição de 84,58% do TSL.

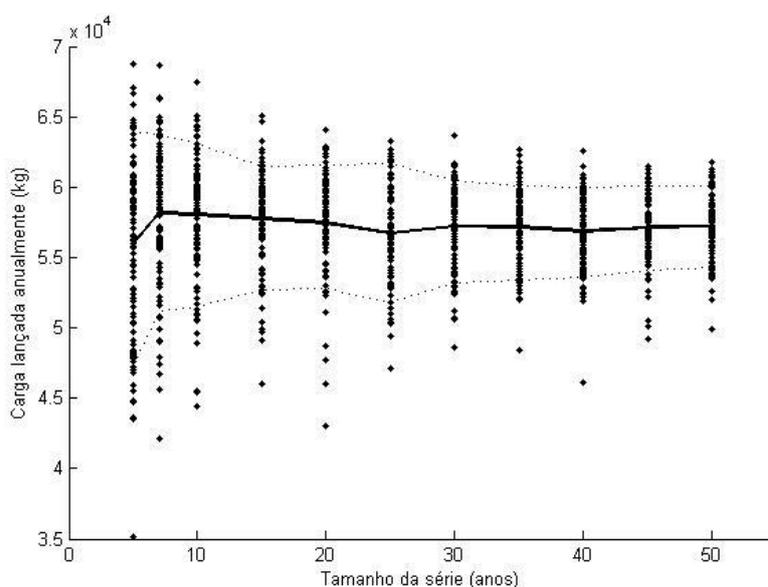


Figura 17: Carga lançada para o cenário atual 1.

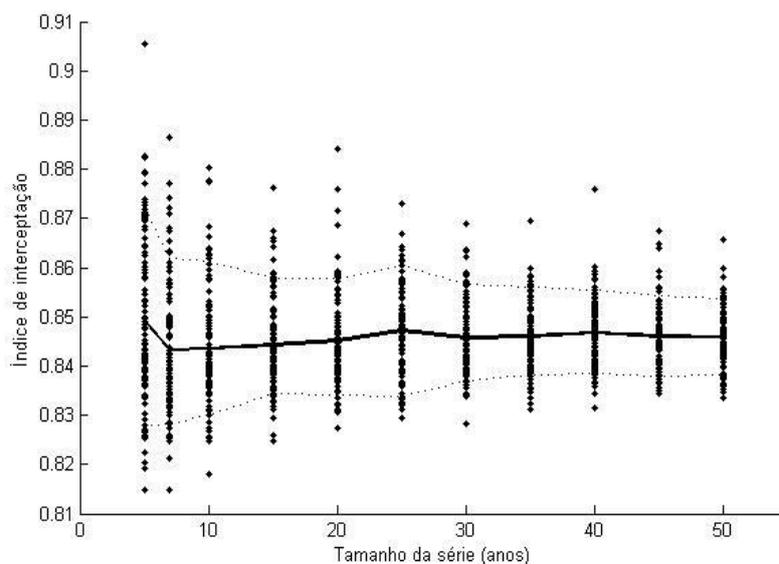


Figura 18: Índice de interceptação da carga de DBO para o cenário atual 1.

Da mesma maneira, foram obtidos os resultados para os demais cenários. A Tabela 7 apresenta o resumo dos resultados obtidos e a **Figura 19**, o comparativo das cargas finais lançadas para cada cenário.

Tabela 7: Quadro resumo dos resultados.

| | Cenário Atual 1 | Cenário Atual 2 | Cenário Futuro 1 | Cenário Futuro 2 |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| TSL (kgDBO/ano) | 371.130,53 | | | |
| TL (kgDBO/ano) | 57.227,22 | 49.378,45 | 64.287,96 | 57.106,32 |
| Diminuição da carga final lançada | 84,58% | 86,70% | 82,68% | 84,61% |

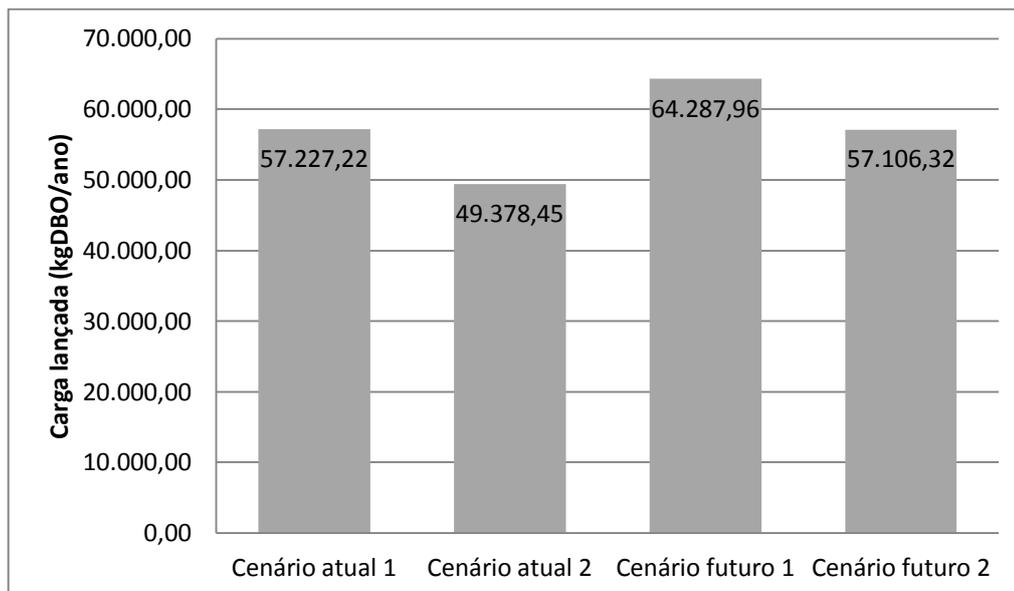


Figura 19: Total lançado para cada cenário.

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 7.848,76 kg DBO por ano, representando um aumento na eficiência de interceptação de 2,11%, enquanto que, para os cenários futuros, este aumento é de 1,94%. 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 m³/s, nota-se o acréscimo de 7.060,74 kg DBO lançada por ano, enquanto que, para a vazão de 0,1 m³/s, este aumento seria de 7.727,87 kg DBO/ano. Pelo último resultado nota-se um incremento maior da carga lançada em comparação ao mesmo período com vazão de interceptação menor; isto pode ser explicado novamente pela relação entre o volume escoado e o número de extravasamentos do sistema, podendo este ter sido mais expressivo neste caso.

Comparativo à CONAMA 430

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 obedçam 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.

(MMA, 2011)

Ponderando que todas as ligações de esgoto sanitário estariam ligadas às redes pluviais, caso não houvesse intervenção, 100% do efluente seria destinados aos cursos d'água receptores deste sistema. Contudo, com a instalação do sistema de coleta de tempo seco, o desvio do efluente sanitário presente 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. Contudo, este resultado é apenas um indicativo de que o índice de eficiência do sistema pode ser considerado bastante significativo. Sabe-se da necessidade de que demais parâmetros devam ser avaliados para uma análise mais segura.

8. Conclusão e recomendações

O esgotamento sanitário ainda é uma problemática presente em diversos municípios, não sendo diferente para a capital do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Dentre as diversas alternativas para solucionar esta questão, está a coleta de tempo seco, que consiste na interceptação de parte do volume escoado pelo sistema pluvial, no qual se encontram grandes cargas de poluentes oriundas dos efluentes sanitários ainda coletados por estas redes. Atualmente, existem vários estudos acerca da eficiência da coleta de tempo seco; contudo, em sua maioria, a eficácia do sistema é avaliada após a sua instalação, mediante comparativo da qualidade da água dos corpos receptores. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo prever esta alteração da carga total lançada por meio de modelagem matemática, estimando o possível comportamento do sistema de interceptação proposto, de acordo com os dados pluviométricos e características da região de estudo.

Obeve-se, portanto, uma estimativa do possível comportamento de um sistema de coleta de tempo seco para a região da bacia hidrográfica do Arroio Capivara, para um horizonte de 30 anos. Com base nos modelos considerados mais adequados para este caso, entendeu-se a necessidade da utilização de séries sintéticas de precipitação, as quais facilitaram a análise da situação. Considerando os dados de chuva e de caracterização da bacia e do efluente sanitário produzido, desenvolveu-se uma modelagem que buscasse alcançar os objetivos propostos. De posse dos resultados, concluiu-se que o sistema, para os diferentes cenários, apresentou um índice de remoção de carga orgânica em torno de 85% quando comparado ao total lançado no corpo receptor sem a instalação da coleta de tempo seco.

Este índice apresenta que, ao inserir o sistema proposto na bacia, seja possibilitado o desvio de 85% da carga orgânica total produzida para tratamento adequado. Assim, apenas 25% estaria sendo destinado diretamente aos corpos receptores. Comparando-se com os índices de

60% de remoção que indica a CONAMA 420, percebe-se que o modelo proposto adequa-se às orientações de lançamento direto – sem tratamento – da carga de DBO. Contudo, é importante ressaltar a importância de um sistema de tratamento posterior eficiente, visando a remoção final concreta de DBO. Tais resultados podem embasar as decisões pela utilização da coleta de tempo seco para desvio de efluentes sanitários ainda presentes no sistema pluvial. Contudo, sabe-se das limitações operacionais deste sistema, o qual exige um nível alto de manutenção para que não haja assoreamento das caixas de tempo seco, afetando a sua eficiência.

O modelo proposto também apresenta suas limitações, tendo em vista os dados secundários utilizados. Algumas simplificações do método SCS-HUT, escolhido para transformação chuva-vazão, geram incertezas nos resultados, visto que não representam exatamente o comportamento real do escoamento, além de não considerarem as vazões subterrâneas e de interceptação vegetal. As séries sintéticas, apesar de usualmente utilizadas, também são uma aproximação do comportamento real de chuvas, contribuindo, assim, para um acréscimo de incertezas, além das dificuldades encontradas neste estudo em utilizar séries históricas de postos pluviométricos mais próximos à área de estudo. A fim de evitar ou diminuir estes problemas, recomenda-se a adaptação do modelo às variáveis de infiltração, interceptação pela vegetação e armazenamento de água e também a utilização de séries locais de chuva ou, ainda, diretamente de vazões, preferencialmente com intervalos de tempo da ordem de 10 minutos. Para estudo futuros, sugere-se também a avaliação da influência do aumento da vazão cloacal ocasionada pelo aumento populacional na região.

9. Referências

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

ANA - Agência Nacional de Águas. Hidroweb - Sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9.649. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, 1986.

BECK, M. Governo libera verba para despoluir Arroio Capivara, em Porto Alegre. *Jornal Zero Hora*. Porto Alegre, 4 de novembro de 2013. Disponível em: <http://zerohora.clicrbs.com.br/rs/geral/noticia/2013/11/governo-libera-verba-para-despoluir-arroio-capivara-em-porto-alegre-4322212.html>. Acesso em: 4 de novembro de 2013.

BRASIL. Lei nº 11.445. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, Brasília, 2007.

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. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MG, setembro 2005.

DEP – Departamento de Esgotos Pluviais. Plano Diretor de Drenagem Urbana. Porto Alegre, 2005A.

_____. 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, dezembro 2011.

DMAE. Departamento Municipal de Água e Esgoto. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/>>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

_____. Plano Diretor de Esgotos (PDE). Porto Alegre. 2009.

_____. 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. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 430. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, 2011.

OLIVEIRA, V. D. P. Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação. 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, julho 2011.

PMPA - Prefeitura Municipal de Porto Alegre. 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).

TUCCI, C. E. M. Hidrologia - Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, v. 4, 2012.

VOLSCHAN JR, I. Vulnerabilidades dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário da região metropolitana do Rio de Janeiro frente às mudanças climáticas. XII Simpósio Nacional de Geografia Urbana, 2011. Disponível em: <<http://xiisimpurb2011.com.br/app/web/arq/trabalhos/6eeec8aab186d5e0141a0de335378b6.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], 2006. 96-102.