

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

RICARDO CESAR CONRADO DE SOUZA

**MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO EFICIENTE DE  
RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS PARA A CIDADE  
DE CURITIBA-PR**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA  
2018

RICARDO CESAR CONRADO DE SOUZA

**MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO EFICIENTE DE  
RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS PARA A CIDADE  
DE CURITIBA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Meio Ambiente. Linha de Pesquisa: Saneamento e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Bentes Freire  
Coorientador: Prof. Dr. Michael Mannich

CURITIBA

2018

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

---

S729md Souza, Ricardo Cesar Conrado  
2018 Método para dimensionamento eficiente de reservatórios de contenção de cheias para a cidade de Curitiba-PR / Ricardo Cesar Conrado de Souza.-- 2018.  
107 p.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.  
Texto em português com resumo em inglês.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2018.

1. Drenagem urbana. 2. Impermeabilização. 3. Reservatórios. 4. Chuvas. 5. Vazões de contribuição. 6. Saneamento. 7. Recursos hídricos. 8. Engenharia civil - Dissertações. I. Freire, Flávio Bentes, orient. II. Männich, Michael, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

## TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 143

A Dissertação de Mestrado intitulada MÉTODO PARA DIMENSIONAMENTO EFICIENTE DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS PARA A CIDADE DE CURITIBA-PR, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Ricardo Cesar Conrado De Souza**, no dia 09 de março de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Flavio Bentes Freire - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). André Luiz Tonso Fabiani – UFPR

Prof(a). Dr(a). Fernando Oliveira de Andrade - UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 09 de março de 2018.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

## RESUMO

SOUZA, Ricardo C. C. de. **Método para dimensionamento eficiente de reservatórios de contenção de cheias para a cidade de Curitiba-PR.** 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Os impactos causados por precipitações em áreas urbanas indicam a necessidade da abordagem de medidas para gerenciamento da drenagem urbana, de modo a evitar prejuízos originados dos escoamentos superficiais, como as inundações. A drenagem urbana brasileira é considerada defasada, visto que o conceito da canalização prevalece sobre a reservação e a infiltração, priorizando o rápido escoamento ao invés do descarte controlado dos volumes reservados. A cidade de Curitiba-PR conta com o Decreto Municipal Número 176/2007, responsável pelos critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias. Porém, as diretrizes de projeto estabelecidas não garantem eficiência mínima para os reservatórios de contenção, visto que a mesma pode variar em função da sua área de base, lâmina de água e diâmetro do orifício regulador de vazão. Nesta pesquisa é proposto um método de dimensionamento, estabelecendo critérios que relacionam as áreas impermeabilizadas dos lotes aos parâmetros de dimensionamento dos reservatórios, garantindo a função desta medida de controle. Considerando que os reservatórios devem proporcionar à dada área impermeabilizada retornar à sua condição de pré-urbanização em termos de vazões de contribuição, estima-se o valor necessário para a redução de vazão de pico em 70,24%, obtido da relação entre os coeficientes de escoamento superficial em ambas as condições de impermeabilização. A partir de simulações de propagação de vazão com o Método de Pulz em áreas impermeabilizadas genéricas em intervalos constantes adotados para o estudo, são obtidos gráficos das características geométricas dos reservatórios em função da vazão de contribuição que cada área genérica recebe. A partir da análise comportamental dos mesmos são propostas equações de dimensionamento para os parâmetros de volume, área de base, altura da lâmina de água e diâmetro do orifício regulador de vazão, relacionando-os às áreas impermeabilizadas presentes, de modo que seja garantida a eficiência mínima necessária. Ao comparar os resultados obtidos com o previsto na legislação municipal, além da possibilidade de melhoria na eficiência dos reservatórios com a utilização de outros parâmetros de dimensionamento, há condição de redução de 24,14% do volume em relação ao cálculo atual.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana. Vazões de contribuição. Medidas de controle. Reservatórios de contenção de cheias.

## ABSTRACT

SOUZA, Ricardo C. C. de. **Method for efficient sizing of flood detention tanks for the city of Curitiba-PR**. 2018. 107 p. Dissertation (Master in Civil Engineering) – Graduate Program in Civil Engineering – Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2018.

The impacts caused by rainfall in urban areas indicate the need to approach measures for managing urban drainage, in order to avoid losses arising from runoff, such as floods. Brazilian urban drainage is considered outdated, because the concept of channeling is more used than the reservation and infiltration, prioritizing fast flowing instead of controlled disposal of reserved volumes. The city of Curitiba-PR has a Municipal Decree Number 176/2007, responsible for the criteria for implementation of flood containment mechanisms. However, the established design guidelines do not guarantee minimum performance for flood detention tanks, since it may vary depending on their base area, water depth and flow regulator's orifice diameter. In this research is proposed a sizing method, establishing criteria that relate waterproofed areas of the lots to the tank design parameters, ensuring the function of this control measure. Considering that tanks must provide the given waterproofed area return to its condition before urbanization in contributing flows, determine the value of the required peak flow reduction in 70,24%, obtained from the relation between the coefficients of runoff in both waterproofing conditions. From flow propagation simulations with Pulz Method in generic waterproofed areas at constant intervals adopted for the research, graphs of the geometric characteristics of the reservoirs are obtained as a function of the contribution flow that each generic area receives. From the behavioral analysis, sizing equations are proposed for the parameters of volume, base area, water depth and flow regulator's orifice diameter, relating them to the present waterproofed areas and ensuring the required efficiency. When comparing the results obtained with the provisions of municipal legislation, in addition to the possibility of improving the efficiency of the reservoirs using other sizing parameters, it points to the possibility of reducing the calculated volume of 24,14% in relation to the current calculation.

**Keywords:** Urban drainage. Flows contribution. Control measures. Flood detention tanks.

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | – Impacto da urbanização sobre o hidrograma de cheia.....                           | 15 |
| Figura 2  | – Ilustração esquemática dos conceitos de reservação x canalização ....             | 18 |
| Figura 3  | – Amortecimento da onda de cheia provocada por um reservatório de retenção.....     | 19 |
| Figura 4  | – Planta do reservatório de contenção de cheias .....                               | 21 |
| Figura 5  | – Corte A do reservatório de contenção de cheias .....                              | 21 |
| Figura 6  | – Corte B do reservatório de contenção de cheias .....                              | 21 |
| Figura 7  | – Reservatório em situação ideal de projeto .....                                   | 23 |
| Figura 8  | – Demonstração do uso de tubulação de extravasamento .....                          | 24 |
| Figura 9  | – Reservatório com necessidade de bombeamento após orifício regulador de vazão..... | 24 |
| Figura 10 | – Demonstração da impossibilidade de extravasamento por gravidade.....              | 25 |
| Figura 11 | – Hidrogramas e hietogramas dos lotes experimentais.....                            | 34 |
| Figura 12 | – Esquema de reservatório de água pluvial multiuso.....                             | 36 |
| Figura 13 | – Sistema unitário e sua interface com reservatório de contenção de cheias .....    | 38 |
| Figura 14 | – Planta esquemática de um reservatório de contenção de cheias .....                | 55 |
| Figura 15 | – Cortes esquemáticos de um reservatório de contenção de cheias .....               | 56 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gráfico 1  | –Curva IDF da cidade de Curitiba-PR .....  | 64 |
| Gráfico 2  | –Exemplo de hidrograma de entrada (área de 1000 m <sup>2</sup> ).....                            | 66 |
| Gráfico 3  | –Vazões no reservatório de contenção de cheias (área de 1000 m <sup>2</sup> ) .....              | 68 |
| Gráfico 4  | –Lâmina de água no reservatório de contenção de cheias (área de 1000 m <sup>2</sup> ) .....      | 68 |
| Gráfico 5  | –Parâmetros de dimensionamento para reservatórios de contenção de cheias .....                   | 69 |
| Gráfico 6  | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 0 a 100 m <sup>2</sup> .....      | 71 |
| Gráfico 7  | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 100 a 300 m <sup>2</sup> .....    | 72 |
| Gráfico 8  | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 300 a 600 m <sup>2</sup> .....    | 72 |
| Gráfico 9  | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 600 a 1000 m <sup>2</sup> .....   | 73 |
| Gráfico 10 | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 1000 a 1400 m <sup>2</sup> .....  | 73 |
| Gráfico 11 | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 1400 a 2200 m <sup>2</sup> .....  | 74 |
| Gráfico 12 | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 2200 a 3900 m <sup>2</sup> .....  | 74 |
| Gráfico 13 | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 3900 a 6000 m <sup>2</sup> .....  | 75 |
| Gráfico 14 | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 6000 a 8600 m <sup>2</sup> .....  | 75 |
| Gráfico 15 | –Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 8600 a 10000 m <sup>2</sup> ..... | 76 |
| Gráfico 16 | –Evolução da eficiência em função da variação da área de base .....                              | 79 |



## LISTA DE TABELAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 1  | – Eficiências obtidas para o lote padrão e quadra padrão.....  | 30 |
| Tabela 2  | – Vazões de saída para o lote em estudo .....  | 35 |
| Tabela 3  | – Diâmetro do orifício regulador em função do volume do reservatório.....                                      | 40 |
| Tabela 4  | – Valores do coeficiente de escoamento C para diferentes superfícies .....                                     | 43 |
| Tabela 5  | – Tempos de retorno para projeto de pequenas obras hidráulicas .....   | 45 |
| Tabela 6  | – Fator de correção do coeficiente de escoamento C .....   | 46 |
| Tabela 7  | – Áreas e porcentagens permeáveis e impermeáveis da área genérica de estudo .....                              | 48 |
| Tabela 8  | – Simulações do tempo de escoamento superficial para as áreas genéricas.....                                   | 62 |
| Tabela 9  | – Intensidades máximas (mm/h) obtidas a partir da equação de chuvas intensas para a cidade de Curitiba-PR..... | 63 |
| Tabela 10 | – Simulação de vazões de contribuição em área teste .....  | 65 |
| Tabela 11 | – Orifício regulador de vazão em função da área impermeável .....  | 70 |
| Tabela 12 | – Equações dos parâmetros de dimensionamento .....   | 76 |
| Tabela 13 | – Dimensionamento pela legislação .....  | 78 |
| Tabela 14 | – Comparativo de dimensionamento para a cidade de Curitiba-PR.....   | 83 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                       |   |
|-----------------------|---|
| $W$                   | Água pluvial captada pelo telhado   |
| $W_R$                 | Volume de utilização da água pluvial  |
| $W_I$                 | Volume do primeiro compartimento (tanque de aproveitamento das águas pluviais)                |
| $W_{II}$              | Volume do segundo compartimento (bacia de infiltração)  |
| $f$                   | Taxa de infiltração na saturação  |
| $W_{0,I}$             | Volume de transbordamento do primeiro para o segundo compartimento                            |
| $W_{0,II}$            | Volume de transbordamento a partir do segundo compartimento para o sistema de drenagem urbana |
| $V$                   | Volume do reservatório  |
| $k$                   | Constante dimensional para cálculo do reservatório de contenção de cheias                     |
| $i$                   | Intensidade da precipitação   |
| $A_I$                 | Área impermeabilizada do terreno  |
| $t$                   | Tempo de duração da precipitação  |
| $Q$                   | Vazão de contribuição da área   |
| $C$                   | Coeficiente de escoamento superficial   |
| $A$                   | Área  |
| $TR$                  | Tempo de retorno em anos  |
| $t_c$                 | Tempo de concentração   |
| $t_s$                 | Tempo de escoamento superficial   |
| $L$                   | Distância entre o ponto mais distante da área contribuinte ao ponto considerado               |
| $p$                   | Porcentagem da área permeável da bacia  |
| $S$                   | Declividade média do terreno ao longo do trecho $L$ considerado                               |
| $Q_{\text{pré-urb.}}$ | Vazão de contribuição da área no cenário de pré-urbanização                                   |
| $Q_{\text{pós-urb.}}$ | Vazão de contribuição da área no cenário de pós-urbanização                                   |
| $C_{\text{pré-urb.}}$ | Coeficiente de escoamento superficial no cenário de pré-urbanização                           |
| $C_{\text{pós-urb.}}$ | Coeficiente de escoamento superficial no cenário de pós-urbanização                           |
| $Q_{\text{total}}$    | Vazão de contribuição total da área genérica  |

|                  |  |
|------------------|--|
| $Q_{perm.}$      | Vazão de contribuição das áreas permeáveis                 |
| $Q_{imp.}$       | Vazão de contribuição das áreas impermeáveis               |
| $A_{perm.}$      | Área permeável genérica                                    |
| $A_{imp.}$       | Área impermeável genérica                                  |
| $C_{pond.}$      | Coefficiente de escoamento superficial ponderado           |
| $A_{total}$      | Área genérica total  |
| $A_{pré-urb.}$   | Área permeável no cenário de pré-urbanização               |
| $A_{pós-urb.}$   | Área impermeável no cenário de pós-urbanização             |
| $V_{min}$        | Volume mínimo do reservatório                              |
| $V_{máx}$        | Volume máximo do reservatório                              |
| $\Delta t$       | Intervalo de tempo   |
| $I_t$            | Vazão de entrada no reservatório no instante t             |
| $I_{t+\Delta t}$ | Vazão de entrada no reservatório no instante t+ $\Delta t$ |
| $Q_t$            | Vazão de saída do reservatório no instante t               |
| $Q_{t+\Delta t}$ | Vazão de saída do reservatório no instante t+ $\Delta t$   |
| $S_t$            | Armazenamento no reservatório no instante t                |
| $S_{t+\Delta t}$ | Armazenamento no reservatório no instante t+ $\Delta t$    |
| $Q_s$            | Vazão de saída do reservatório                             |
| $C_v$            | Coefficiente de descarga do vertedouro                     |
| B                | Largura do vertedouro                                      |
| z                | Cota da lâmina de água do reservatório                     |
| $z_k$            | Cota da crista do vertedouro                               |
| $C_d$            | Coefficiente de descarga do orifício                       |
| $A_0$            | Área transversal do orifício                               |
| g                | Aceleração da gravidade                                    |
| $h_0$            | Altura da lâmina de água acima do eixo central do orifício |
| $S_0$            | Volume inicial do reservatório                             |
| $A_B$            | Área da base do reservatório                               |
| h                | Lâmina de água no reservatório                             |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS</b> .....  | <b>14</b> |
| 2.1      | OBJETIVO GERAL .....  | 14        |
| 2.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 14        |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....  | <b>15</b> |
| 3.1      | CONCEITOS GERAIS DA DRENAGEM URBANA .....   | 15        |
| 3.2      | CONCEITOS SOBRE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS .....  | 19        |
| 3.3      | COMPOSIÇÃO E FUNCIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS .....  | 20        |
| 3.4      | CASOS DE PROJETOS DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS .....   | 22        |
| 3.5      | PESQUISAS NACIONAIS ENVOLVENDO RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS .....   | 26        |
| 3.5.1    | Efeito dos Microrreservatórios de Lote Sobre a Macrodrenagem Urbana .....   | 26        |
| 3.5.2    | Estudo Experimental de Microrreservatórios para Controle do Escoamento Superficial .....  | 27        |
| 3.5.3    | Controle do Escoamento com Detenção em Lotes Urbanos .....  | 28        |
| 3.5.4    | Análise da Influência dos Reservatórios de Detenção Domiciliares no Escoamento Superficial Urbano Aplicados na Estimativa de Vazões Críticas Geradas em uma Quadra Padrão ..... | 29        |
| 3.5.5    | Análise da Utilização de Reservatórios de Detenção de Cheias em Edificações e o Seu Impacto no Sistema de Drenagem Urbana .....   | 30        |
| 3.5.6    | Dimensionamento de Reservatórios de Detenção para Condomínios Horizontais para Controle de Cheias .....   | 31        |
| 3.5.7    | Uso de Reservatórios de Detenção em Lotes de Condomínio para Atenuação de Cheias .....  | 31        |
| 3.5.8    | Atenuação de Picos de Vazão em Área Problema: Estudo Comparativo de Reservatórios de Detenção em Lote, em Logradouros e em Grande Área da Bacia .....                           | 32        |
| 3.5.9    | Análise Hidrológica Experimental de Lotes Urbanos Sob Formas Diferenciadas de Ocupação e Controle de Inundação .....  | 33        |
| 3.6      | PESQUISAS INTERNACIONAIS ENVOLVENDO RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS .....  | 34        |
| 3.7      | LEGISLAÇÃO RELACIONADA AOS RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS .....   | 39        |
| <b>4</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | <b>42</b> |
| 4.1      | CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA .....  | 42        |
| 4.1.1    | Transformação de Chuva em Vazão .....   | 43        |
| 4.1.2    | Coeficientes de Escoamento Superficial .....  | 43        |
| 4.1.3    | Intensidade de Precipitação para a Cidade de Curitiba-PR .....  | 44        |
| 4.1.4    | Vazões de Contribuição Pré e Pós-Urbanização .....  | 47        |
| 4.1.5    | Determinação das Áreas de Estudo .....  | 48        |
| 4.1.6    | Hidrograma de Entrada no Reservatório .....   | 50        |
| 4.2      | DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS .....   | 51        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.2.1    | Relação entre Vazões de Pré e Pós-urbanização e Eficiência Desejada.....   | 52         |
| 4.2.2    | Determinação dos Volumes dos Reservatórios.....  | 53         |
| 4.2.3    | Propagação de Vazão em Reservatórios.....  | 55         |
| 4.2.3.1  | Método de Pulz.....  | 56         |
| 4.2.3.2  | Simulações em planilhas.....   | 59         |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>  | <b>62</b>  |
| 5.1      | CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA.....  | 62         |
| 5.1.1    | Determinação do Tempo de Concentração.....   | 62         |
| 5.1.2    | Determinação da Intensidade da Precipitação.....   | 63         |
| 5.1.3    | Simulação de Vazões de Contribuição em Área Teste.....   | 64         |
| 5.1.4    | Hidrograma de Entrada no Reservatório.....   | 65         |
| 5.2      | DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS.....   | 66         |
| 5.2.1    | Eficiência Mínima Desejada.....  | 66         |
| 5.2.2    | Simulações pelo Método de Pulz para Determinação das Características Geométricas dos Reservatórios.....  | 67         |
| 5.3      | COMPARATIVO COM O DECRETO Nº 176/2007 (CURITIBA, 2007).....  | 77         |
| 5.4      | COMPARATIVO COM PESQUISAS RELACIONADAS AO ASSUNTO.....   | 81         |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>   | <b>85</b>  |
| <b>7</b> | <b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>   | <b>88</b>  |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>89</b>  |
|          | <b>ANEXO A – Prefeitura Municipal de Curitiba: Decreto nº 176/2007. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias (CURITIBA, 2007).....</b> | <b>97</b>  |
|          | <b>ANEXO B – Prefeitura Municipal de Curitiba: Normas para Projeto de Drenagem (Secretaria Municipal de Obras Públicas).....</b>   | <b>101</b> |
|          | <b>ANEXO C – Memorial de Cálculo do Dimensionamento dos Reservatórios de Contenção de Cheias.....</b>  | <b>103</b> |
|          | <b>ANEXO D – Quadro Comparativo com o Dimensionamento Proposto em Pesquisas Citadas.....</b>   | <b>106</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As precipitações podem causar catástrofes em bacias hidrográficas, principalmente naquelas delimitadas em áreas urbanas, visto que a impermeabilização da superfície do solo minimiza a infiltração natural das águas provenientes das chuvas, originando escoamentos superficiais que, em grandes escalas, podem causar prejuízos econômicos à população e ao poder público. O gerenciamento da drenagem urbana pode se apresentar defasado ao aplicar o conceito da canalização em detrimento à infiltração e à reservação, pois este tipo de abordagem aumenta a velocidade do escoamento e pode transferir os problemas de inundações para jusante (CANHOLI, 2005). O correto manejo das águas pluviais urbanas, ligado ao planejamento da drenagem e às medidas de controle adequadas pode amenizar tais problemas (RIGHETTO; MOREIRA; SALES, 2009).

Dentre as diversas medidas de controle existentes, sejam elas estruturais, não estruturais ou não convencionais, os reservatórios de contenção podem contribuir efetivamente para o retardamento dos picos de cheias, pois a vazão proveniente da captação de águas pluviais é direcionada gradativamente para as galerias de drenagem por meio da estrutura extravasora denominada orifício regulador de vazão (CANHOLI, 2005). Com o reservatório dimensionado de maneira correta é possível ajustar a vazão afluyente e amortecer o seu valor de pico, contribuindo para reduzir a carga direcionada às redes de drenagem urbana e, por consequência, o risco de inundações.

A cidade de Curitiba-PR possui o Decreto Municipal nº 176/2007 (CURITIBA, 2007), legislação na qual são estabelecidos os volumes de retenção de água pluvial em função das áreas construídas e impermeabilizadas nos lotes, porém sem destacar a real contribuição da medida adotada em termos da redução da vazão de pico. Trata-se de uma legislação genérica, pois não são considerados no cálculo os fatores específicos existentes para cada projeto. A mesma encontra-se disponível no ANEXO A. Como a eficiência pode variar em função da geometria adotada para atender ao volume mínimo calculado para o reservatório, torna-se importante determinar outros parâmetros de projeto para que os reservatórios de retenção de cheias sejam eficientes e reduzam determinado percentual das vazões geradas nos lotes (SOUZA, 2013).

O resultado considerado mais satisfatório na redução da vazão de contribuição dos lotes em situação de pós-urbanização seria aquele em que, com a utilização dos reservatórios de contenção de cheias, os lotes retornassem à sua condição de pré-urbanização (DRUMOND; COELHO; MOURA, 2014). Desta forma, uma eficiência mínima de redução de vazões seria estabelecida e estaria sendo utilizada uma medida de controle que impediria vazões de pico elevadas no sistema de drenagem após a urbanização de determinada área (QUEENSLAND, 2013).

Estudos das características hidrológicas das bacias hidrográficas urbanas, tais como os tipos de chuvas mais recorrentes e a sua relação entre duração, intensidade e frequência, são importantes para que critérios corretos de transformação de chuva em vazão sejam adotados para o dimensionamento dos reservatórios. Os hidrogramas de escoamento de águas pluviais, necessários para determinação das vazões de entrada nos reservatórios ao longo de intervalos de tempo, também são ferramentas indispensáveis. Ainda, com simulações de propagação de vazão nos reservatórios pelo Método de Pulz é possível determinar o hidrograma das vazões de saída, mensurando então a eficiência obtida (CANHOLI, 2005; TUCCI, 2009).

Por meio de simulações de geometrias de reservatórios é possível relacionar os valores de áreas genéricas impermeabilizadas aos valores de volume, área de base, altura da lâmina de água e diâmetro do orifício regulador de vazão a serem adotados para que os reservatórios sejam eficientes. A partir destas relações é possível obter tabelas, gráficos e equações que permitam um cálculo rápido das características adequadas do reservatório de contenção necessário para qualquer área impermeabilizada a ser mitigada pelo uso desta medida de controle.

Com o método proposto, pretende-se contribuir para melhoria do funcionamento dos reservatórios de contenção de cheias na cidade de Curitiba-PR, dimensionando-os de maneira eficiente, de modo a cumprir a função de redução de vazão de pico para a qual foram designados.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é propor um método para dimensionamento de reservatórios de contenção de cheias para a cidade de Curitiba-PR, considerando a eficiência mínima necessária de amortecimento das vazões de pico que estes equipamentos devem proporcionar.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos podem-se citar:

- a) Determinar o valor da eficiência mínima necessária aos reservatórios de contenção de cheias;
- b) Relacionar as áreas impermeáveis dos lotes aos parâmetros de dimensionamento dos reservatórios: diâmetro do orifício regulador de vazão, volume, área de base e altura da lâmina de água;
- c) Comparar os resultados obtidos pela nova metodologia de cálculo com o dimensionamento proposto pelo Decreto nº 176/2007 da Prefeitura Municipal de Curitiba-PR (CURITIBA, 2007);
- d) Analisar a possibilidade de redução de volume dos reservatórios de contenção de cheias previstos na referida legislação e;
- e) Propor melhorias na referida legislação.



### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Por questão de objetividade na revisão da literatura, optou-se por abordar apenas algumas considerações gerais da drenagem urbana, focando-se em conceitos, casos de projeto, pesquisas e legislação relacionados aos reservatórios de contenção de cheias, medida de controle de drenagem abordada na pesquisa.

#### 3.1 CONCEITOS GERAIS DA DRENAGEM URBANA

A mudança das características de uso e ocupação do solo, causada pelo desenvolvimento da bacia hidrográfica, propicia remoção da camada vegetal, a terraplenagem das áreas e a consequente impermeabilização das superfícies (NAKAZONE, 2005). Esta consequência do processo de urbanização pode causar alterações do escoamento superficial, que interferem diretamente com a drenagem urbana (TUCCI, 2009), fazendo com que a vazão de pós-urbanização de determinada área seja maior e ocorra mais rapidamente que a vazão de pré-urbanização, conforme pode ser observado na Figura 1.

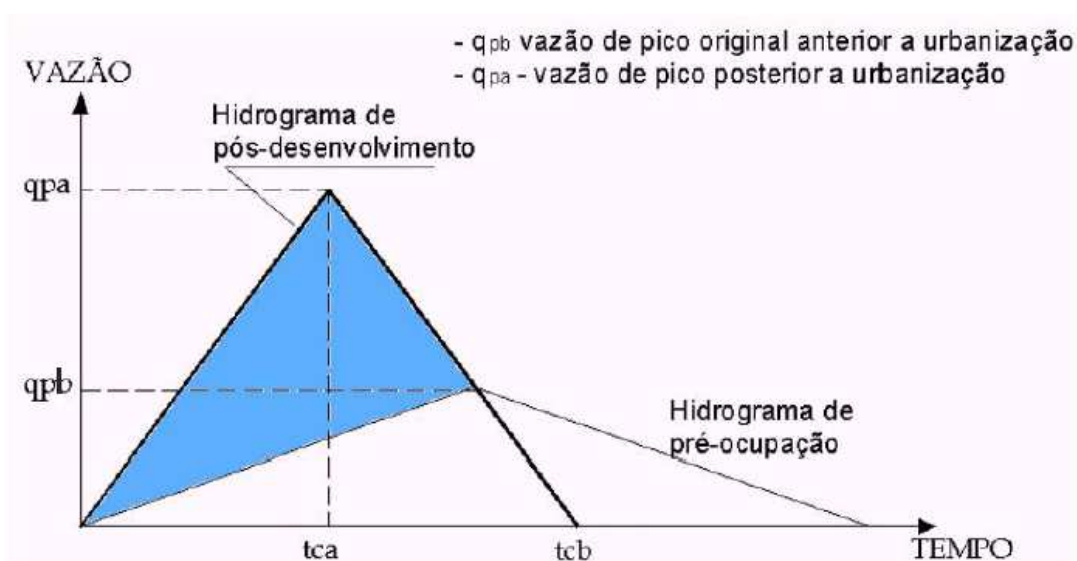


Figura 1 – Impacto da urbanização sobre o hidrograma de cheia  
Fonte: Porto Alegre (2005)

As inundações são os efeitos mais comuns de chuvas intensas e ocorrem em grande parte das cidades brasileiras, contribuindo na disseminação de doenças de veiculação hídrica. O desmatamento, bem como a ocupação irregular das várzeas dos rios, contribui para o aumento das velocidades de escoamento das águas em eventos de precipitação. Desta forma, aumenta-se o risco de erosão do solo, do transporte de sedimentos e conseqüentemente do assoreamento de corpos de água, que ao terem sua capacidade reduzida por detritos, contribuem para ocorrência de inundações (SOUZA, 2013).

Ao longo da história, a perda da capacidade de armazenamento natural do solo foi geralmente solucionada com obras de galerias e canalizações, o que causa aumento da velocidade dos escoamentos e diminuição do tempo de concentração, transferindo para jusante o problema dos maiores picos de vazão. Isto demonstra a necessidade de soluções alternativas, além de melhores conhecimentos climatológicos, ambientais, hidrológicos e hidráulicos do problema (CANHOLI, 2005).

Para Agra (2001), na tentativa de minimizar os efeitos da urbanização são utilizadas medidas de controle. Canholi (2005) as classificou em medidas estruturais e não estruturais. As primeiras correspondem às obras de engenharia que podem ser implantadas com o objetivo de corrigir ou prevenir os problemas decorrentes das enchentes, como pequenos armazenamentos disseminados na bacia, a recomposição de cobertura vegetal, o controle de erosão do solo, a canalização e os reservatórios para amortecimento de pico. Já as medidas não estruturais têm o objetivo de reduzir os prejuízos ou as conseqüências das inundações sem contemplar obras civis, utilizando normas, regulamentos e programas, como zoneamento de áreas inundáveis, ações de regulamentação do uso e ocupação do solo, educação ambiental, seguro-enchente e sistemas de alerta de inundações.

As medidas de controle podem ser classificadas em convencionais ou tradicionais e não convencionais ou alternativas. Ainda, existe a classificação quanto ao local de intervenção, seja na fonte, próximo ao local de formação do escoamento superficial, ou a jusante (NAKAZONE, 2005). Ao contrário das convencionais, baseadas no conceito tradicional da canalização e amplamente utilizadas em território brasileiro, as medidas não convencionais podem ser definidas por estruturas, obras, dispositivos ou conceitos diferenciados de projeto, com utilização ainda não disseminada. Dentre elas estão medidas estruturais, como a retenção dos escoamentos em reservatórios (CANHOLI, 2005).

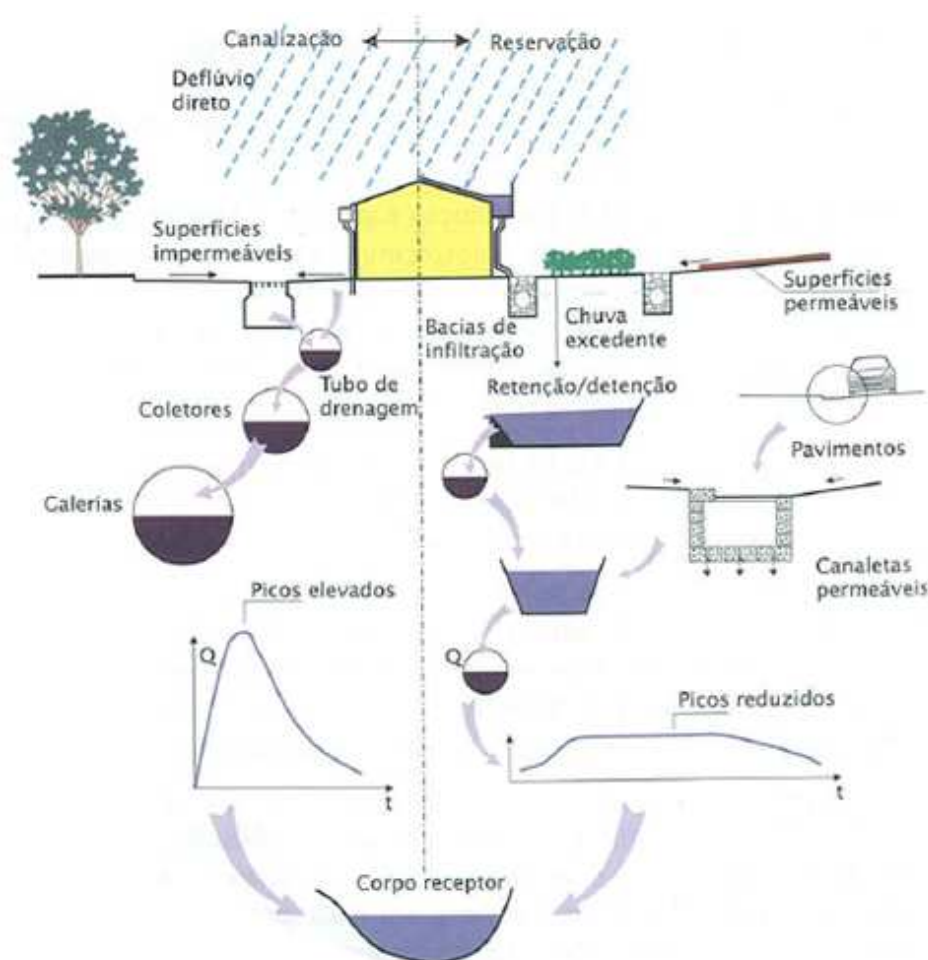
Nakazone (2005) afirma que as medidas não convencionais utilizam conceitos de armazenamento e infiltração, sem enfoque no rápido afastamento dos escoamentos. Logo, aumenta-se o tempo de concentração para a bacia hidrográfica, sem prejudicar as vazões a jusante. Segundo Righetto, Moreira e Sales (2009), estas medidas possuem o objetivo de deter o escoamento gerado na bacia com a infiltração no próprio local, reduzindo o impacto do escoamento excedente e da carga de poluentes lançados no corpo receptor. Como exemplos, Canholi (2005) aborda as superfícies de infiltração, valetas de infiltração abertas, lagoas de infiltração, bacias de percolação, pavimentos porosos e pavimentos permeáveis.

Considera-se importante para esse estudo a diferenciação entre canalização e reservação, conforme demonstrado no Quadro 1.

| <b>CARACTERÍSTICA</b>                       | <b>CANALIZAÇÃO</b>  | <b>RESERVAÇÃO</b>   |
|---|---|---|
| Função                                      | - Remoção rápida dos escoamentos  | - Contenção temporária para subsequente liberação   |
| Componentes principais                      | - Canais abertos<br>- Galerias  | - Reservatórios a superfície livre<br>- Reservatórios subterrâneos  |
| Aplicabilidade                              | - Instalação em áreas novas<br>- Construção por fases<br>- Ampliação da capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos)   | - Áreas novas (em implantação)<br>- Construção por fases<br>- Áreas existentes (à superfície ou subterrânea)  |
| Impacto nos trechos de jusante (quantidade) | - Aumenta significativamente os picos das enchentes em relação à condição anterior<br>- Maiores obras à jusante               | - Reabilitação de sistemas: podem tornar vazões à jusante compatíveis com capacidade disponível   |
| Impacto nos trechos de jusante (qualidade)  | - Transporta para o corpo receptor toda carga poluente afluente   | - Facilita remoção de material flutuante por concentração e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação                                   |
| Manutenção / Operação                       | - Manutenção em geral pouco frequente (pode ocorrer excesso de assoreamento e de lixo)<br>- Manutenção nas galerias é difícil | - Necessária limpeza periódica<br>- Necessária fiscalização<br>- Sistemas de bombeamento requerem operação / manutenção<br>- Desinfecção eventual (insetos) |
| Estudos hidrológicos / hidráulicos          | - Requer definição dos picos de enchente  | - Requer definição dos hidrogramas (volumes de enchente)  |

**Quadro 1 – Comparação entre conceitos de canalização e reservação**  
**Fonte: Adaptado de Canholi (2005)**

Na Figura 2 é apresentado um desenho esquemático com a diferenciação entre estes conceitos, demonstrando a influência que ambos proporcionam aos picos de vazão de um sistema de drenagem.



**Figura 2 – Ilustração esquemática dos conceitos de reservação x canalização**  
**Fonte: Adaptado de Canholi (2005)**

Para aumentar a eficiência dos sistemas de drenagem deve-se realizar manejo das águas pluviais, tornando-se necessário o uso de dispositivos de detenção ou amortecimento da vazão das águas (GUERRA, 2011).

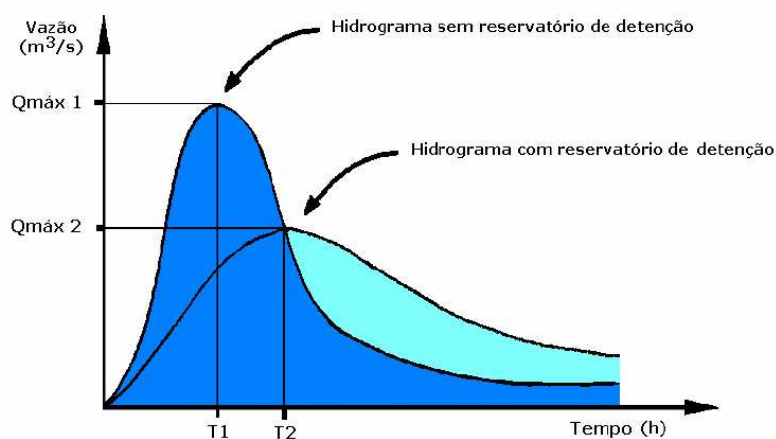
Logo, pode-se afirmar que a tendência para o desenvolvimento de soluções para a drenagem urbana está na utilização de medidas mais sustentáveis, uma vez que apenas afastar o volume excedente para jusante não é mais uma solução satisfatória (SOUZA, 2013). Neste contexto é que se aplica o conceito dos reservatórios de contenção de cheias.

### 3.2 CONCEITOS SOBRE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS

Os reservatórios de contenção de cheias são estruturas simples, utilizadas para controle na fonte, atuando no local onde é gerado o escoamento (AGRA, 2001). Nestes são captadas as águas pluviais de áreas impermeabilizadas dos lotes, armazenando temporariamente o excesso de vazão gerado em função da redução da parcela de infiltração do solo, lançando vazões controladas no sistema de drenagem urbana (DRUMOND; COELHO; MOURA, 2014).

Com formato semelhante aos reservatórios utilizados para abastecimento, estes podem ser executados em concreto, alvenaria ou a partir de reservatórios prontos. Em relação ao posicionamento, podem ser enterrados ou aparentes, sendo a cota da rede de drenagem disponível um dos fatores determinantes para decisão de projeto (AGRA, 2001).

Como função destes reservatórios está o controle distribuído do escoamento das águas pluviais na bacia hidrográfica, o que minimiza os efeitos da impermeabilização do solo e ajuda na recuperação da capacidade de amortecimento da bacia (COSTA JUNIOR; BARBASSA, 2006). O uso de reservatórios de contenção é uma das alternativas existentes para o controle de cheias urbanas, sendo a sua finalidade principal a de reduzir o pico das vazões por meio do amortecimento das ondas de cheia e pelo armazenamento temporário dos volumes escoados (TASSI, 2002), conforme demonstrado na Figura 3.



**Figura 3 – Amortecimento da onda de cheia provocada por um reservatório de retenção**  
Fonte: Alves e Costa (2007)

De acordo com Queensland (2013), as autoridades reguladoras podem especificar os seguintes padrões de projeto para estes sistemas locais de retenção:

- Prever volume mínimo de armazenamento e vazão de descarga em função da área local ou da mudança de sua impermeabilidade;
- Prever vazão de descarga em função de chuvas de projeto, porém sem especificação do volume mínimo necessário;
- Não exceder as vazões de pré-urbanização.

A manutenção das vazões de pré-urbanização, aquelas anteriores às condições de impermeabilização do solo, pode ser obtida pelo controle das vazões proporcionado por estas estruturas, exigindo que a vazão máxima de saída após a impermeabilização do solo, cenário de pós-urbanização, não ultrapasse a máxima vazão de pré-urbanização (DRUMOND; COELHO; MOURA, 2014).

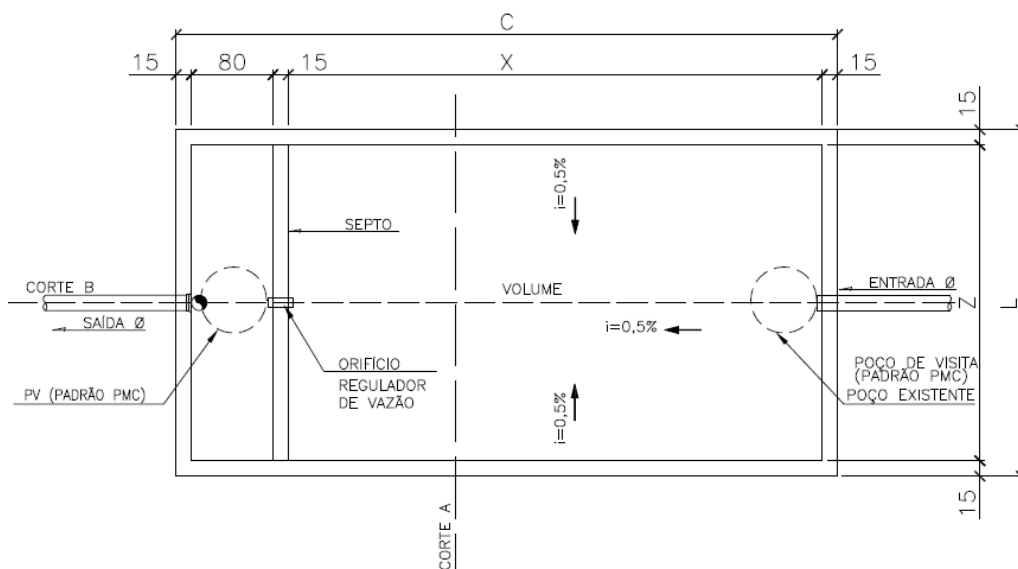
Os estudos para definição dos hidrogramas de projeto exigem uma análise mais profunda dos mecanismos climatológicos que influenciam as precipitações e as durações críticas, sendo determinantes para a correta estimativa de picos de vazão nos reservatórios e a consequente definição dos volumes associados. Ou seja, estudos hidrológicos apurados contribuem para que o dimensionamento seja de fato eficiente (CANHOLI, 2005).

Outro benefício da utilização dos reservatórios de retenção de cheias, apontado por Souza (2013), Reda et al. (2016) e Hentges e Tassi (2012) em estudos do impacto da utilização desta medida, é a redução dos diâmetros das tubulações nos trechos à jusante do sistema de drenagem, tendo em vista as menores vazões de contribuição proporcionadas nas redes.

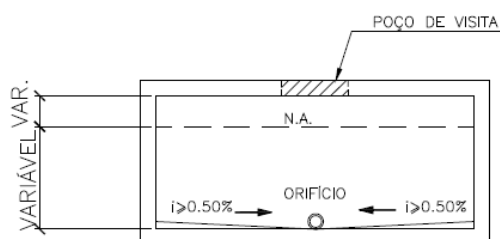
### 3.3 COMPOSIÇÃO E FUNCIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE RETENÇÃO DE CHEIAS

Os reservatórios de retenção de cheias são normalmente compostos pelas câmaras principal e secundária, divididas por um septo, conforme pode ser verificado no projeto genérico apresentado nas Figuras 4, 5 e 6. O orifício regulador de vazão, localizado na base do septo, é a estrutura hidráulica de descarga que permite o esvaziamento contínuo do reservatório, devendo obrigatoriamente este

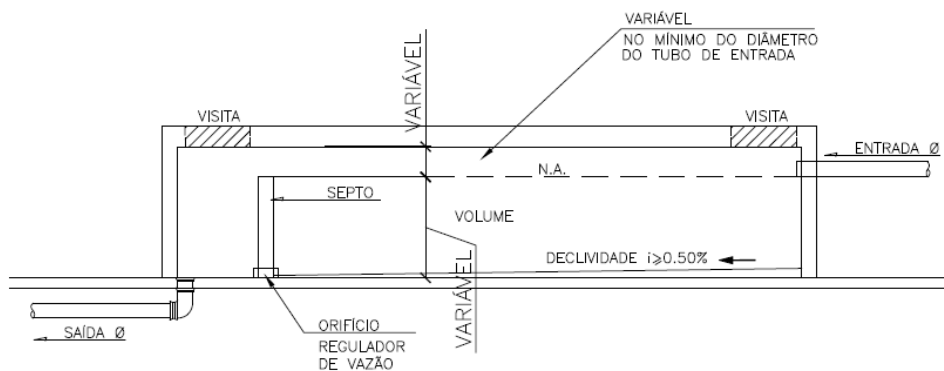
escoamento ser por gravidade. O septo funciona como um vertedouro no caso de a máxima lâmina de água do reservatório ser atingida, evento em que o escoamento se dá por cima do septo.



**Figura 4 – Planta do reservatório de contenção de cheias**  
Fonte: Curitiba (2007)



**Figura 5 – Corte A do reservatório de contenção de cheias**  
Fonte: Curitiba (2007)



**Figura 6 – Corte B do reservatório de contenção de cheias**  
Fonte: Curitiba (2007)

Seu funcionamento ocorre da seguinte maneira:

- A vazão de entrada é direcionada para sua câmara principal;
- A vazão de saída se dá pelo orifício regulador de vazão, seguindo para a câmara secundária e posteriormente para as galerias de águas pluviais;
- A diferença entre a vazão de entrada e a vazão de saída implica na mudança do nível de água, o qual determina a vazão de saída do reservatório;
- Caso a lâmina de água na câmara principal venha a atingir seu nível máximo, que é a altura do septo divisório, ocorrerá o seu transbordamento e a água será lançada para a câmara secundária por cima do septo, podendo diminuir a eficiência na redução de vazão.

A eficiência dos reservatórios de contenção de cheias pode variar em função de seus parâmetros de dimensionamento, conforme citado por Souza (2013) em seu estudo de reservatórios na escala de pequenos lotes residenciais e a sua influência no sistema de drenagem urbana.

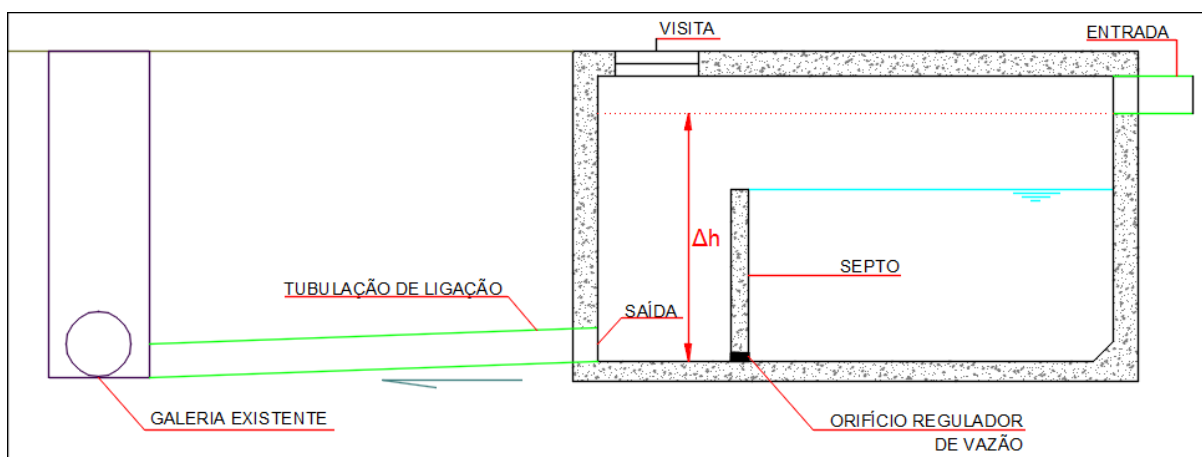
A falha dos reservatórios pode ser resultado da incerteza associada aos parâmetros de dimensionamento, tais como a determinação da vazão de entrada e do tempo de duração da vazão, bem como o hidrograma oriundo da relação estabelecida entre esses parâmetros, além da área de base do reservatório, a área de seção e o coeficiente de descarga do orifício regulador de vazão (PAIK, 2008).

### 3.4 CASOS DE PROJETOS DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS

A determinação da solução de projeto depende de diversos fatores. Aqueles relacionados ao sistema de drenagem podem ser caracterizados pela profundidade e posicionamento das galerias de águas pluviais e bocas de lobo existentes, bem como a viabilidade executiva e financeira de extensão de rede existente ou criação de nova rede e elementos de drenagem para ligação da saída do reservatório. Já os fatores relacionados ao reservatório de contenção de cheias são a sua geometria, profundidade, posicionamento em planta, cota de nível e localização dos acessos de inspeção.



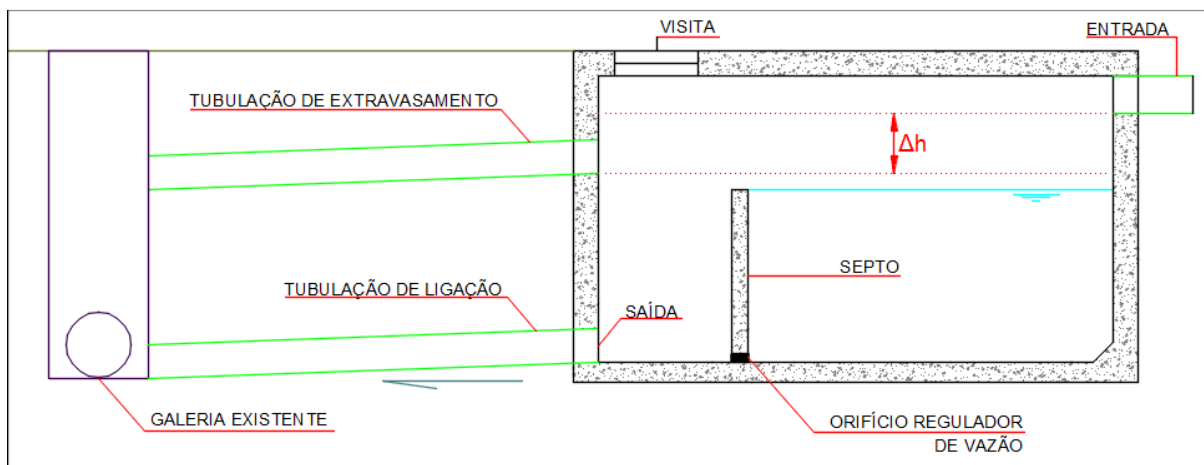
A situação ideal de projeto é aquela em que é possível direcionar por gravidade a vazão de saída da câmara secundária até a galeria de águas pluviais, sem necessidade de bombeamento após passagem pelo orifício regulador de vazão, conforme recomendado na legislação vigente na cidade de Curitiba-PR (CURITIBA, 2007). Um exemplo genérico é apresentado na Figura 7.



**Figura 7 – Reservatório em situação ideal de projeto**  
**Fonte: Autoria própria**

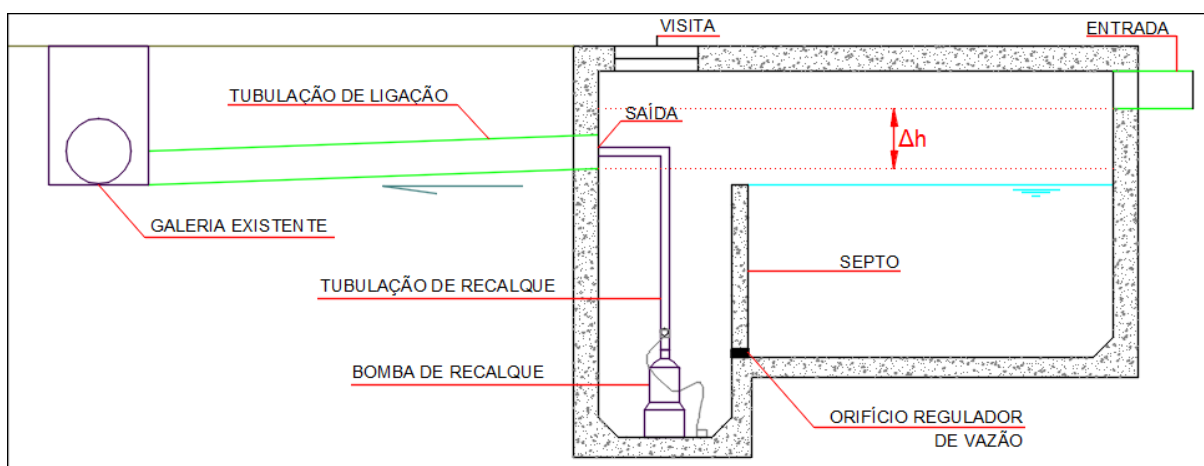
Neste caso de projeto a cota da geratriz inferior da tubulação de ligação à galeria pluvial é mais baixa que a da tubulação de entrada de água pluvial no reservatório, de modo a evitar que algum problema de obstrução do orifício regulador de vazão ocasione transbordamento do reservatório e, por consequência, possibilidade de alagamento de áreas adjacentes internas ao lote ou edificação.

Mesmo nos casos em que é possível direcionar por gravidade a vazão de saída até a galeria de águas pluviais, recomenda-se que exista uma tubulação de extravasamento com cota da geratriz inferior abaixo da cota da tubulação de entrada, garantindo assim que uma possível obstrução do orifício regulador de vazão ou da tubulação de ligação não ocasione os mesmos problemas citados anteriormente. A tubulação de extravasamento também deve permitir o escoamento por gravidade até as galerias existentes. Um exemplo genérico desta situação pode ser observado na Figura 8.



**Figura 8 – Demonstração do uso de tubulação de extravasamento**  
**Fonte: Autoria própria**

Quando não é possível direcionar por gravidade a vazão de saída até a galeria de águas pluviais, após a passagem pelo orifício regulador de vazão é feito bombeamento hidráulico na câmara secundária, de modo a se elevar a água por meio de uma tubulação de recalque até a tubulação de ligação, atingindo então o nível das galerias existentes, conforme exemplo genérico apresentado na Figura 9.

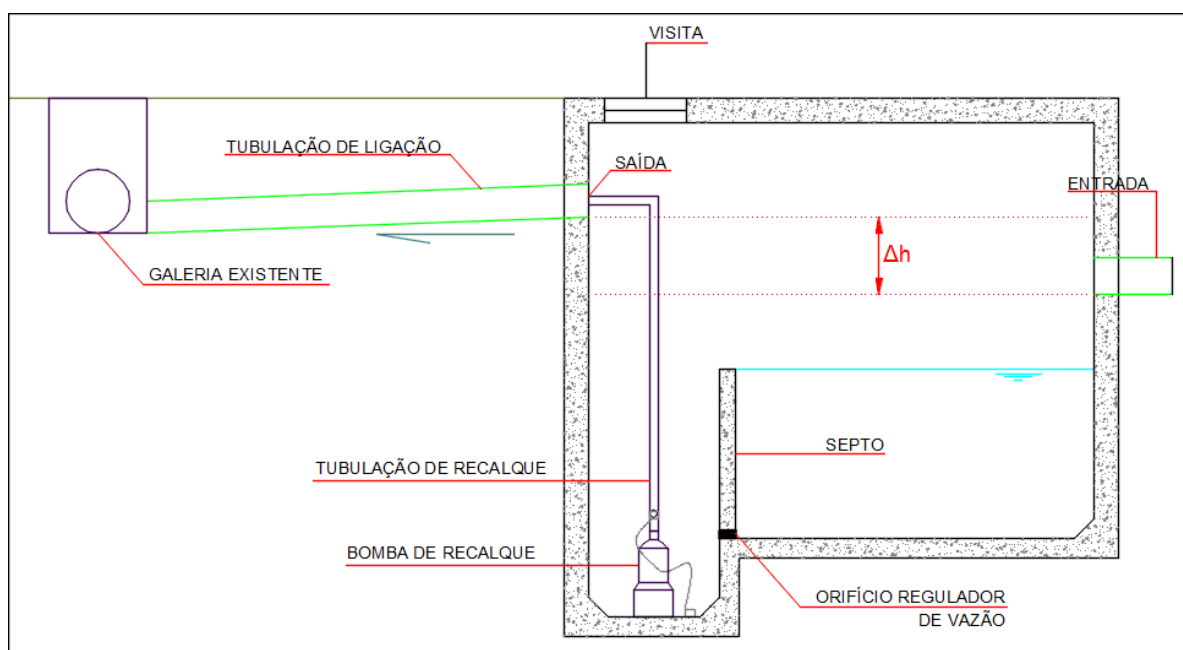


**Figura 9 – Reservatório com necessidade de bombeamento após orifício regulador de vazão**  
**Fonte: Autoria própria**

Neste caso também é recomendado que a cota da geratriz inferior da tubulação de ligação à galeria pluvial seja mais baixa que a da tubulação de entrada de água pluvial no reservatório, de modo a evitar que algum problema no

funcionamento da bomba hidráulica também ocasione problemas de transbordamento. A tubulação de ligação deve permitir o escoamento por gravidade até as galerias existentes.

Não é recomendado adotar soluções de projeto que não permitam o escoamento por gravidade para as galerias existentes, seja por meio da tubulação de ligação ou da tubulação de extravasamento, visto que se tem um risco associado à confiança no funcionamento do sistema de bombas hidráulicas, as quais podem falhar e causar prejuízos às edificações e áreas do seu entorno. Um exemplo genérico dessa situação pode ser observado na Figura 10.



**Figura 10 – Demonstração da impossibilidade de extravasamento por gravidade**  
**Fonte: Autoria própria**

Nesse caso, a cota da geratriz inferior da tubulação de ligação ou extravasamento é mais alta que a da geratriz inferior da tubulação de entrada do reservatório, impossibilitando o escoamento por gravidade para as galerias existentes.

Em todos os casos citados de obstrução do orifício regulador de vazão ou de falha do sistema de bombeamento o escoamento passaria a ocorrer diretamente para as galerias pluviais, com *by pass* pelo reservatório, que perderia então a sua função de amortecimento de vazões. Essa situação deve ser evitada com a

manutenção preventiva dos elementos que compõem o sistema de saída dos reservatórios de contenção de cheias.

Segundo Drumond, Coelho e Moura (2014), a utilização de dispositivos de proteção para impedir a entrada de sedimentos e resíduos no reservatório é um cuidado para permitir o bom funcionamento hidráulico da estrutura de descarga. Como exemplo, pode-se citar o uso de telas na tubulação de captação das calhas de telhados, as quais podem conter os sólidos grosseiros carregados pelas águas pluviais.

Schellin e Dziedzic (2016) sugeriram a previsão, na entrada do reservatório, de volume mínimo para conter a entrada de sólidos no reservatório. Além disso, poderia ser previsto filtro de areia na passagem da água, o que contribuiria para não obstruir o orifício regulador de vazão e reduziria a poluição que chega aos corpos hídricos. Maksimovic (2001) afirmou que escoamentos provenientes de áreas pavimentadas nunca devem ser diretamente direcionados aos reservatórios, indicando também a necessidade da filtragem das águas pluviais.

### 3.5 PESQUISAS NACIONAIS ENVOLVENDO RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS

Como exemplos relacionados à utilização de reservatórios de contenção de cheias podem ser abordadas as metodologias e resultados de algumas pesquisas realizadas na área, conforme itens na sequência. No ANEXO D é exposto um comparativo dos resultados aqui apresentados.

#### 3.5.1 Efeito dos Microrreservatórios de Lote Sobre a Macrodrenagem Urbana

Tassi (2002) criou para a cidade de Porto Alegre-RS uma bacia hipotética, baseada nas características de uma bacia existente na cidade, da qual foram utilizadas área, topografia, configuração da rede de macrodrenagem e forma, para avaliar o efeito do controle de vazões na fonte com o uso de microrreservatórios de

retenção nos lotes e o seu impacto no sistema de macrodrenagem urbana. Lotes padrão de 300 e 600 m<sup>2</sup>, com 49% de suas áreas impermeáveis, foram distribuídos em toda a bacia simulada, a qual possuiu uma representação detalhada das superfícies (telhados, calçadas, jardins, calçadas e ruas) e da rede de drenagem.

A simulação de escoamento na bacia foi feita para cenários de pré e pós-urbanização, sendo os microrreservatórios de lote dimensionados para manter as vazões em níveis inferiores ou iguais aos da pré-urbanização, com combinações de tempos de retorno e vazões de contribuição, sendo então testados na bacia.

De acordo com as vazões de saídas nos lotes, foram obtidas reduções de 50% a 70% nas vazões de pico da bacia com o uso de microrreservatórios em relação às vazões de pico sem controle. Considerando um tempo de retorno de cinco anos, para vazão de pós-urbanização com até três vezes o valor da vazão de pré-urbanização, é possível obter uma eficiência semelhante àquela obtida para vazão de pré-urbanização. Na bacia como um todo, visto que os microrreservatórios não controlam as vazões geradas em ruas e calçadas, não foi possível retornar às vazões encontradas na situação de pré-urbanização.

### 3.5.2 Estudo Experimental de Microrreservatórios para Controle do Escoamento Superficial

O estudo experimental de Agra (2001) se deu para um telhado com área de 337,5 m<sup>2</sup> em um dos edifícios do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre-RS. No caso, foram coletadas as águas pluviais por meio de calhas e tubulações existentes, sendo estas direcionadas para um microrreservatório de retenção construído a partir de parâmetros hidrológicos determinados para a situação em estudo: tempo de retorno de 5 anos e duração da precipitação de 5 minutos.

A partir da diferença de coeficientes de escoamento superficial entre cenários de pós e pré-urbanização, foi proposto pelo cálculo do Método Racional um volume de 1,26 m<sup>3</sup>, sendo que foi adotado por questões construtivas o valor de 1,00 m<sup>3</sup>, com dimensões laterais de 1,00 e 2,00 m e altura de 0,50 m. Conhecida a vazão de saída máxima permitida, a altura do reservatório e adotado o coeficiente

de descarga para o orifício regulador de vazão, foi determinado o diâmetro do mesmo.

As medições dos eventos reais de precipitação ocorreram por meio de um pluviógrafo. Já o monitoramento do nível de água para posterior determinação da vazão foi realizado por meio de um linígrafo. Dessa forma foi possível determinar hidrogramas, relações de armazenamento e comportamento do reservatório para oito eventos escolhidos de precipitação. As reduções de picos obtidas nesses eventos foram de 38%, 7%, 44%, 50%, 10%, 15%, 9% e 18%.

Notaram-se problemas de obstrução dos orifícios reguladores de vazão, sendo recomendado pelo autor que sejam previstos cestos ou telas para coleta de sedimentos anteriormente à entrada no reservatório.

### 3.5.3 Controle do Escoamento com Detenção em Lotes Urbanos

Foi avaliada por Cruz, Tucci e Silveira (1998) a utilização de reservatórios de detenção em lotes considerados usuais para a cidade de Porto Alegre-RS, com áreas de 300, 400, 500 e 600 m<sup>2</sup>, sendo as frentes com 10, 12, 15 e 16 m, respectivamente. A determinação dos volumes necessários ocorreu com base em modelo hidrológico de precipitação-vazão.

Para o cálculo do tempo de concentração foi adotada a distância da diagonal dos lotes, com uma declividade de 4%. Com base na curva IDF da cidade, para precipitações com 25 minutos de duração e tempos de retorno de 2 e 5 anos, adotaram-se valores de 61 e 73 mm/h, respectivamente. O escoamento nos lotes foi simulado considerando-se as perdas iniciais e a infiltração.

O volume de detenção foi determinado para manter as condições de pré-desenvolvimento nos lotes, ou seja, calculado a partir das diferenças entre o hidrograma de entrada no reservatório (condição de pós-ocupação) e o hidrograma de saída do reservatório (condição de pós-ocupação). A propagação em reservatórios foi baseada no Método de Pulz, buscando-se otimizar o valor de amortecimento, baseado nas estimativas anteriores e associado às estruturas extravasoras, sendo elas vertedores e orifícios reguladores de vazão. O conjunto foi determinado de modo que a combinação da tubulação de extravasamento com o

volume de amortecimento fornecesse valores de pico mínimos, inferiores aos do cenário de pré-ocupação.

Foram analisados seis tipos de estruturas de controle: reservatório lacrado com 1,00 m de profundidade, reservatório lacrado com 0,40 m de profundidade, reservatório cilíndrico com 0,60 m de diâmetro, reservatório aberto gramado, reservatório com infiltração em solo batido com 1,00 m de profundidade e reservatório com infiltração em solo batido com 0,40 m de profundidade.

Como resultados para o maior lote analisado (600 m<sup>2</sup>), os volumes de detenção ficaram entre 2,00 e 2,50 m<sup>3</sup> na condição de total impermeabilização. Para o mesmo lote, porém com 50% de área impermeabilizada, os valores de detenção foram de 1,00 e 1,50 m<sup>3</sup>, dependendo do tipo de estrutura analisada.

#### 3.5.4 Análise da Influência dos Reservatórios de Detenção Domiciliares no Escoamento Superficial Urbano Aplicados na Estimativa de Vazões Críticas Geradas em uma Quadra Padrão

Francischet e Filho (2011) simularam a utilização de dois tipos de reservatórios de contenção de cheias para a cidade de Uberlândia-MG, com volumes de 3,25 m<sup>3</sup> e 5,015 m<sup>3</sup>, adotando um lote padrão de 300 m<sup>2</sup>, com as seguintes características físicas: área construída com 70% de área de telhado, 20% de área gramada e 10% de piso pavimentado. A partir do lote padrão foi determinada uma quadra padrão.

Para o primeiro reservatório, com volume de 5,015 m<sup>3</sup> determinado a partir de relações entre vazões de pré e pós-urbanização, foram simuladas eficiências para precipitações com duração de trinta minutos e tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, obtendo-se reduções de vazão para o lote padrão e para a quadra padrão. Para o segundo reservatório, com volume de 3,25 m<sup>3</sup>, também foram obtidas reduções de vazão para a duração da precipitação e tempos de retorno citados. Porém, nesse caso houve necessidade de adicionar mais um orifício regulador de vazão ao reservatório. Os valores de eficiência obtidos são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Eficiências obtidas para o lote padrão e quadra padrão

| Tempo de retorno (anos) | Reservatório com V=5,015m <sup>3</sup> |                             | Reservatório com V=3,25m <sup>3</sup> |                             |
|-------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|                         | Eficiência no lote padrão              | Eficiência na quadra padrão | Eficiência no lote padrão             | Eficiência na quadra padrão |
| <b>2</b>                | 74,02%                                 | 64,72%                      | 37,24%                                | 37,38%                      |
| <b>5</b>                | 70,15%                                 | 65,10%                      | 17,25%                                | 24,02%                      |
| <b>10</b>               | 67,93%                                 | 63,96%                      | 12,48%                                | 21,74%                      |
| <b>15</b>               | 66,84%                                 | 63,23%                      | 11,48%                                | 20,99%                      |
| <b>20</b>               | 66,15%                                 | 62,71%                      | 11,20%                                | 18,51%                      |
| <b>25</b>               | 65,64%                                 | 62,32%                      | 11,16%                                | 16,70%                      |
| <b>50</b>               | 63,92%                                 | 61,11%                      | 11,69%                                | 11,73%                      |
| <b>100</b>              | 62,35%                                 | 59,98%                      | 6,22%                                 | 7,52%                       |

Fonte: Adaptado de Francischet e Filho (2011)

### 3.5.5 Análise da Utilização de Reservatórios de Contenção de Cheias em Edificações e o Seu Impacto no Sistema de Drenagem Urbana

Souza (2013), com o intuito de avaliar o impacto da utilização de reservatórios de contenção de cheias na rede de drenagem urbana, simulou cenários com e sem a utilização desta medida de controle. Para tal, foi adotado como área de estudo um condomínio real da cidade de Curitiba-PR, composto por 131 lotes residenciais, calçadas, ruas, bosques e gramados.

A redução da vazão de contribuição dos lotes residenciais atingiu o valor médio de 66,3%, havendo valores específicos para cada um dos lotes analisados. Ao se considerar toda a área de estudo, com as demais áreas do condomínio não amortecidas pelos reservatórios, a redução da vazão de pico foi de 33,4%.

Foram avaliadas e dimensionadas redes de drenagem em ambas as situações, bem como indicados os custos dos dois sistemas. Com a utilização dos reservatórios de contenção de cheias nos lotes, o custo geral ficou maior, visto a necessidade de redes em toda a área de estudo, bem como os reservatórios em si. Porém, se considerar o caso de um bairro, parte dos custos seria por conta dos proprietários, além de que a rede de drenagem possuiria menores diâmetros e profundidades, podendo significar redução de custos à jusante do sistema.



### 3.5.6 Dimensionamento de Reservatórios de Detenção para Condomínios Horizontais para Controle de Cheias

Figueiredo e Nunes (2010), a partir da determinação de um condomínio hipotético na cidade de Curitiba-PR, o qual era constituído por dez lotes residenciais e uma área comum, e estimativas de que a vazão de pico após a implantação do condomínio seria aproximadamente nove vezes superior à vazão anterior à sua implantação, dimensionaram o volume ideal para um reservatório de contenção de cheias reduzir a vazão de pico gerada pelo condomínio em situação de pós-urbanização para um valor próximo da vazão máxima de pré-desenvolvimento.

O intervalo de volumes considerados aceitáveis estaria entre 72,20 m<sup>3</sup> e 76,70 m<sup>3</sup>. No caso, o cálculo baseado no Decreto nº 176/2007 (CURITIBA, 2007) resultaria em um reservatório de 95 m<sup>3</sup>, 32% maior do que o estimado pelos autores. Criticou-se também o fato da referida legislação não relacionar o volume calculado com a área em planta e a lâmina de água, fator que tem grande importância para a mensuração da redução da vazão de pico.

Além disso, uma simulação realizada com a configuração de reservatório com base nas recomendações da legislação municipal mostrou que, mesmo com um reservatório maior, em razão do diâmetro do orifício sugerido, o critério de manutenção da vazão máxima de pré-urbanização não seria satisfeito. Para satisfazer tal condição mantendo a dimensão do orifício regulador de vazão, seria necessário diminuir a lâmina de água, o que causaria aumento da área em planta do reservatório.

### 3.5.7 Uso de Reservatórios de Detenção em Lotes de Condomínio para Atenuação de Cheias

A pesquisa de Serathiuk e Martins (2011) aborda o mesmo estudo realizado por Figueiredo e Nunes (2010), porém com o dimensionamento de reservatórios individuais para cada lote e um reservatório para a área comum do condomínio. Para tal, foram determinados cenários de estudo que consideravam e não

consideravam a frente impermeável do lote no dimensionamento da rede de drenagem do lote. Além disso, foram adotados critérios de que a vazão de pós-urbanização não deveria ser superior à vazão de pré-urbanização no nível do lote e no nível do condomínio.

Na escala de lote, que possuía área de 450 m<sup>2</sup>, sendo 75% impermeável, obteve-se um reservatório com volume de 3,79 m<sup>3</sup>, para o qual era direcionada toda a vazão de contribuição do lote, inclusive a frente. Ao desconsiderar a frente impermeável no valor de 150 m<sup>2</sup>, o volume do reservatório reduziu para 2,12 m<sup>3</sup>. A menor soma dos volumes dos reservatórios dos lotes com o reservatório do condomínio foi de 47,56 m<sup>3</sup>, ou seja, 34,12% menor do que o menor valor encontrado por Figueiredo e Nunes (2010).

### 3.5.8 Atenuação de Picos de Vazão em Área Problema: Estudo Comparativo de Reservatórios de Detenção em Lote, em Logradouros e em Grande Área da Bacia

Com o objetivo de analisar as técnicas compensatórias para drenagem urbana, Silva e Cabral (2014) adotaram para a cidade de Recife-PE uma área de estudo com 38,66 ha e taxa de impermeabilização média de 88,70%. Foram então simulados reservatórios de detenção em lotes, ruas e na bacia como um todo, utilizando dados de precipitações intensas que ocasionaram inundações na cidade e, principalmente, na bacia de estudo.

Para a detenção em lotes utilizou-se como base 16 unidades vistoriadas com área média de 530 m<sup>2</sup>. Os volumes foram estimados a partir do Método das Perdas por Reservação Natural e do Método das Chuvas, sendo adotados reservatórios com 8 m<sup>3</sup>, julgados suficientes para atender ambos os métodos em precipitações com duração de 60 minutos. Foram obtidas em simulações reduções de vazão de 39,5 e 43% para orifícios reguladores de vazão com dimensões de 25 e 20 mm, respectivamente.

Para a detenção em ruas foi necessário dividir a bacia em cinco setores, sendo então calculados reservatórios para cada um dos setores. Como havia limitações de espaço nos logradouros, os volumes adotados para os reservatórios

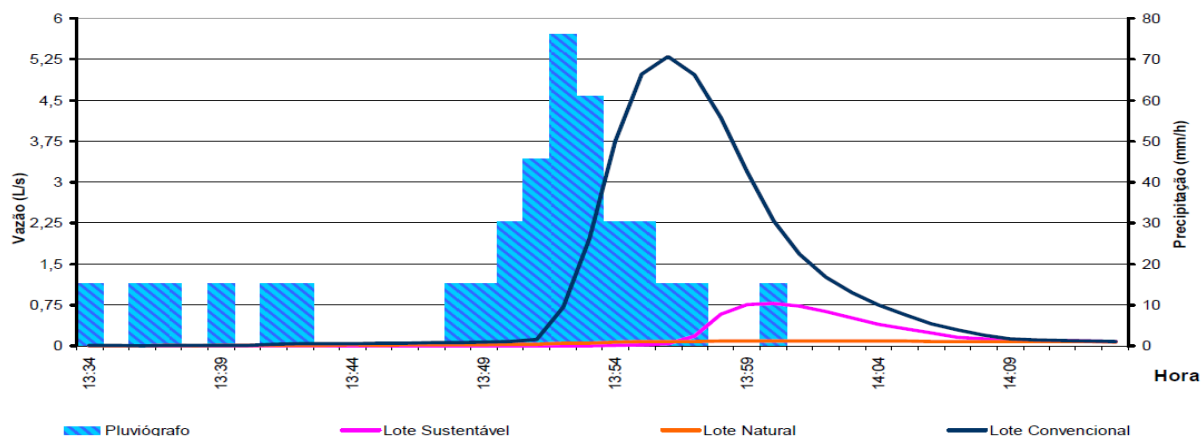
foram provenientes do Método das Perdas por Reservação Natural, menores que os volumes estimados pelo Método das Chuvas. As vazões foram reduzidas em média 42%, apresentando picos de redução no valor de 60%.

Para a detenção ao nível da bacia foi dimensionado pelo Método das Chuvas um reservatório com volume total de 5696,5 m<sup>3</sup>, chegando a 81% sua eficiência no amortecimento de vazões.

### 3.5.9 Análise Hidrológica Experimental de Lotes Urbanos Sob Formas Diferenciadas de Ocupação e Controle de Inundação

Campos (2007) estudou em experimento prático na cidade de Bertioga-SP a utilização de reservatórios de contenção de cheias utilizando diferentes cenários para determinação das vazões de contribuição e coeficientes de escoamento superficial. Foram utilizados três lotes urbanos de iguais dimensões, medindo 12 (doze) metros de frente por 30 (trinta) metros de comprimento, com as seguintes características de ocupação: lote natural (sem intervenção), lote convencional (com 75% de sua área impermeabilizada) e lote sustentável (igual ao convencional, porém com a utilização de dois microrreservatórios com volume útil total de 1,50 m<sup>3</sup>, ambos dotados também de trincheiras de infiltração).

A partir da medição pluviométrica e da vazão proporcionada em 15 (quinze) eventos de precipitação, o lote sustentável apresentou redução de vazão média no valor de 81,1% se comparado com o lote convencional. Na Figura 11 é demonstrado o comportamento dos três lotes para chuvas de curta duração.



**Figura 11 – Hidrogramas e hietogramas dos lotes experimentais**  
**Fonte: Campos (2007)**

Ao avaliar os coeficientes médios de escoamento superficial, o autor obteve o valor de 0,72 para o lote convencional, apresentando ajuste dentro do esperado para esse tipo de área, com picos de vazão correspondentes aos picos de precipitação ocorridos. O lote sustentável apresentou coeficiente no valor de 0,10, enquanto o lote natural apresentou o valor de 0,38. Ainda, para chuvas de curta duração, as lâminas de água escoadas no lote sustentável foram próximas às lâminas de água escoadas no lote natural, confirmando o efeito da presença do reservatório de contenção de cheias, que teve sua eficiência melhorada pelo fato de contar também com dispositivos de infiltração na sua base.

### 3.6 PESQUISAS INTERNACIONAIS ENVOLVENDO RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS

Alguns resultados não foram considerados no comparativo do ANEXO D em função da impossibilidade de relacioná-los com as demais pesquisas.

Campisano et al. (2014) simularam reservatórios de contenção vinculados ao reúso de águas pluviais em seis residências no sul da Itália, baseando-se na interface entre as precipitações e a demanda de água doméstica em banheiros. Notou-se que pode haver significativa redução dos picos de vazão, sendo que o tamanho dos reservatórios e o consumo de água interferem na eficiência obtida.

Palla, Gnecco e Barbera (2017) também pesquisaram essa interface em um condomínio de edifícios na cidade de Gênova, Itália, utilizando modelo computacional para calcular os reservatórios a partir do dimensionamento previsto pela norma italiana, que considera parâmetros de precipitação anual e parâmetros de demanda anual de consumo de água. A instalação desses sistemas de captação contribuiu para aumentar o desempenho hidrológico da rede de drenagem urbana, obtendo valores máximos de redução de pico de 65%, ficando a média em 33%.

Sterren, Rahman e Ryan (2014), ao realizem experimento prático na cidade de Sydney, Austrália, considerando a interface do reservatório de contenção com reúso de águas, obtiveram de 40 a 80% dos valores de vazão de saída menores que os valores de vazão de entrada no reservatório.

Coombes et al. (2003), em pesquisas em Parramatta, Austrália, utilizaram opções de reservatórios de águas pluviais para comparar as eficiências da interface do reúso com a contenção de cheias. Para o lote residencial em estudo com área de 600 m<sup>2</sup>, sendo um total de 350 m<sup>2</sup> de áreas impermeáveis, a legislação local exigiria um reservatório de contenção com 28,2 m<sup>3</sup> e orifício regulador de vazão de 48 mm.

Foram simulados quatro cenários para cada tempo de retorno no valor de 1, 2, 5 e 100 anos: lote sem nenhuma medida de controle, lote com o reservatório previsto na legislação, lote com reservatório no volume de 10 m<sup>3</sup> utilizado somente para reúso e lote com reservatório de 10 m<sup>3</sup> considerando metade para reúso e metade para contenção de cheias. No último caso, o mesmo reservatório foi utilizado para ambos os fins, com o volume inferior para reúso, caracterizado pela presença de orifício regulador de vazão de 30 mm no seu nível da lâmina de água e o volume acima dessa lâmina para contenção. Os resultados são demonstrados na Tabela 2.

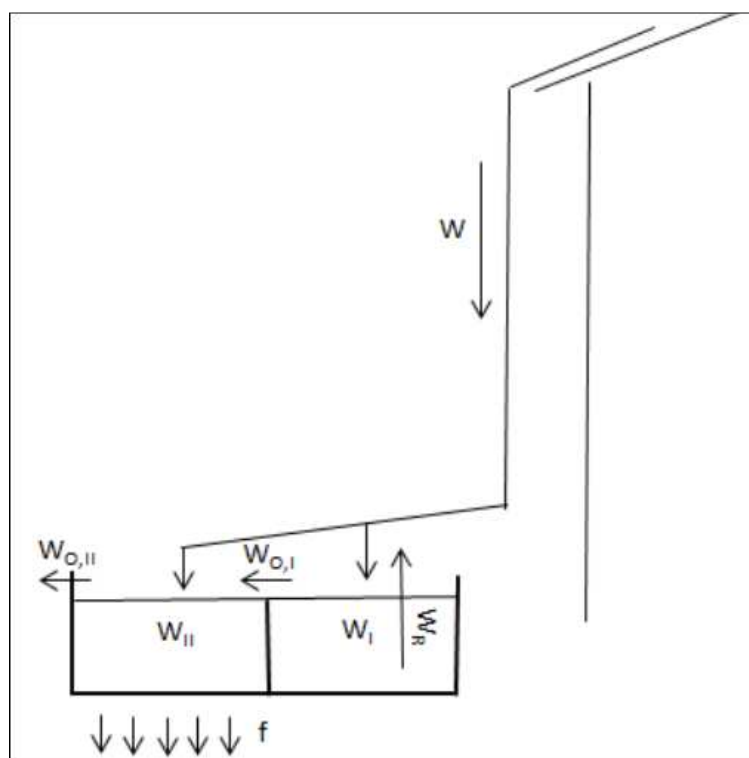
**Tabela 2 – Vazões de saída para o lote em estudo**

| Cenário   | Vazão de saída (m <sup>3</sup> /s) para tempos de retorno (anos) |       |       |       |
|---|--|-------|-------|-------|
|   | 1  | 2     | 5     | 100   |
| <b>Sem medida de controle</b>   | 0,009  | 0,032 | 0,056 | 0,165 |
| <b>Reservatório legislação</b>  | 0,001  | 0,002 | 0,003 | 0,049 |
| <b>Reservatório reúso (10 m<sup>3</sup>)</b>                              | 0,005  | 0,025 | 0,050 | 0,162 |
| <b>Reservatório reúso (5 m<sup>3</sup>) e contenção (5 m<sup>3</sup>)</b> | 0,005  | 0,021 | 0,043 | 0,156 |

Fonte: Adaptado de Coombes (2003)

O reservatório previsto pela legislação reduziu significativamente as vazões em todos os tempos de retorno. Já os reservatórios de reúso e reúso aliado à contenção de cheias reduziram significativamente as descargas máximas para os tempos de retorno de até 2 anos, sendo ineficazes para tempos superiores (COOMBES et al., 2003).

Nesta mesma linha de pesquisa, Raimondi e Becciu (2014a), ao assumirem que abordagens tradicionais de drenagem de águas pluviais urbanas podem ser insuficientes para gerir adequadamente o desequilíbrio do ciclo da água ocasionado pela urbanização, propuseram um sistema de reservatório multiuso, conforme esquematizado na Figura 12.



**Figura 12 – Esquema de reservatório de água pluvial multiuso**  
Fonte: Adaptado de Raimondi e Becciu (2014a)

Nesta figura  $W$  é a água pluvial coletada pelo telhado,  $W_R$  é o volume de utilização da água pluvial,  $W_I$  é o volume do primeiro compartimento (tanque de aproveitamento das águas pluviais),  $W_{II}$  é o volume do segundo compartimento (bacia de infiltração),  $f$  é a taxa de infiltração na saturação,  $W_{0,I}$  é o volume de transbordamento do primeiro para o segundo compartimento e  $W_{0,II}$  é o volume de

transbordamento do segundo compartimento para o sistema de drenagem. Havendo possibilidade de reutilizar a água, a vazão é direcionada ao tanque de aproveitamento e, quando o mesmo estiver cheio, transbordará para a bacia de infiltração. Somente após isso as vazões seriam direcionadas para o sistema de drenagem urbana. Tal modelo permite uma série de combinações de utilizações da água, otimizando o seu uso e contribuindo para um correto manejo de águas pluviais (RAIMONDI; BECCIU, 2014a).

Sterren e Rahman (2015) apontaram ser possível reduzir o volume dos reservatórios de contenção de cheias se forem consideradas estruturas combinadas que permitam o uso da água pluvial para diversos fins, porém seria necessário atender certos parâmetros de qualidade.

Todeschini, Papiri e Ciaponi (2012) e UDFCD (2015) afirmaram que os reservatórios de contenção podem ser ferramentas contra a poluição das águas pluviais. Neste contexto, Becciu e Raimondi (2015) estudaram a relação dos tempos de detenção de águas pluviais em reservatórios com o objetivo de garantir intervalos suficientes para a sedimentação de poluentes contidos nas precipitações, enquanto Calabrò e Viviani (2006) apontaram que reservatórios de detenção podem ser bons agentes na retenção de sólidos suspensos provenientes de eventos de precipitação.

Muschalla et al. (2014) apresentaram um estudo de simulação para controle em tempo real de bacias de águas pluviais com a utilização de válvulas, objetivando melhorar a qualidade da água e diminuir o estresse hidráulico no corpo receptor, sendo obtidas reduções de vazão de 50%. Dessa forma, agrega-se mais uma função aos reservatórios.

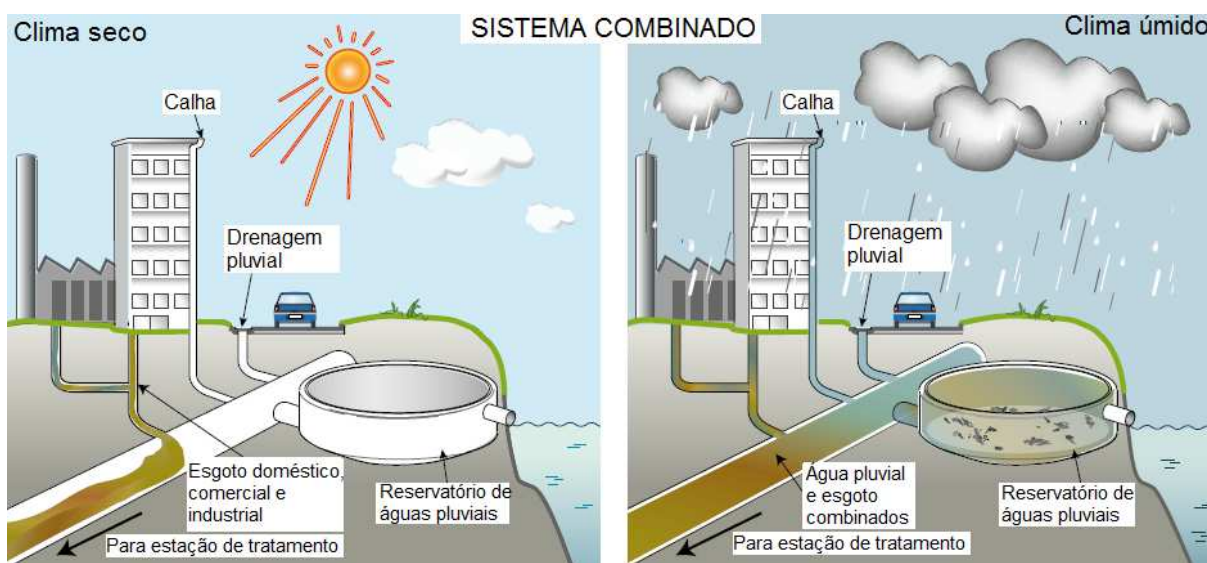
Neste contexto, sistemas de armazenamento de águas pluviais podem, além de reduzir o escoamento de águas pluviais para sistemas de drenagem urbana, ajudar na redução de poluição dos corpos de água receptores a jusante. Por estes motivos, alguns países incentivam medidas de reaproveitamento de água através de subsídios ou da introdução de regulamentos que tornem a sua implementação conveniente ou até mesmo obrigatória (RAIMONDI; BECCIU, 2014b).

Campisano et al. (2017) destacaram, para o cenário de reservatórios de águas pluviais, a importância e influência das políticas e regulamentações governamentais, indicando a necessidade de mais pesquisas sobre como o apoio institucional e sociopolítico pode contribuir para melhorar a eficácia do sistema e a aceitação da comunidade.

Vários países têm promovido o armazenamento e reutilização da água pluvial, também com o intuito de economia de água potável, como China, Austrália, Índia, Japão, Inglaterra e Alemanha (ALADENOLA; ADEBOYE, 2010). Como exemplo, tem-se o caso da Califórnia, Estados Unidos da América, que no passado priorizou o rápido escoamento da água pluvial em seu sistema de drenagem urbana e, nos dias atuais, sofre com secas prolongadas. Tal conceito precisa ser revisto para que a grande quantidade de água precipitada num curto período do inverno possa ser armazenada para utilização em períodos secos (WILCOX, 2015).

Ainda, pode-se citar o caso em que os sistemas de esgoto e águas pluviais são interligados, como ocorre em diversos países da Europa e América do Norte (TSUTIYA; BUENO, 2005), sendo os reservatórios de contenção de cheias uma excelente solução para regular os fluxos de águas pluviais que entram no sistema de esgoto (PORTES; VALLE, 2014).

Ao utilizar os reservatórios de contenção de cheias, evita-se parte da sobrecarga sobre o sistema de tratamento de esgoto, sendo mais interessante inserir reservatórios para as águas pluviais do que atualizar todo o sistema para atender ao aumento de vazão de águas pluviais proporcionado pelo crescimento da urbanização e geração de áreas impermeáveis (GRUNDFOS, 2012). Na Figura 13 é demonstrado um esquema do sistema unitário ou combinado e a sua interface com o reservatório de contenção de cheias em épocas com clima seco ou úmido.



**Figura 13 – Sistema unitário e sua interface com reservatório de contenção de cheias**  
Fonte: Adaptado de Grundfos (2012)



Como exemplo, pode-se citar o caso da cidade de Milwaukee, no estado de Wisconsin, Estados Unidos da América, que possui problemas de sobrecargas do sistema unitário durante a ocorrência de grandes eventos de precipitação. Para resolver o problema, têm-se estudado uma série de medidas sustentáveis para a drenagem urbana, dentre elas a utilização de reservatórios de contenção de cheias, que poderiam ainda ser combinados com medidas que promovem a infiltração das águas pluviais (JONES, 2014).

A partir disso é possível fazer uma analogia ao caso do sistema separador absoluto, utilizado no Brasil (TSUTIYA; BUENO, 2005), visto que acréscimos de vazões de águas pluviais em função do aumento da urbanização, também prejudicam o sistema de drenagem urbana, sobrecarregando as galerias pluviais e aumentando o risco da ocorrência de inundações.

Para ilustrar de forma completa o que tem sido desenvolvido internacionalmente nesta área visando futuras necessidades de integração com outros sistemas urbanos, tem-se o caso de Singapura, que atualmente está avaliando um sistema integrado de drenagem urbana subterrânea e reservatório de água. Tal sistema integraria túneis de transporte de águas pluviais, reservatórios subterrâneos e um sistema de armazenamento por bombeamento que incluiria a geração de energia hidrelétrica (NOVELLI, 2016).

### 3.7 LEGISLAÇÃO RELACIONADA AOS RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS

O uso de reservatórios de contenção de cheias como medida de controle pode reduzir os gastos do poder público na área de drenagem urbana, visto que a obrigatoriedade de sua utilização transfere a responsabilidade do controle de vazões e os custos relacionados à sua implantação ao proprietário do lote (TASSI, 2002). Lengler, Leuck e Mendes (2014) apontam como viável criar um benefício tributário aos proprietários que realizem obras de amortecimento da vazão de contribuição de seus lotes, compensando total ou parcialmente os custos particulares investidos.

Embora a maioria das cidades brasileiras não possua legislação específica, as principais capitais passaram a adotar medidas de controle com a utilização de reservatórios de contenção de cheias (DRUMOND; COELHO; MOURA, 2011).

O dimensionamento do reservatório de contenção de cheias para a cidade de Curitiba-PR é orientado pelo Decreto Municipal nº 176/07 (CURITIBA, 2007). O volume de reservação deve ser calculado a partir da Equação 1.

$$V = k \times i \times A_i \quad (1)$$

em que:  $V$  ( $m^3$ ) é o volume do reservatório;  $k$  é a constante dimensional fixada pelo decreto no valor de 0,20;  $i$  é a intensidade da precipitação fixada pelo decreto no valor de 0,080 m/h;  $A_i$  ( $m^2$ ) é área impermeabilizada conforme parâmetros do decreto.

Na Tabela 3 são destacados os critérios para definição do diâmetro do orifício regulador de vazão em função do volume calculado.

**Tabela 3 – Diâmetro do orifício regulador em função do volume do reservatório**

| <b>Volume (<math>m^3</math>)</b> | <b>Diâmetro Orifício Regulador (mm)</b> |
|----------------------------------|---|
| Até 2                            | 25                                      |
| 3 a 6                            | 40                                      |
| 7 a 26                           | 50                                      |
| 27 a 60                          | 75                                      |
| 61 a 134                         | 100                                     |
| 135 a 355                        | 150                                     |
| 356 a 405                        | 200                                     |
| 406 a 800                        | 300                                     |
| 801 a 1300                       | 400                                     |
| 1301 a 2000                      | 500                                     |

**Fonte: Curitiba (2007)**

Os critérios para obrigatoriedade do uso dos reservatórios constam na referida legislação, que pode ser visualizada na íntegra no ANEXO A.

Dados referentes à Pesquisa Nacional do Saneamento Básico do ano de 2008, citada por Guerra (2011), apontam que apenas 11,9% dos 5564 municípios brasileiros apresentam algum dispositivo de contenção de águas pluviais. As maiores proporções de municípios com dispositivos coletivos de detenção e amortecimento de vazão das águas pluviais urbanas foram os Estados do Mato Grosso do Sul (53,8%), Paraná (31,8%) Mato Grosso (28,6%). No outro extremo, destacaram-se negativamente os Estados do Piauí (0,9%), Tocantins (2,9%) e Santa Catarina (3,1%) (PNSB, 2010).

Coelho, Page e Hora (2016), ao analisarem legislações municipais referentes ao assunto, indicaram a necessidade de conceber uma legislação em âmbito federal ou uma norma técnica brasileira para dimensionamento de reservatórios de contenção de cheias, considerando os respectivos parâmetros pluviométricos regionais.

Pode-se citar ainda que, embora a utilização de reservatórios de contenção de cheias seja medida obrigatória para aprovação de projetos em determinadas cidades, a falta de inspeções periódicas futuras por parte do poder público pode acarretar as faltas de manutenção e de uso adequado pelos proprietários, fazendo com que esta medida perca a sua função ao longo do tempo (UDFCD, 2017b).

Neste aspecto, Yamashita, Watanabe e Shimatani (2016) realizaram pesquisa por meio de questionários a dado número de moradores na cidade de Fukuoka, Japão. No caso, após grande inundação ocorrida em 2009, eles passaram a utilizar reservatórios de águas pluviais em seus lotes. Como resultado tem-se que, embora somente 9% dos moradores tenham apontado como principal vantagem do uso dos reservatórios a prevenção de cheias, 82% tornou-se mais consciente da frequência e intensidade da precipitação depois de começarem a usar a água armazenada para jardinagem e 95% recomendaram o uso para seus vizinhos.

Assim, a conscientização por meio do uso e visibilidade de suas vantagens pode ser uma forma de disseminação de medidas de controle contra cheias, que podem ser aliadas aos aspectos de reúso da água pluvial.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o cumprimento dos objetivos deste trabalho foram determinadas as características hidrológicas particulares da cidade de Curitiba-PR, tais como os coeficientes de escoamento superficial e a intensidade de precipitação, as quais foram utilizadas para o cálculo das vazões de contribuição e dos hidrogramas. A partir disto foi calculada a eficiência necessária para os reservatórios de contenção de cheias, bem como os intervalos de volumes adequados. Desta forma, para determinação da geometria dos reservatórios de contenção de cheias, foi simulada a propagação de vazões a partir de intervalos de áreas impermeáveis, gerando-se tabelas, gráficos e equações de todos os parâmetros necessários ao seu dimensionamento.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

No caso de Curitiba-PR, são propostas pela prefeitura municipal as “Normas para projetos de drenagem”, por meio da Secretaria Municipal de Obras Públicas, conforme ANEXO B. Porém, ao adotar os parâmetros de dimensionamento estabelecidos por tal norma para comparar situações de dimensionamento de elementos de drenagem urbana, Souza (2013) verificou que a imposição do uso de um coeficiente de escoamento superficial fixo no valor de 0,80, mesmo para áreas permeáveis, acarretaria em superdimensionamento do sistema de drenagem.

Considera-se que as “Normas para projetos de drenagem” não atendem ao proposto para o presente estudo, pois não são indicados parâmetros hidrológicos que otimizam o dimensionamento dos reservatórios de contenção de cheias, além de não levar em consideração os critérios tradicionais e consagrados apresentados na literatura referente ao assunto.

Portanto, os parâmetros hidrológicos adotados para dimensionamento dos reservatórios de contenção de cheias foram baseados no proposto na literatura consultada, conforme indicado nos respectivos itens.

#### 4.1.1 Transformação de Chuva em Vazão

Para determinação das vazões de contribuição foi adotado o Método Racional, indicado para áreas de até 2 km<sup>2</sup> e baseado na Equação 2 (TUCCI, 2009).

$$Q = C \times i \times A \quad (2)$$

em que: Q (m<sup>3</sup>/h) é a vazão de contribuição da área; C é o coeficiente de escoamento superficial; i (m/h) é a intensidade da precipitação; A (m<sup>2</sup>) é a área.

Embora seja simples, tal método é amplamente utilizado nos Estados Unidos da América, produzindo resultados satisfatórios em projetos de reservatórios de contenção de cheias (UDFCD, 2017a), assim como é o caso do Brasil.

#### 4.1.2 Coeficientes de Escoamento Superficial

Foram adotados coeficientes de escoamento superficial particulares para os casos de pré e pós-urbanização, sendo os valores baseados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Valores do coeficiente de escoamento C para diferentes superfícies**

| <b>Superfície</b>           | <b>Intervalo de C</b> | <b>Valor esperado de C</b> |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Pavimento</b>            |                       |                            |
| Asfalto                     | 0,70 a 0,95           | 0,83                       |
| Concreto                    | 0,80 a 0,95           | 0,88                       |
| Calçadas                    | 0,75 a 0,85           | 0,80                       |
| Telhado                     | 0,75 a 0,95           | 0,85                       |
| <b>Gramma, solo arenoso</b> |                       |                            |
| Plano (2%)                  | 0,05 a 0,10           | 0,08                       |
| Médio (2 a 7%)              | 0,10 a 0,15           | 0,13                       |
| Alta (7%)                   | 0,15 a 0,20           | 0,18                       |
| <b>Gramma, solo pesado</b>  |                       |                            |
| Plano (2%)                  | 0,13 a 0,17           | 0,15                       |
| Médio (2 a 7%)              | 0,18 a 0,22           | 0,20                       |
| Alta (7%)                   | 0,25 a 0,35           | 0,30                       |

Fonte: Tucci (2009)

Para o caso da pré-urbanização, na qual foi considerada que o terreno apresenta suas características naturais de escoamento, levou-se em conta que a bacia sedimentar da cidade de Curitiba-PR é constituída essencialmente pela Formação Guabirota, composta principalmente por argilas, conforme estudo de mapeamento geotécnico realizado por Talamini Neto (2001) e análise do Mapa Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2006).

Adotou-se então o valor de 0,25 para o coeficiente de escoamento superficial, calculado pela média dos valores esperados para solos pesados com declividades médias, com coeficiente 0,20, e declividades altas, com coeficiente 0,30. Peplau e Neves (2014), em estudos na cidade de Maceió-AL, adotaram tal coeficiente com base na vazão de restrição e capacidade do canal de macrodrenagem em estudo, efetuando análises e ponderações dos valores relacionados aos tipos de solo presentes na região.

Para o caso da pós-urbanização, na qual é considerada que o terreno apresenta suas características naturais de escoamento alteradas pela urbanização, adotou-se o valor de 0,84 para o coeficiente de escoamento superficial, média dos valores esperados para superfícies de asfalto, de concreto, calçadas e telhados.

#### 4.1.3 Intensidade de Precipitação para a Cidade de Curitiba-PR

Para determinação da intensidade de precipitação foi adotada a Equação 3, proposta por Fendrich (2003). Proveniente da estação Curitiba – Prado Velho (PUCPR), foi elaborada com dados obtidos entre os anos de 1981 a 1999.

$$i = \frac{5726,64 \times TR^{0,159}}{(t + 41)^{1,041}} \quad (3)$$

em que:  $i$  (mm/h) é a intensidade de precipitação; os valores numéricos são parâmetros característicos da IDF da cidade de Curitiba-PR;  $TR$  é o tempo de retorno em anos;  $t$  é a duração da precipitação em minutos.

Franco (2004), ao comparar diversas equações para chuvas intensas num tempo de retorno de 10 anos, aponta que esta equação pode ser utilizada tanto para

durações com menos de duas horas quanto para durações de até 24 horas, o que atende ao solicitado para dimensionamento de elementos pertencentes à drenagem urbana, caso dos reservatórios de contenção de cheias.

Para determinação do tempo de retorno, Tassi e Villanueva (2004) estudaram o impacto que microrreservatórios implantados em lotes causam nos custos de uma rede de drenagem urbana. Os referidos autores afirmaram que a combinação de tempos de retorno com maior economia financeira, acompanhada de boa eficiência nas redes de macrodrenagem, seria o dimensionamento dos microrreservatórios e microdrenagem para tempo de retorno de 5 anos, enquanto o dimensionamento da rede de macrodrenagem seria para tempo de retorno de 10 anos.

Para o caso dos reservatórios de contenção de cheias, baseando-se na justificativa de economia financeira nas redes de drenagem a sua jusante, adotou-se o tempo de retorno no valor de 5 anos, o qual também se encontra dentro do intervalo apresentado na Tabela 5 para projetos de drenagem pluvial.

**Tabela 5 – Tempos de retorno para projeto de pequenas obras hidráulicas**

| <b>Tipo de Obra</b>  | <b>Tempo de Retorno (anos)</b> |
|--|--------------------------------|
| Drenagem que atravessa rodovias de acordo com a intensidade de tráfego | 10 a 50                        |
| Pista de aeroporto   | 5                              |
| Drenagem pluvial   | 2 a 10                         |
| Pequenos diques  | 2 a 50                         |
| Drenagem agrícola  | 5 a 50                         |

**Fonte: Tucci (2009)**

Não foi necessário corrigir os coeficientes de escoamento adotados, pois o fator de correção é igual a 1,00 para tal tempo de retorno, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Fator de correção do coeficiente de escoamento C

| Tempo de retorno (anos) | Cf   |
|-------------------------|------|
| 2 a 10                  | 1,00 |
| 25                      | 1,10 |
| 50                      | 1,20 |
| 100                     | 1,25 |

Fonte: Tucci (2009)

Para determinação da duração da precipitação foi utilizado o cálculo proposto por Botelho (1998), em que o tempo de concentração ( $t_c$ ) de uma bacia é igual ao somatório do tempo de escoamento superficial ( $t_s$ ) acrescido de 10 minutos, conforme demonstrado na Equação 4.

$$t_c = t_s + 10\text{min} \quad (4)$$

O tempo de escoamento superficial ( $t_s$ ) é apresentado, em minutos, na Equação 5 (BOTELHO, 1998).

$$t_s = \frac{16 \times L}{(1,05 - 0,2 \times p) \times (100 \times S)^{0,04}} \quad (5)$$

em que: L (km) é a distância entre o ponto mais distante da área contribuinte ao ponto considerado; p é a porcentagem da área permeável da bacia (valor absoluto); S (m/m) é a declividade média do terreno ao longo do trecho L considerado.

O tempo de escoamento superficial foi simulado a partir das áreas genéricas de impermeabilização adotadas para o presente estudo, conforme será abordado no item 4.1.5. Foi considerado que tais áreas possuíam formato quadrado, sendo o caminho percorrido pela água em uma das laterais dessa área o valor adotado para a distância L da Equação 5, ou seja, a raiz quadrada da área impermeabilizada. Considerou-se que a porcentagem de área permeável é zero, visto que toda a área é impermeabilizada. Ainda, a declividade média das áreas foi considerada no valor de 1%. Tal equação considera que sempre haverá declividade mínima, de modo a ser possível calcular o tempo de escoamento superficial.



A partir do tempo de escoamento superficial foi possível determinar o tempo de concentração, valor a ser adotado também para duração da precipitação, conforme previsto por Botelho (1998) e Canholi (2005).

A intensidade da precipitação foi então adotada a partir da curva IDF da cidade de Curitiba-PR (Equação 3), para tempo de retorno e duração considerados.

#### 4.1.4 Vazões de Contribuição Pré e Pós-Urbanização

As vazões de pré e pós-urbanização foram determinadas por meio do Método Racional, com coeficientes de escoamento superficial específicos para pré-urbanização ( $C_{\text{pré-urb.}}$ ) e pós-urbanização ( $C_{\text{pós-urb.}}$ ), conforme Equações 6 e 7. Tais vazões correspondem, respectivamente, às vazões máximas de saída e entrada do reservatório de contenção de cheias, visto que o mesmo tem o objetivo de proporcionar que a área mantenha sua condição de pré-urbanização após ser impermeabilizada.

$$Q_{\text{pré-urb.}} = C_{\text{pré-urb.}} \times i \times A \quad (6)$$

$$Q_{\text{pós-urb.}} = C_{\text{pós-urb.}} \times i \times A \quad (7)$$

em que:  $Q_{\text{pré-urb.}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) é a vazão de contribuição da área no cenário de pré-urbanização (vazão de saída do reservatório);  $Q_{\text{pós-urb.}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) é a vazão de contribuição da área no cenário de pós-urbanização (vazão de entrada do reservatório);  $C_{\text{pré-urb.}}$  e  $C_{\text{pós-urb.}}$  são os coeficientes de escoamento superficial nos cenários de pré e pós-urbanização;  $i$  ( $\text{m}/\text{h}$ ) é a intensidade da chuva;  $A$  ( $\text{m}^2$ ) é a área.

#### 4.1.5 Determinação das Áreas de Estudo

Para determinação dos valores das áreas de estudo foram simuladas as vazões de contribuição de uma área genérica no valor total de 1.000 m<sup>2</sup>, dividida em porcentagens permeáveis e impermeáveis a cada 10%. Tais valores, demonstrados na Tabela 7, serviram apenas como exemplo de cálculo para que pudessem ser obtidas correlações numéricas entre as vazões de pré e pós-urbanização.

**Tabela 7 – Áreas e porcentagens permeáveis e impermeáveis da área genérica de estudo**

| Área permeável |                | Área impermeável |                |
|----------------|----------------|------------------|----------------|
| %              | m <sup>2</sup> | %                | m <sup>2</sup> |
| 100%           | 1000           | 0%               | 0              |
| 90%            | 900            | 10%              | 100            |
| 80%            | 800            | 20%              | 200            |
| 70%            | 700            | 30%              | 300            |
| 60%            | 600            | 40%              | 400            |
| 50%            | 500            | 50%              | 500            |
| 40%            | 400            | 60%              | 600            |
| 30%            | 300            | 70%              | 700            |
| 20%            | 200            | 80%              | 800            |
| 10%            | 100            | 90%              | 900            |
| 0%             | 0              | 100%             | 1000           |

A vazão total de contribuição da área genérica foi dada pelo somatório das vazões oriundas das áreas permeáveis e impermeáveis, que são iguais às vazões de pré e pós-urbanização, respectivamente. No cálculo da vazão de contribuição das áreas permeáveis foi aplicado o coeficiente de pré-urbanização e, no cálculo da porcentagem de áreas impermeáveis, o coeficiente de pós-urbanização, conforme Equações 8 e 9.

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{perm.}} + Q_{\text{imp.}} \quad (8)$$

$$Q_{\text{total}} = (C_{\text{pré-urb.}} \times i \times A_{\text{perm.}}) + (C_{\text{pós-urb.}} \times i \times A_{\text{imp.}}) \quad (9)$$

em que:  $Q_{total}$  ( $m^3/h$ ) é a vazão de contribuição total da área genérica;  $Q_{perm.}$  e  $Q_{imp.}$  ( $m^3/h$ ) são as vazões de contribuição das áreas permeáveis e impermeáveis;  $C_{pré-urb.}$  e  $C_{pós-urb.}$  são os coeficientes de escoamento superficial nos cenários de pré e pós-urbanização;  $i$  ( $m/h$ ) é a intensidade da precipitação;  $A_{perm.}$  e  $A_{imp.}$  ( $m^2$ ) são as áreas permeáveis e impermeáveis genéricas.

Foi determinado um coeficiente de escoamento superficial ponderado para a área total em função das porcentagens permeáveis e impermeáveis, conforme Equação 10.

$$C_{pond.} = \frac{(C_{pré-urb.} \times A_{perm.}) + (C_{pós-urb.} \times A_{imp.})}{A_{total}} \quad (10)$$

em que:  $C_{pond.}$  é o coeficiente de escoamento superficial ponderado;  $C_{pré-urb.}$  e  $C_{pós-urb.}$  são os coeficientes de escoamento superficial nos cenários de pré e pós-urbanização;  $A_{total}$  ( $m^2$ ) é a área genérica total;  $A_{perm.}$  e  $A_{imp.}$  ( $m^2$ ) são as áreas permeáveis e impermeáveis genéricas.

Logo, a vazão total de contribuição da área adotada também se torna ponderada em função das porcentagens de áreas permeáveis e impermeáveis, conforme Equação 11, obtida da substituição dos termos da Equação 10 na Equação 9.

$$Q_{total} = C_{pond.} \times i \times A_{total} \quad (11)$$

em que:  $Q_{total}$  ( $m^3/h$ ) é a vazão de contribuição total da área genérica;  $C_{pond.}$  é o coeficiente de escoamento superficial ponderado;  $i$  ( $m/h$ ) é a intensidade da chuva;  $A_{total}$  ( $m^2$ ) é a área genérica total.

A partir disso foi possível afirmar que o acréscimo de vazão de contribuição se dá somente pelo aumento das áreas impermeáveis (situação de pós-urbanização), visto o aumento do coeficiente de escoamento superficial ponderado, o que justifica basear o cálculo dos reservatórios de contenção de cheias apenas nas áreas impermeabilizadas. O dimensionamento proposto pelo Decreto nº 176/2007 da Prefeitura Municipal de Curitiba (CURITIBA, 2007) também se dá por meio das áreas impermeabilizadas presentes.

Foram então estabelecidas áreas impermeabilizadas genéricas, com formatos quadrados, em intervalos constantes, para os cálculos das vazões de entrada e saída dos reservatórios de contenção de cheias necessários para cada uma dessas áreas. Adotaram-se áreas com valores partindo de 100 m<sup>2</sup> e aumentando gradualmente em intervalos também de 100 m<sup>2</sup>, até atingir o máximo de 10.000 m<sup>2</sup>. Tal intervalo de áreas foi julgado suficiente para demonstrar o comportamento das simulações de propagação de vazão nos reservatórios em função da variabilidade de parâmetros obtidos, bem como representa dimensões coerentes para áreas impermeáveis em lotes urbanos.

#### 4.1.6 Hidrograma de Entrada no Reservatório

A definição do hidrograma de entrada é uma questão importante para o projeto dos reservatórios de contenção, de modo a identificar as condições de vazão que podem causar danos em determinado período de retorno. O *Soil Conservation Service*, pertencente ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, desenvolveu um hidrograma triangular baseado em observação empírica de como as bacias hidrográficas normalmente se comportam em chuvas intensas. O hidrograma de entrada pode ser calculado combinando a curva de intensidade, duração e frequência (IDF) com o Método Racional (HONG; YEH; CHEN, 2006).

Conforme proposto por Canholi (2005), foi adotado o hidrograma de entrada de vazões no reservatório pelo método do hidrograma triangular simplificado baseado no Método Racional. No caso, é considerado um hidrograma em forma de triângulo isósceles, sendo a base igual ao dobro do tempo de concentração. O tempo de duração da precipitação é o próprio tempo de concentração, sendo a precipitação considerada constante ao longo desse tempo. A vazão de pico do hidrograma é a vazão de pós-urbanização ( $Q_{\text{pós-urb.}}$ ), máxima de entrada para o reservatório, ocorrendo quando se atinge o tempo de concentração.

Durante uma precipitação de intensidade constante, o escoamento aumenta até alcançar um máximo no pico da vazão de entrada, momento em que cessa a precipitação e o escoamento passa gradualmente a reduzir, chegando a zero (HONG; YEH; CHEN, 2006).

Alves e Costa (2007) utilizaram tal método em sua pesquisa sobre estimativa de volumes para reservatórios de contenção. As Equações 12, 13 e 14 foram adaptadas de tal estudo e, com base nelas, é demonstrado como obter as vazões de entrada no reservatório a partir do tempo de concentração.

$$I_t = Q_{\text{pós-urb.}} \times \frac{t}{t_c}, \text{ para } 0 \leq t \leq t_c \quad (12)$$

$$I_t = Q_{\text{pós-urb.}} \times \left(2 - \frac{t}{t_c}\right), \text{ para } t_c < t \leq 2t_c \quad (13)$$

$$I_t = 0, \text{ para } t_c > 2t_c \quad (14)$$

em que:  $I_t$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) é a vazão de entrada no reservatório no instante  $t$ ;  $Q_{\text{pós-urb.}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) é a vazão máxima de entrada no reservatório (vazão de pós-urbanização);  $t_c$  (h) é o tempo de concentração.

Hong (2010) comparou resultados experimentais e teóricos para volumes de reservatórios gerados por hidrogramas triangulares, obtendo erros inferiores a 10% e concluindo que tal metodologia, pela sua simplicidade de cálculo, pode ser aplicada nesse tipo de estimativa para reservatórios. Hong (2008), assim como Paik (2008), utilizou hidrogramas triangulares em sua estimativa gráfica do volume de bacias de retenção para precipitações de curta duração, como é o caso do presente estudo.

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS

O dimensionamento dos reservatórios de contenção de cheias foi baseado nas áreas impermeabilizadas genéricas citadas. Portanto, para um eficiente funcionamento do sistema, o presente estudo prevê a futura manutenção das características atuais de ocupação dessas áreas de estudo.

#### 4.2.1 Relação entre Vazões de Pré e Pós-urbanização e Eficiência Desejada

A área impermeável considerada para o estudo é denominada efetiva, também designada como área impermeabilizada diretamente conectada (AIDC) ao sistema de drenagem urbana, ou seja, aquela que contribui para o escoamento superficial direto, sem passar por áreas permeáveis ou infiltrar no solo (GAROTTI; BARBASSA, 2010). Em estudo comparativo do comportamento hidrológico de áreas urbanizadas, Barbassa e Campos (2010) utilizaram lotes de iguais dimensões, sendo um em condições naturais e outro com 75% de impermeabilização. Foi possível afirmar que a área impermeabilizada funciona “diretamente conectada”, o que justifica adotar tal critério para esta pesquisa.

Logo, foram desconsideradas eventuais contribuições de vazão de áreas permeáveis que possam estar no entorno da área impermeável, tendo em vista a infinidade de possibilidades existentes, o que tornaria inviável criar uma regra única. Assim, o cálculo das vazões nos reservatórios de contenção de cheias se baseou somente nos valores de áreas impermeáveis dos lotes.

A relação entre vazões de pré e pós-urbanização (Equação 15) é proporcional aos coeficientes de escoamento superficial adotados para ambas essas situações, visto que na equação do Método Racional (Equação 2) o valor de intensidade de precipitação é o mesmo em ambos os cenários e a área permeável no cenário de pré-urbanização se torna impermeável no cenário de pós-urbanização.

Portanto, a porcentagem de eficiência mínima necessária a ser proporcionada pelos reservatórios de contenção de cheias é dada pela Equação 16.

$$\text{Relação} = \frac{Q_{\text{pré-urb.}}}{Q_{\text{pós-urb.}}} \therefore \frac{C_{\text{pré-urb.}} \times i \times A_{\text{pré-urb.}}}{C_{\text{pós-urb.}} \times i \times A_{\text{pós-urb.}}} \therefore \frac{C_{\text{pré-urb.}}}{C_{\text{pós-urb.}}} \quad (15)$$

$$\text{Eficiência}(\%) = \left( 1 - \frac{C_{\text{pré-urb.}}}{C_{\text{pós-urb.}}} \right) \times 100 \quad (16)$$

em que:  $Q_{\text{pré-urb.}}$  e  $Q_{\text{pós-urb.}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) são as vazões de contribuição da área nos cenários de pré e pós-urbanização;  $C_{\text{pré-urb.}}$  e  $C_{\text{pós-urb.}}$  são os coeficientes de escoamento

superficial nos cenários de pré e pós-urbanização;  $i$  (m/h) é a intensidade da chuva;  $A_{\text{pré-urb.}}$  e  $A_{\text{pós-urb.}}$  ( $\text{m}^2$ ) são as áreas nos cenários de pré e pós-urbanização.

Ao atingir a eficiência mínima desejada, os reservatórios serão capazes de compensar o acréscimo de vazão proporcionado pela impermeabilização daquela área (cenário de pós-urbanização), trazendo-a de volta para suas características de pré-urbanização em termos de vazão de contribuição.

#### 4.2.2 Determinação dos Volumes dos Reservatórios

Determinada a eficiência desejada conforme a Equação 16, o volume de detenção pode ser definido como o máximo armazenamento necessário para que a vazão de saída no cenário de pós-urbanização seja igual ou inferior à vazão existente no cenário de pré-urbanização (AGRA, 2001).

O cálculo do volume necessário não seguiu os parâmetros propostos no Decreto nº 176/2007 da Prefeitura Municipal de Curitiba (CURITIBA, 2007). Com o objetivo da busca pela melhoria do dimensionamento dos reservatórios com base nos parâmetros hidrológicos já caracterizados anteriormente e aliado ao fato da referida legislação não indicar parâmetros de eficiência para esses equipamentos, foram estimados volumes mínimo e máximo possíveis para atender às vazões de contribuição.

Para o cálculo do volume mínimo foi adotado o Método das Perdas da Reserva Natural, citado por Canholi (2005), no qual é sugerido o volume do reservatório sendo no mínimo igual ao volume perdido de reservação em função da urbanização. O volume a reservar seria a diferença entre o volume gerado pela urbanização e o volume de reservação natural, sendo o cálculo dos volumes dado a partir do produto das vazões pelo tempo de duração. Tal metodologia foi empregada por Silva e Cabral (2014) em seu dimensionamento para reservatórios na cidade do Recife-PE, bem como por Cruz, Tucci e Silveira (1998) em pesquisa sobre reservatórios de detenção para a cidade de Porto Alegre-RS.

O volume mínimo foi então calculado a partir da redução de vazão necessária, ou seja, a vazão de pré-urbanização ( $Q_{\text{pré-urb.}}$ ) reduzida do valor da

vazão de pós-urbanização ( $Q_{\text{pós-urb.}}$ ), dada pelo Método Racional, multiplicada pela duração da precipitação, conforme Equações 17 e 18.

$$V_{\text{mín}} = (Q_{\text{pós-urb.}} - Q_{\text{pré-urb.}}) \times t \quad (17)$$

$$V_{\text{mín}} = [(C_{\text{pós-urb.}} - C_{\text{pré-urb.}}) \times i \times A_{\text{imp.}}] \times t \quad (18)$$

em que:  $V_{\text{mín}}$  ( $\text{m}^3$ ) é o volume mínimo do reservatório;  $Q_{\text{pós-urb.}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) é a vazão de contribuição da área no cenário de pós-urbanização;  $Q_{\text{pré-urb.}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) é a vazão de contribuição da área no cenário de pré-urbanização;  $C_{\text{pós-urb.}}$  é o coeficiente de escoamento superficial no cenário de pós-urbanização;  $C_{\text{pré-urb.}}$  é o coeficiente de escoamento superficial no cenário de pré-urbanização;  $i$  ( $\text{m}/\text{h}$ ) é a intensidade da precipitação;  $A_{\text{imp.}}$  ( $\text{m}^2$ ) é a área genérica impermeabilizada;  $t$  ( $\text{h}$ ) é a duração da precipitação.

Neste caso, como a vazão de descarga pelo orifício regulador de vazão não ocorre em sua máxima capacidade desde o início, poderia ser necessário aumentar o volume mínimo calculado.

O volume máximo para o reservatório foi calculado a partir da vazão de pós-urbanização ( $Q_{\text{pós-urb.}}$ ), dada pelo Método Racional, multiplicada pela duração da precipitação, conforme Equações 19 e 20. Neste caso foi considerado que o reservatório deveria armazenar toda a vazão oriunda da área impermeabilizada, desconsiderando que ocorre simultaneamente a descarga pelo orifício regulador de vazão e que a vazão de entrada no reservatório é distribuída em formato de hidrograma triangular no intervalo de tempo total igual a dois tempos de concentração. Desta forma poderia ser possível reduzir o volume máximo calculado.

$$V_{\text{máx}} = Q_{\text{pós-urb.}} \times t \quad (19)$$

$$V_{\text{máx}} = (C_{\text{pós-urb.}} \times i \times A_{\text{imp.}}) \times t \quad (20)$$

em que:  $V_{\text{máx}}$  ( $\text{m}^3$ ) é o volume máximo do reservatório;  $Q_{\text{pós-urb.}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) é a vazão de contribuição da área;  $C_{\text{pós-urb.}}$  é o coeficiente de escoamento superficial no cenário de

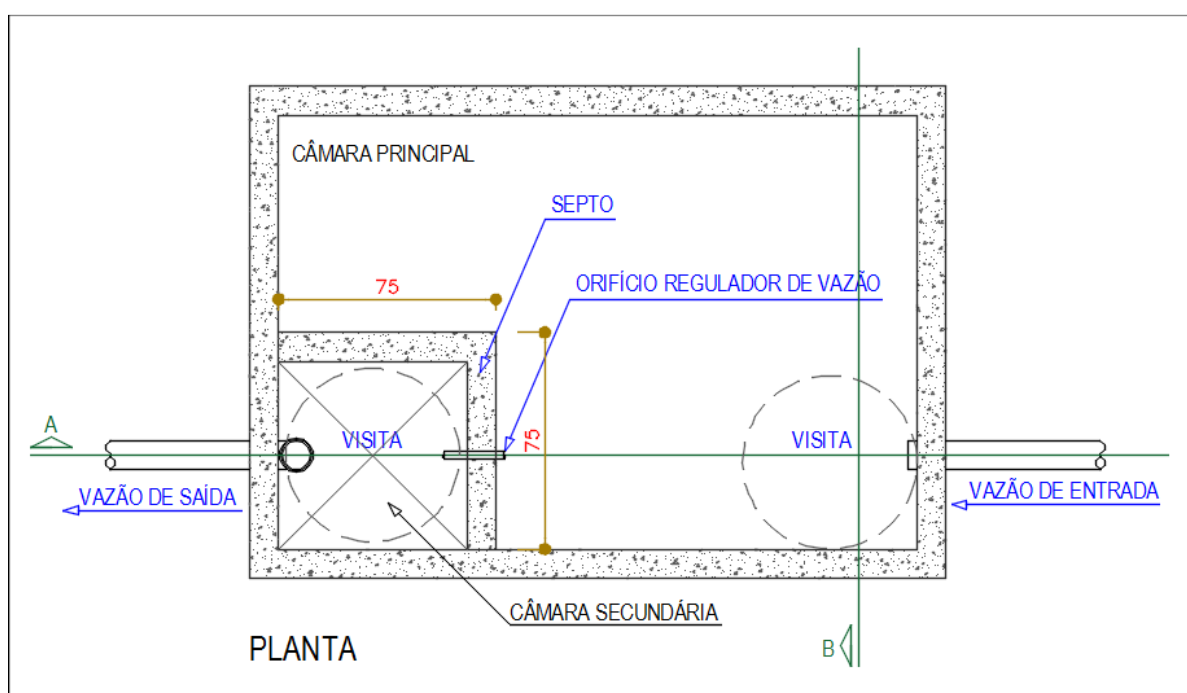


pós-urbanização;  $i$  (m/h) é a intensidade da precipitação;  $A_{imp.}$  (m<sup>2</sup>) é a área genérica impermeabilizada;  $t$  (h) é a duração da precipitação.

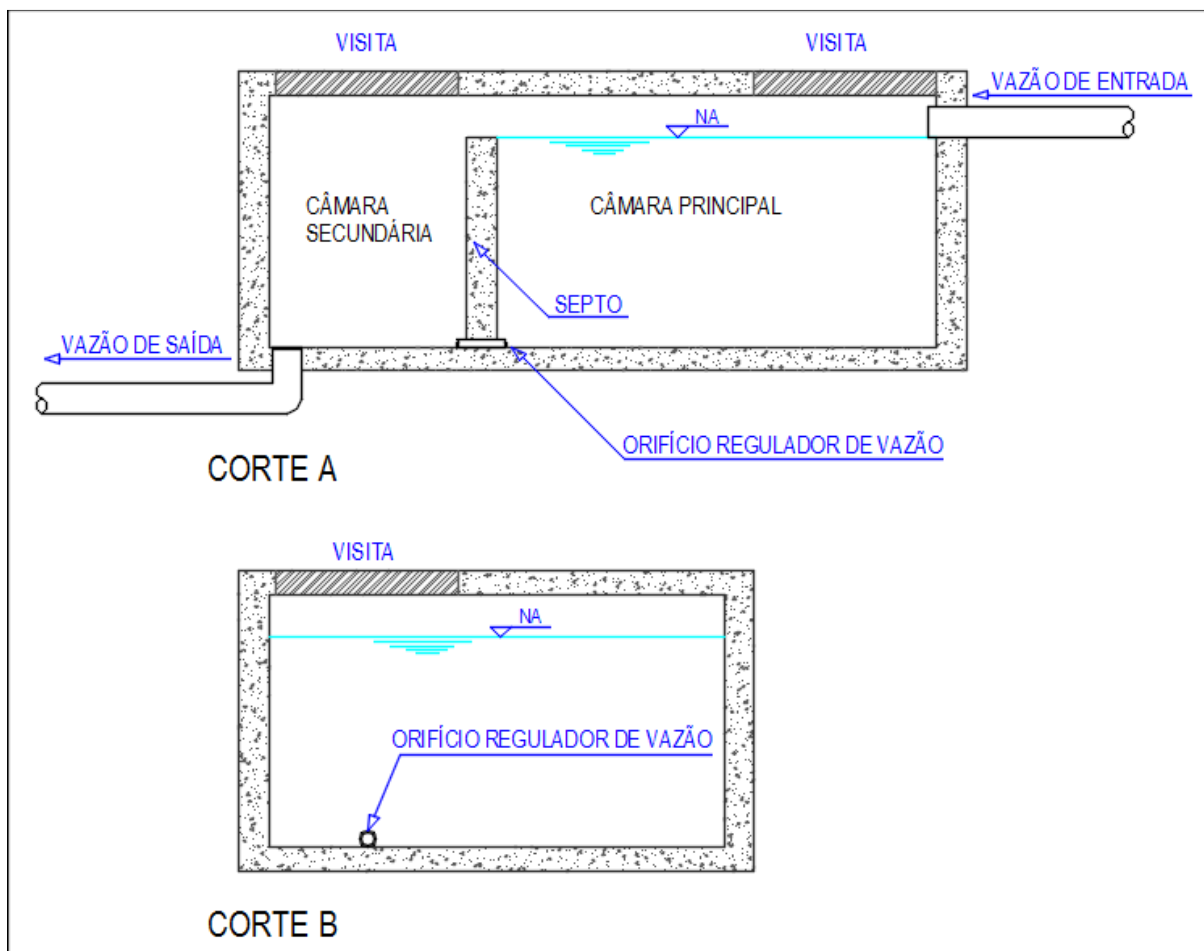
Tais estimativas citadas são metodologias preliminares, sendo necessário realizar os estudos de maneira mais abrangente, analisando variações de vazões efluentes em função das dimensões dos reservatórios e das estruturas de descarga (TASSI, 2002). Foram então simulados volumes ótimos baseados no intervalo de volumes dado pelas estimativas preliminares, analisando-se a possibilidade de reduzir o volume máximo calculado, bem como a de adotar o volume mínimo calculado, de modo a obter a menor dimensão possível para o reservatório.

#### 4.2.3 Propagação de Vazão em Reservatórios

Para o estudo da propagação de vazão nos reservatórios, vale relembrar, com o auxílio das Figuras 14 e 15, as características básicas de seus componentes, conforme citado no item 3.3.



**Figura 14 – Planta esquemática de um reservatório de contenção de cheias**  
**Fonte: Autoria própria**



**Figura 15 – Cortes esquemáticos de um reservatório de contenção de cheias**  
**Fonte: Autoria própria**

#### 4.2.3.1 Método de Pulz

O cálculo das vazões de saída foi baseado no Método de Pulz, o qual, de acordo com Tucci (2009), é um dos mais conhecidos para simulação de propagação em reservatórios, consistindo em uma expressão discretizada da equação de continuidade e na relação entre armazenamento e vazão do reservatório.

A descrição e utilização do método é dada por Cruz, Tucci e Silveira (1998), Brown, Stein e Warner (2001), Tassi (2002), Franco (2004) e Porto Alegre (2005), sendo adaptada e sintetizada nas seguintes etapas.

A equação da continuidade é dada pela Equação 21.

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (21)$$

em que:  $S$  ( $m^3$ ) é o armazenamento no trecho;  $I$  ( $m^3/h$ ) é a vazão de entrada no trecho;  $Q$  ( $m^3/h$ ) é a vazão de saída.

Sua discretização gera a Equação 22.

$$\frac{S_{t+\Delta t} - S_t}{\Delta t} = \frac{(I_t + I_{t+\Delta t})}{2} - \frac{(Q_t + Q_{t+\Delta t})}{2} \quad (22)$$

em que:  $I_t$  e  $I_{t+\Delta t}$  ( $m^3/h$ ) são as vazões de entrada no reservatório no instante  $t$  e  $t+\Delta t$ ;  $Q_t$  e  $Q_{t+\Delta t}$  ( $m^3/h$ ) são as vazões de saída do reservatório em  $t$  e  $t+\Delta t$ ;  $S_t$  e  $S_{t+\Delta t}$  ( $m^3$ ) são os armazenamentos em  $t$  e  $t+\Delta t$ ;  $\Delta t$  (h) é o intervalo de tempo.

Isso significa que em um curto período de tempo há fluxo de entrada e saída de água, sendo que essa diferença causa mudança no nível da água no reservatório (CIPOVOVÁ, 2011).

As duas incógnitas do problema são  $Q_{t+\Delta t}$  e  $S_{t+\Delta t}$ , pois os demais termos são conhecidos em função do hidrograma de entrada e do fornecimento da situação inicial de armazenamento do reservatório. Reorganizando a Equação 22 com as variáveis desconhecidas do lado esquerdo e as conhecidas do lado direito, tem-se a Equação 23.

$$Q_{t+\Delta t} + \frac{2 \times S_{t+\Delta t}}{\Delta t} = I_t + I_{t+\Delta t} - Q_t + \frac{2 \times S_t}{\Delta t} \quad (23)$$

Visto que se tem apenas uma equação para resolver duas incógnitas, torna-se necessária uma equação adicional que relacione a vazão de saída do reservatório com o estado de armazenamento do mesmo. Tal relação é dada pela Equação 24.

$$Q = f(S) \quad (24)$$

A relação entre  $S$  e  $Q$  é estabelecida com base na relação cota *versus* armazenamento, função da geometria do reservatório e obtida pela sua cubagem, e

na relação cota versus vazão de saída, função dos tipos de extravasores do reservatório, que podem ser vertedouros e descarregadores de fundo.

Para vertedouros, caso do septo divisor existente entre as câmaras primária e secundária, tem-se a Equação 25.

$$Q_s = C_v \times B \times (z - z_k)^{3/2} \quad (25)$$

em que:  $Q_s$  ( $m^3/s$ ) é a vazão de saída;  $C_v$  é o coeficiente de descarga do vertedouro na importância de 2,00, dentro do intervalo de valores obtido por Guimarães (2011) em ensaios para vertedouro de crista retilínea com perfil plano;  $B$  (m) é a largura do vertedouro adotada em 1,50 m, considerando-se um septo divisor quadrado com 0,75 m de lado, com dois lados funcionando como vertedouro (Figura 14);  $z$  (m) é a cota da lâmina de água;  $z_k$  (m) é a cota da crista do vertedouro.

Para descarregadores de fundo, caso do orifício regulador de vazão, tem-se a Equação 26.

$$Q_s = C_d \times A_0 \times \sqrt{2 \times g \times h_0} \quad (26)$$

em que:  $Q_s$  ( $m^3/s$ ) é a vazão de saída;  $C_d$  é o coeficiente de descarga do orifício no valor adimensional de 0,6, indicado por Canholi (2005) para orifícios com cantos vivos;  $A_0$  ( $m^2$ ) é a área transversal do orifício;  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,81 m/s^2$ );  $h_0$  (m) é a altura da lâmina de água acima do eixo central do orifício.

Utilizando a função da Equação 24 é possível construir uma segunda função auxiliar, para a determinação de  $Q_{t+\Delta t}$ , conforme Equação 27.

$$Q = f1\left(Q + \frac{2 \times S}{\Delta t}\right) \quad (27)$$

Normalmente essa função é conhecida em formato de tabela auxiliar, na qual para cada ordenada haverá um valor de  $S$ , dividido pelo intervalo de tempo de cálculo e somado à vazão para definir a nova abcissa, gerando então a função  $f1$ .

Com base nas Equações 23 e 27 foi possível simular o escoamento no reservatório por meio dos seguintes passos:

1. Para o início do cálculo é necessário definir o volume inicial do reservatório ( $S_0$ ), que depende dos critérios do estudo em análise. Conhecido  $S_0$  é calculado  $Q_0$  através da função entre as duas variáveis (Equação 24);
2. Para o intervalo de tempo seguinte devem ser determinados os termos do lado direito da Equação 23;
3. O termo da direita é igual à abcissa da função  $f_1$ , então ao entrar com esse valor na função é obtida a vazão  $Q_{t+\Delta t}$ ;
4. Conhecido  $Q_{t+\Delta t}$  é determinado  $S_{t+\Delta t}$  através da função que relaciona essas variáveis.

Os passos 2 ao 4 se repetem para todos os intervalos de tempo considerados.

#### 4.2.3.2 Simulações em planilhas

O procedimento das simulações de cálculo para as vazões de saída dos reservatórios de cada uma das áreas genéricas adotadas foi realizado em planilhas do Microsoft Excel. Os passos, de maneira resumida e direta, baseados no Método de Pulz, são:

1. Considerou-se inicialmente o reservatório vazio, sem conter água de eventos anteriores de precipitação;
2. A vazão de entrada no reservatório foi dada a partir do hidrograma de entrada calculado anteriormente, que demonstrou a variação de vazão ao longo do tempo;
3. A partir do intervalo de volumes estimado foi adotada uma primeira estimativa para o volume ( $m^3$ ), para a área de base ( $m^2$ ) e para o diâmetro do orifício regulador de vazão (mm), de modo a permitir o início das simulações pelo Método de Pulz;
4. A estimativa do diâmetro do orifício regulador de vazão foi feita com base no proposto pelo Decreto nº 176/2007 da Prefeitura Municipal de Curitiba (CURITIBA, 2007), de acordo com os intervalos de volumes estimados. O

diâmetro foi alterado quando se julgou necessário em função das eficiências e geometrias obtidas por meio das simulações de propagação de vazão. Conforme previsto por Cruz, Tucci e Silveira (1998), a associação do orifício regulador de vazão aos valores obtidos das estimativas de volume teve o intuito de obter o melhor conjunto de geometria e tubulações de descarga possível para o reservatório;

5. Com o objetivo de obter a melhor simulação para dada vazão de contribuição, foi necessário adotar diâmetros não existentes comercialmente. Como exemplo, tem-se o diâmetro de 125 mm, valor intermediário entre os diâmetros de 100 mm e 150 mm existentes. Tal critério pode ser justificado pelo comportamento das vazões no reservatório, pois o diâmetro de 150 mm pode proporcionar vazões muito diferentes das vazões proporcionadas pelo diâmetro de 100 mm. Uma boa alternativa é adotar um diâmetro intermediário no valor de 125 mm, fazendo com que a oscilação do comportamento do reservatório não seja tão abrupta, obtendo-se melhores curvas de vazão e geometria. Essa solução é viável pelo fato de ser possível adaptar diâmetros existentes para permitir a execução em obra. Em tal exemplo, basta recortar uma tubulação de 150 mm e a reduzir para o diâmetro de 125 mm;
6. Foram consideradas as variações de volumes internos de água e as respectivas lâminas de água no reservatório a cada décimo de minuto, intervalo de tempo adotado para o estudo;
7. A vazão de entrada referente a cada intervalo de tempo foi transformada em volume, o qual atingiu determinada lâmina de água;
8. A vazão de saída de cada intervalo de tempo foi calculada a partir das estruturas de descarga do reservatório (Equações 25 e 26), sendo então transformada em volume;
9. O volume remanescente no reservatório foi dado pela diferença de volumes entre entrada e saída no intervalo de tempo adotado;
10. No próximo intervalo de tempo, somou-se o volume remanescente à próxima contribuição de entrada, obtendo uma nova lâmina de água;
11. Esse ciclo de cálculo foi repetido até o reservatório não receber mais contribuições de vazão e, por consequência, ser esvaziado em intervalos de tempo posteriores;

12. Analisados os resultados da vazão de saída obtida a partir da primeira estimativa de volume ( $m^3$ ), área de base ( $m^2$ ) e diâmetro do orifício regulador de vazão (mm), novas estimativas foram realizadas para simulação conforme necessidade de melhoria da eficiência do reservatório. Tal procedimento foi realizado até ser obtida a eficiência mínima desejada para sua redução de vazão, bem como com o objetivo de adotar o mínimo volume possível para reduzir o custo de execução do reservatório;
13. A vazão máxima de saída obtida é a que determinou a máxima altura da lâmina de água no reservatório, valor adotado então para a altura do seu septo divisor. Além do extravasamento pelo orifício regulador de vazão, foi considerada a possibilidade de haver extravasamento por cima do septo divisor, que possui função de vertedouro. Porém, a vazão de saída total, dada pelo somatório das vazões do orifício regulador de vazão e do vertedouro, deveria se manter dentro do valor que permitisse a eficiência mínima desejada para o reservatório;
14. Foram adotadas medidas coerentes para execução em obra e que apresentaram um resultado satisfatório na redução de vazão, compensando o cenário de pós-urbanização e trazendo a área impermeabilizada de volta para o cenário de pré-urbanização em termos de vazão de contribuição.

Estes passos foram repetidos para cada uma das áreas genéricas impermeabilizadas, de modo a ser possível obter um padrão de evolução para os parâmetros de dimensionamento dos reservatórios.

Foram então geradas tabelas, gráficos e equações baseadas nestas simulações. Conhecida a área impermeabilizada a ser mitigada pelo uso do reservatório será possível obter todos os demais parâmetros (volume, dimensão do orifício regulador de vazão, área de base e altura da lâmina de água) para o eficiente dimensionamento do reservatório de contenção de cheias.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da determinação dos parâmetros hidrológicos e o consequente cálculo de vazões de contribuição e dos hidrogramas de entrada no reservatório de cada área genérica impermeabilizada, determinou-se o volume necessário para que o mesmo atingisse a eficiência necessária na redução de vazão. A propagação de vazões permitiu determinar os demais parâmetros de dimensionamento do reservatório, sendo eles a área de base, a altura da lâmina de água e o diâmetro do orifício regulador de vazão. Dessa forma foi possível caracterizar o comportamento desses parâmetros em gráficos e equações para diversas áreas impermeabilizadas.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

#### 5.1.1 Determinação do Tempo de Concentração

Os tempos de escoamento superficial ( $t_s$ ) calculados por meio da Equação 5 para diversas áreas impermeabilizadas são demonstrados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Simulações do tempo de escoamento superficial para as áreas genéricas**

| Área impermeabilizada (m <sup>2</sup> ) | L (m)  | $t_s$ (min) |
|---|--------|-------------|
| 100                                     | 10,00  | 0,152       |
| 1000                                    | 31,62  | 0,482       |
| 2000                                    | 44,72  | 0,681       |
| 3000                                    | 54,77  | 0,835       |
| 4000                                    | 63,25  | 0,964       |
| 5000                                    | 70,71  | 1,077       |
| 6000                                    | 77,46  | 1,180       |
| 7000                                    | 83,67  | 1,275       |
| 8000                                    | 89,44  | 1,363       |
| 9000                                    | 94,87  | 1,446       |
| 10000                                   | 100,00 | 1,524       |



As simulações baseadas apenas no caminhamento retilíneo e com inclinação de 1% a percorrer pela água permitiram afirmar que o tempo de escoamento superficial é muito pequeno, mesmo para áreas impermeabilizadas maiores. Caso existam declividades maiores que o valor adotado, o tempo de escoamento superficial será ainda menor.

Para a precisa determinação do tempo de escoamento superficial seriam necessários diversos outros critérios, como a distância vertical das tubulações de descida de águas pluviais, as quais seriam demonstradas somente em um projeto específico. Como não é possível determinar tais fatores de maneira genérica, optou-se por desprezar o valor do tempo de escoamento superficial.

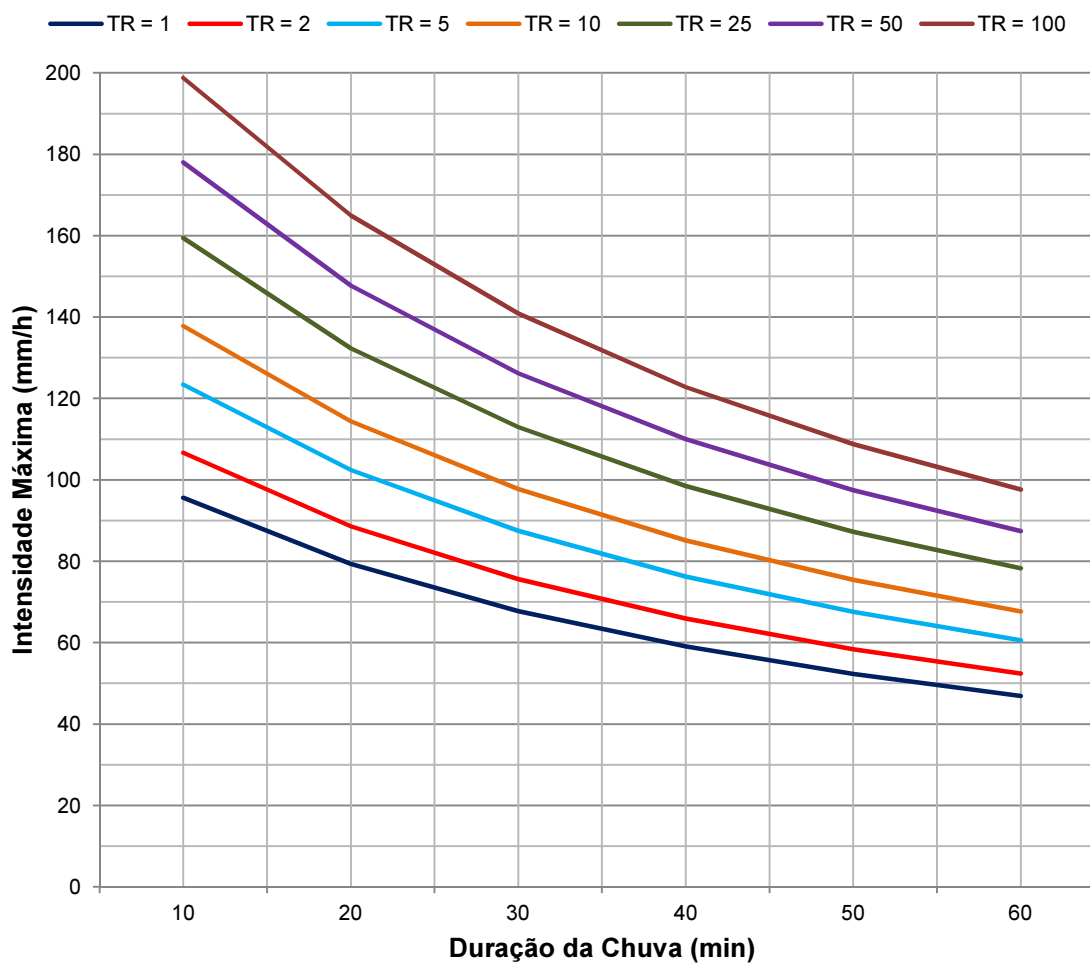
Logo, o tempo de concentração possui valor igual a 10 minutos, grandeza adotada também para a duração da precipitação.

#### 5.1.2 Determinação da Intensidade da Precipitação

A partir da equação de chuvas intensas adotada para a cidade de Curitiba-PR foi obtida a curva IDF da cidade, como demonstrado no Gráfico 1, oriundo da Tabela 9.

**Tabela 9 – Intensidades máximas (mm/h) obtidas a partir da equação de chuvas intensas para a cidade de Curitiba-PR**

| TR (anos) | Duração t da chuva (min) |        |        |        |        |       |
|-----------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
|           | 10                       | 20     | 30     | 40     | 50     | 60    |
| 1         | 95,57                    | 79,32  | 67,72  | 59,04  | 52,30  | 46,92 |
| 2         | 106,70                   | 88,56  | 75,61  | 65,92  | 58,40  | 52,39 |
| 5         | 123,44                   | 102,45 | 87,47  | 76,26  | 67,56  | 60,61 |
| 10        | 137,82                   | 114,39 | 97,67  | 85,15  | 75,43  | 67,67 |
| 25        | 159,44                   | 132,33 | 112,98 | 98,50  | 87,26  | 78,28 |
| 50        | 178,01                   | 147,74 | 126,15 | 109,98 | 97,43  | 87,41 |
| 100       | 198,76                   | 164,96 | 140,84 | 122,79 | 108,78 | 97,59 |



**Gráfico 1 – Curva IDF da cidade de Curitiba-PR**

Adotou-se para o dimensionamento dos reservatórios de contenção de cheias a intensidade de 123,44 mm/h, ou seja, 0,12344 m/h, referente ao tempo de retorno de 5 anos e a duração de 10 minutos.

### 5.1.3 Simulação de Vazões de Contribuição em Área Teste

Os cálculos da simulação de vazões na área com valor de 1.000 m<sup>2</sup>, com variações de porcentagem entre áreas permeáveis e impermeáveis, são demonstrados na Tabela 10.

**Tabela 10 – Simulação de vazões de contribuição em área teste**

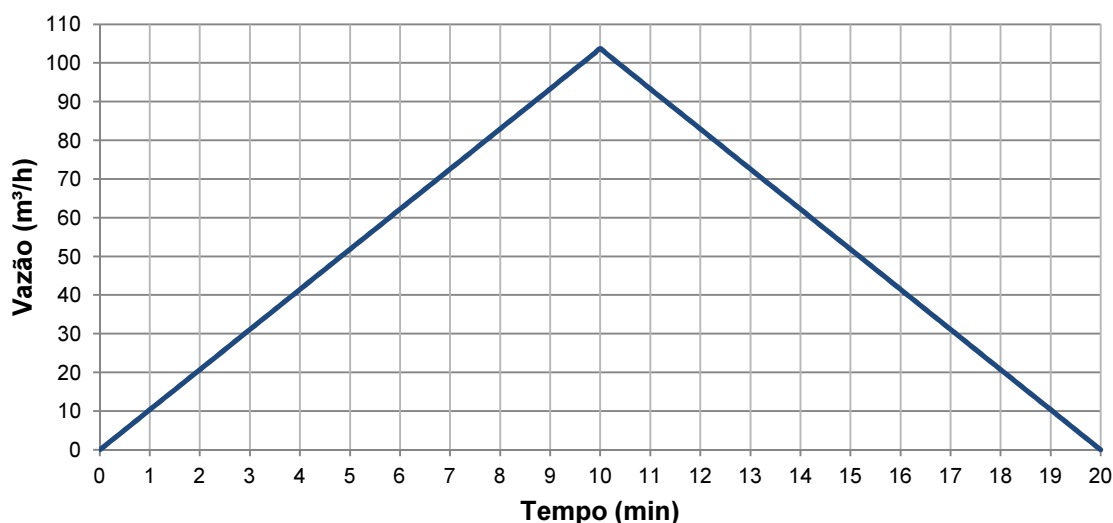
| Área permeável |                |   | Área impermeável |                |   | Área total  |                                 |
|----------------|----------------|---|------------------|----------------|---|-------------|---------------------------------|
| %              | m <sup>2</sup> | Vazão pré-urbanização (m <sup>3</sup> /h) | %                | m <sup>2</sup> | Vazão pós-urbanização (m <sup>3</sup> /h) | C ponderado | Vazão total (m <sup>3</sup> /h) |
| 100%           | 1000           | 30,86                                     | 0%               | 0              | 0,00                                      | 0,25        | 30,86                           |
| 90%            | 900            | 27,77                                     | 10%              | 100            | 10,37                                     | 0,31        | 38,14                           |
| 80%            | 800            | 24,69                                     | 20%              | 200            | 20,74                                     | 0,37        | 45,43                           |
| 70%            | 700            | 21,60                                     | 30%              | 300            | 31,11                                     | 0,43        | 52,71                           |
| 60%            | 600            | 18,52                                     | 40%              | 400            | 41,48                                     | 0,49        | 59,99                           |
| 50%            | 500            | 15,43                                     | 50%              | 500            | 51,84                                     | 0,55        | 67,27                           |
| 40%            | 400            | 12,34                                     | 60%              | 600            | 62,21                                     | 0,60        | 74,56                           |
| 30%            | 300            | 9,26                                      | 70%              | 700            | 72,58                                     | 0,66        | 81,84                           |
| 20%            | 200            | 6,17                                      | 80%              | 800            | 82,95                                     | 0,72        | 89,12                           |
| 10%            | 100            | 3,09                                      | 90%              | 900            | 93,32                                     | 0,78        | 96,41                           |
| 0%             | 0              | 0,00                                      | 100%             | 1000           | 103,69                                    | 0,84        | 103,69                          |

A análise dos resultados apresentados permite afirmar que os coeficientes de escoamento superficial ponderados aumentam gradativamente, partindo do valor de 0,25 (coeficiente para o cenário de pré-urbanização, quando a totalidade do terreno é permeável) e atingindo o valor de 0,84 (coeficiente para o cenário de pós-urbanização, quando a totalidade do terreno é impermeável).

Logo, foi possível demonstrar que a vazão total de determinada área aumenta proporcionalmente ao aumento das áreas impermeáveis presentes, cabendo aos reservatórios de contenção de cheias a função de compensar dado aumento de vazão.

#### 5.1.4 Hidrograma de Entrada no Reservatório

Para uma vazão de contribuição pós-urbanização no valor de 103,69 m<sup>3</sup>/h, utilizada para exemplo de uma área impermeabilizada no valor de 1.000 m<sup>2</sup>, o hidrograma de entrada no reservatório de contenção de cheias é demonstrado no Gráfico 2.



**Gráfico 2 – Exemplo de hidrograma de entrada (área de 1000 m<sup>2</sup>)**

A vazão de entrada aumenta gradativamente até alcançar o tempo de concentração no valor de 10 minutos, ponto no qual ocorre a máxima vazão de entrada no reservatório. A partir disso ocorre a diminuição gradativa das vazões até a mesma parar de ocorrer aos 20 minutos, equivalente a dois tempos de concentração. O comportamento dos hidrogramas correspondentes às vazões de entrada nos reservatórios das demais áreas genéricas simuladas foi semelhante ao apresentado para a vazão de contribuição da área no valor de 1.000 m<sup>2</sup>, variando-se apenas as importâncias de vazão nos instantes de tempo.

## 5.2 DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS

### 5.2.1 Eficiência Mínima Desejada

O cálculo da eficiência mínima desejada é dado pela Equação 28, originada da Equação 16.

$$\text{Eficiência (\%)} = \left(1 - \frac{C_{\text{pré-urb.}}}{C_{\text{pós-urb.}}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{0,25}{0,84}\right) \times 100 = 70,24\% \quad (28)$$

Logo, para que o reservatório se torne eficiente no amortecimento das vazões de contribuição geradas, é necessário que reduza o pico de vazão afluente ao reservatório em relação à vazão efluente do reservatório em 70,24%.

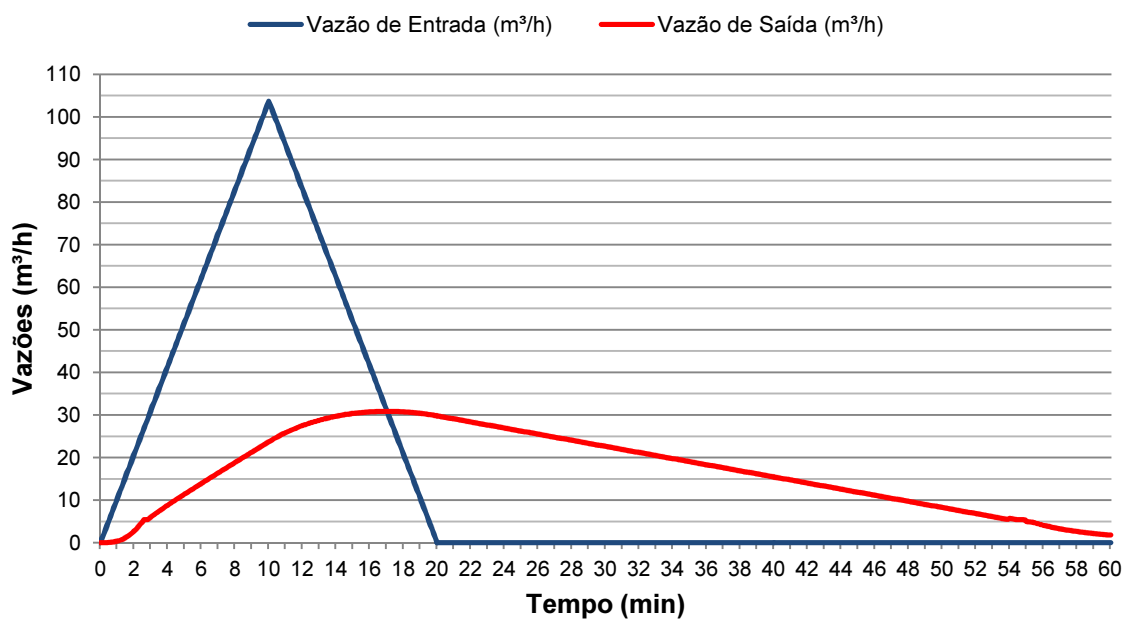
Ainda é possível obter mais uma relação sobre os coeficientes de escoamento superficial, conforme demonstrado na Equação 29.

$$\frac{C_{\text{pós-urb.}}}{C_{\text{pré-urb.}}} = \frac{0,84}{0,25} = 3,36 \quad (29)$$

Ao dividir o coeficiente de pós-urbanização pelo coeficiente de pré-urbanização, tem-se um resultado no valor de 3,36, o qual representa quantas vezes a vazão de uma área impermeabilizada é maior do que a vazão de uma área com terreno natural. Tal valor foi exemplificado na Tabela 10: a partir de uma área genérica de 1.000 m<sup>2</sup>, calcularam-se as vazões de pré-urbanização no valor de 30,86 m<sup>3</sup>/h e de pós-urbanização no valor de 103,69 m<sup>3</sup>/h.

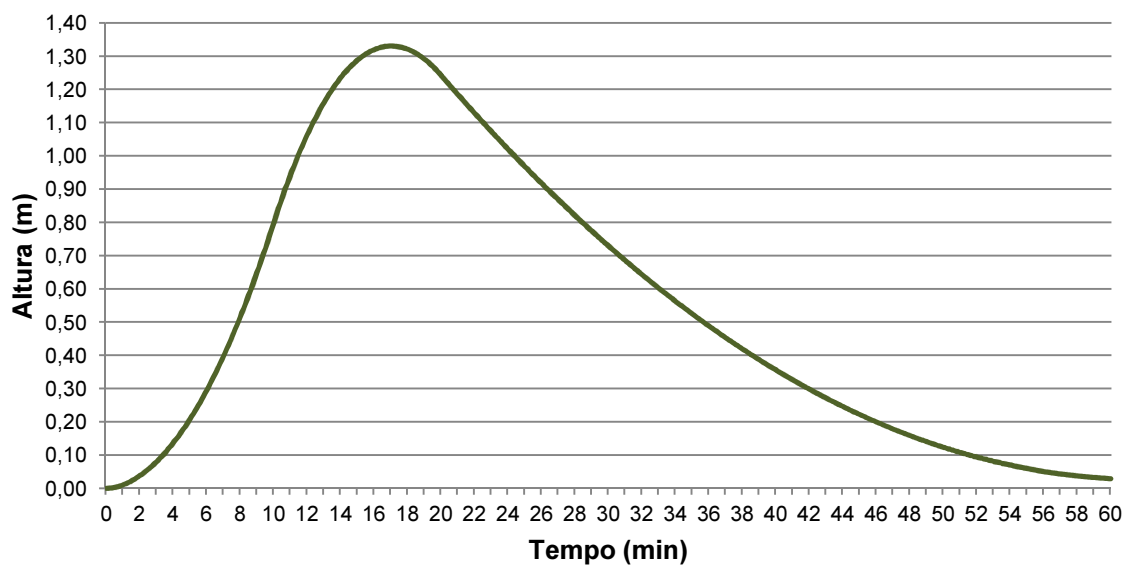
### 5.2.2 Simulações pelo Método de Pulz para Determinação das Características Geométricas dos Reservatórios

A partir de simulações para cada uma das áreas genéricas adotadas, foi gerado um hidrograma de vazões de saída do reservatório, conforme exemplo demonstrado no Gráfico 3, referente à área impermeabilizada no valor de 1.000 m<sup>2</sup>.



**Gráfico 3 – Vazões no reservatório de contenção de cheias (área de 1000 m<sup>2</sup>)**

Foi possível ainda determinar o comportamento da lâmina de água no reservatório ao longo do tempo, conforme demonstrado no exemplo do Gráfico 4, também referente à área impermeabilizada no valor de 1.000 m<sup>2</sup>.



**Gráfico 4 – Lâmina de água no reservatório de contenção de cheias (área de 1000 m<sup>2</sup>)**

Os hidrogramas e variações de lâminas de água correspondentes às demais áreas genéricas apresentaram comportamentos semelhantes, variando-se apenas os valores nos instantes de tempo.

A simulação da propagação de vazão nos reservatórios referentes às áreas genéricas impermeabilizadas permitiu a elaboração de tabela e gráfico que relacionam tais áreas às características geométricas dos reservatórios, sendo elas: volume adotado, área de base e diâmetro do orifício regulador de vazão.

No ANEXO C é apresentada a tabela completa que originou os valores do Gráfico 5, no qual são demonstrados os resultados obtidos, bem como uma comparação com o volume calculado de acordo com o Decreto nº 176/2007 (CURITIBA, 2007) e a eficiência atingida na redução de vazões.

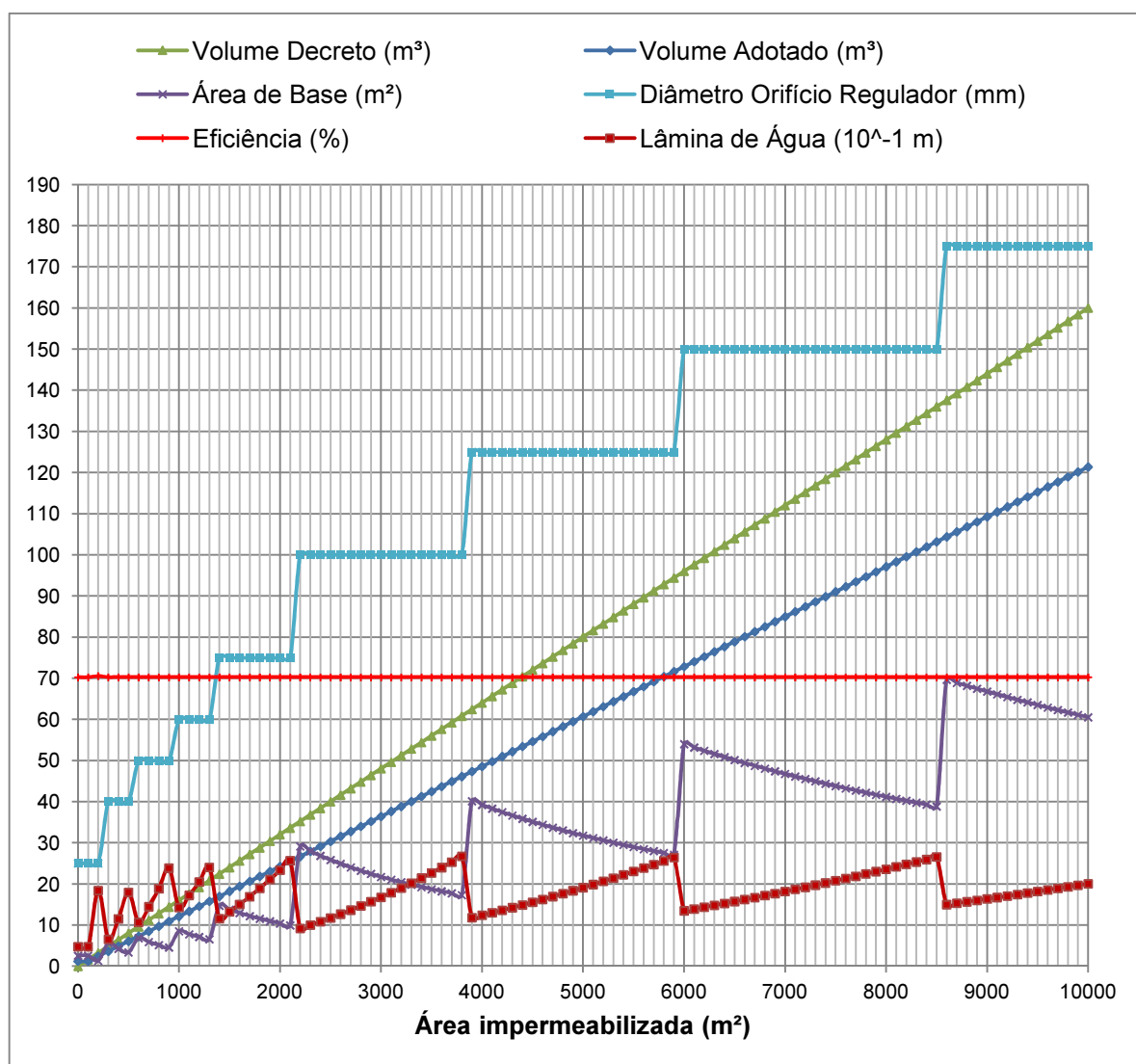


Gráfico 5 – Parâmetros de dimensionamento para reservatórios de contenção de cheias

A análise do comportamento gráfico das simulações efetuadas permitiu afirmar que, adotado o diâmetro do orifício regulador de vazão, com o acréscimo de vazões no reservatório, pode-se reduzir a área de base do reservatório para que se mantenha a eficiência mínima desejada, o que proporciona o aumento das lâminas de água. Em dado momento, o reservatório passa a ter uma geometria inviável em termos de projeto. Sendo assim, optou-se por restringir a máxima altura da lâmina de água em 2,70 m, medida considerada ideal para aproveitamento máximo da altura disponível em um pavimento das edificações. Medidas maiores, que necessitem a utilização de mais pavimentos, podem se tornar prejudiciais às áreas do projeto e não foram aceitas no presente estudo.

Logo, a necessidade de grande redução da área de base para manter a eficiência mínima na redução de vazão com dado diâmetro do orifício regulador de vazão retrata a necessidade de aumento do seu diâmetro. Dessa forma, optou-se por dividir o resultado obtido a partir da utilização dos diferentes diâmetros do orifício regulador de vazão, baseados nos intervalos de áreas impermeabilizadas, conforme demonstrado na Tabela 11, oriunda do Gráfico 5.

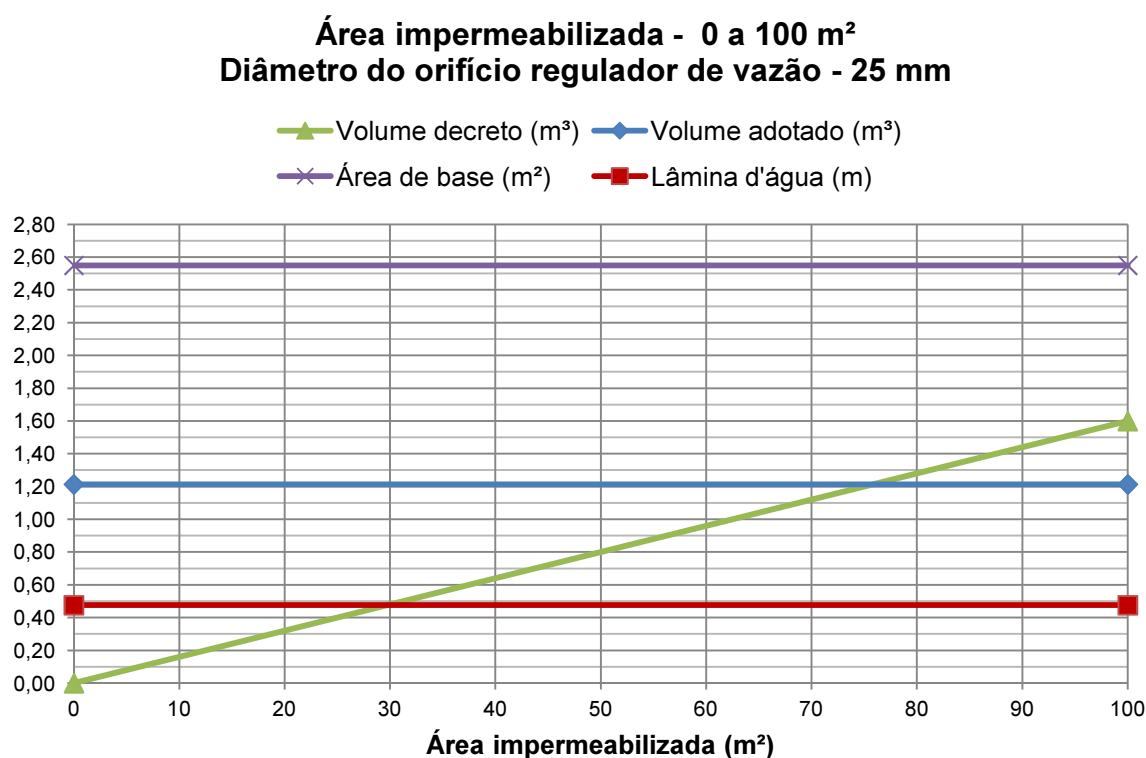
**Tabela 11 – Orifício regulador de vazão em função da área impermeável**

| <b>Intervalo de área impermeabilizada (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Diâmetro do orifício regulador de vazão (mm)</b> |
|---|---|
| 0 a 100   | 25  |
| 100 a 300   | 25  |
| 300 a 600   | 40  |
| 600 a 1000  | 50  |
| 1000 a 1400   | 60  |
| 1400 a 2200   | 75  |
| 2200 a 3900   | 100   |
| 3900 a 6000   | 125   |
| 6000 a 8600   | 150   |
| 8600 a 10000  | 175   |

A partir desses dados, foram gerados gráficos separados para cada intervalo de área, visto que o comportamento das curvas varia em função do diâmetro do orifício regulador de vazão.



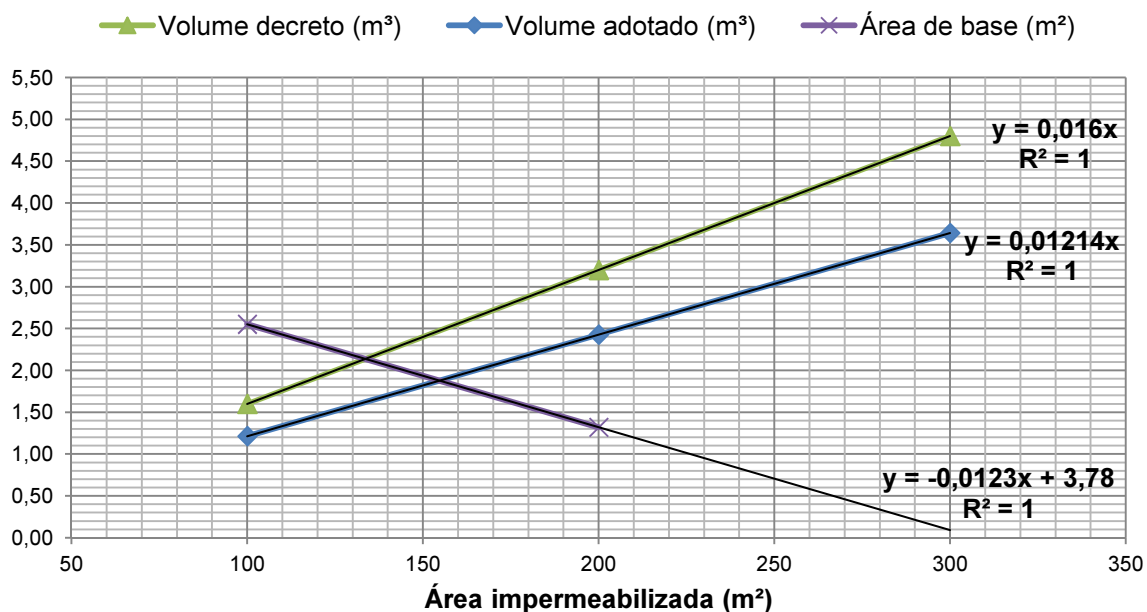
Nos Gráficos 6 a 15 são demonstradas as curvas obtidas para o volume adotado e para a área de base, ambos em função das áreas impermeabilizadas existentes. Com o intuito de futura comparação do resultado obtido com o previsto pela legislação, foi plotada também a curva do volume calculado de acordo com o Decreto nº 176/2007 (CURITIBA, 2007).



**Gráfico 6 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 0 a 100 m<sup>2</sup>**

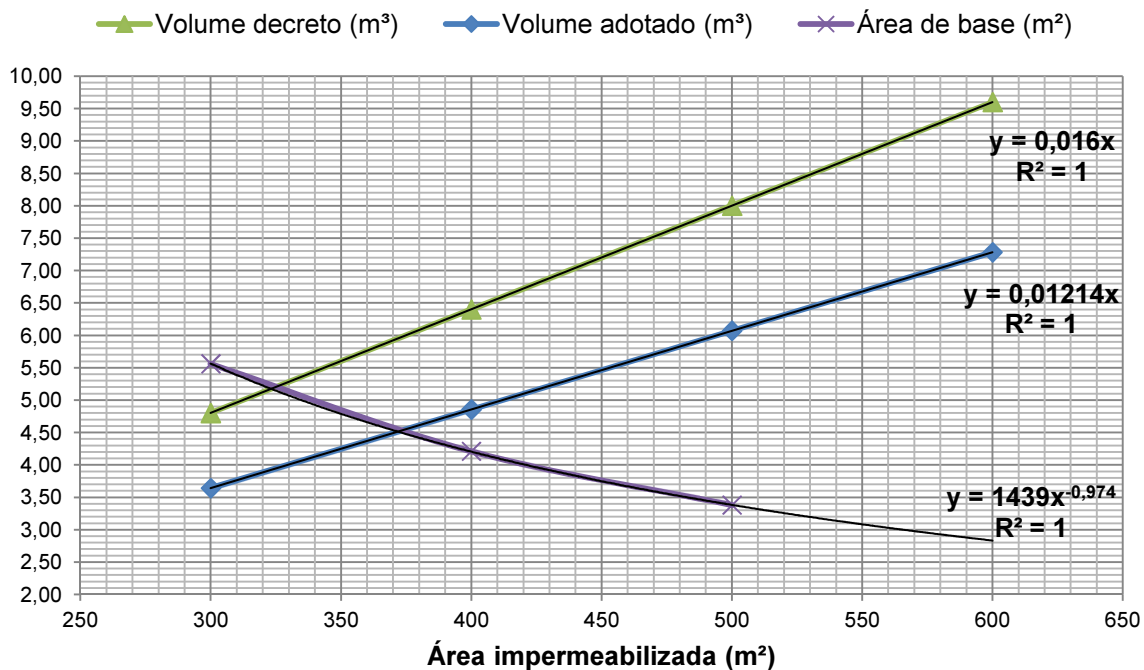
Para áreas inferiores a 100 m<sup>2</sup>, conforme verificado no Gráfico 6, considerou-se que as mesmas devem possuir o reservatório dimensionado com os critérios daquele dimensionado para a área de 100 m<sup>2</sup>, simplificando-se assim o cálculo e evitando-se erros de dimensionamento em função do intervalo de área adotado. Dessa forma, o volume deve ser 1,21 m<sup>3</sup>, sendo a área de base do reservatório no valor de 2,55 m<sup>2</sup>. Por consequência, a lâmina de água apresentará valor fixo de 0,48 m.

**Área impermeabilizada - 100 a 300 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 25 mm**



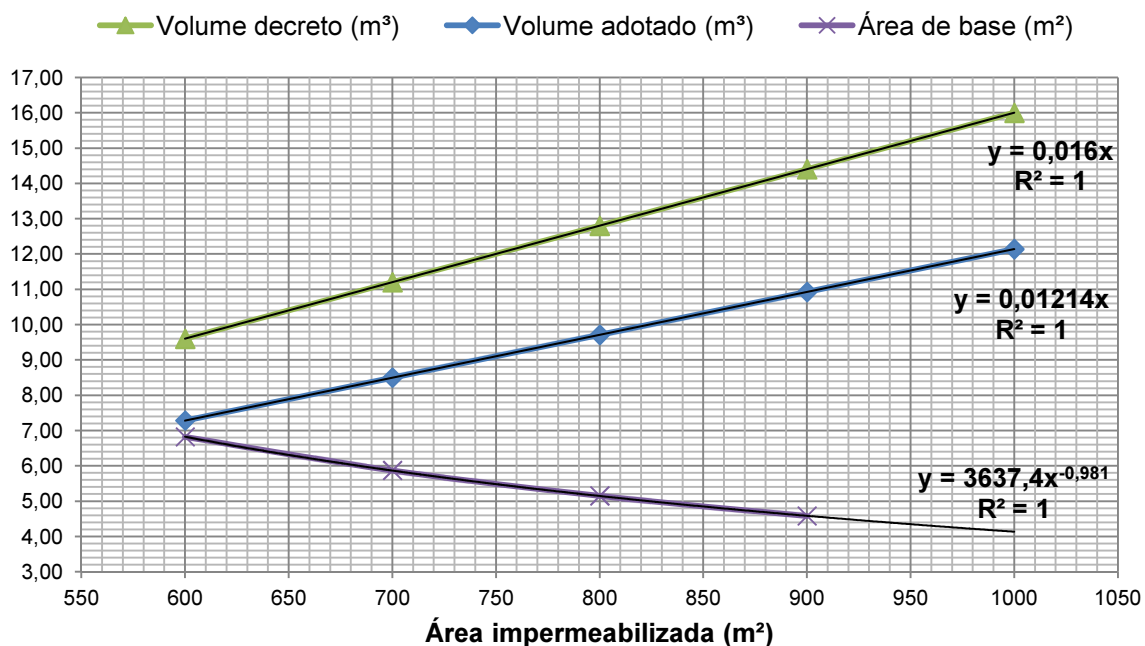
**Gráfico 7 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 100 a 300 m<sup>2</sup>**

**Área impermeabilizada - 300 a 600 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 40 mm**



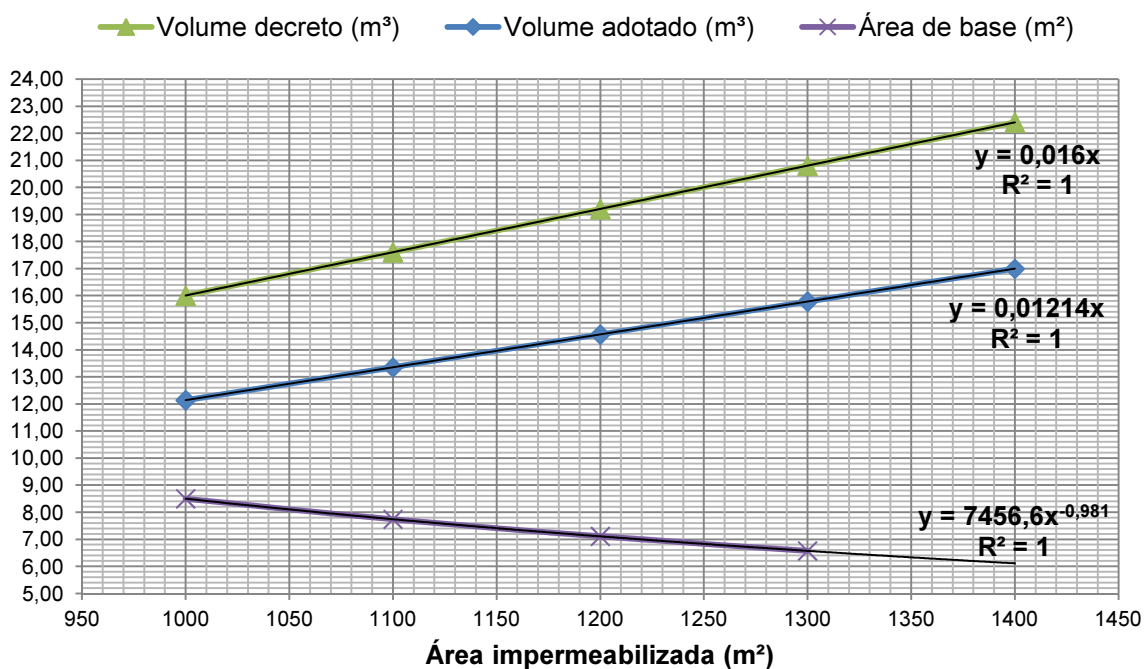
**Gráfico 8 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 300 a 600 m<sup>2</sup>**

**Área impermeabilizada - 600 a 1000 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 50 mm**



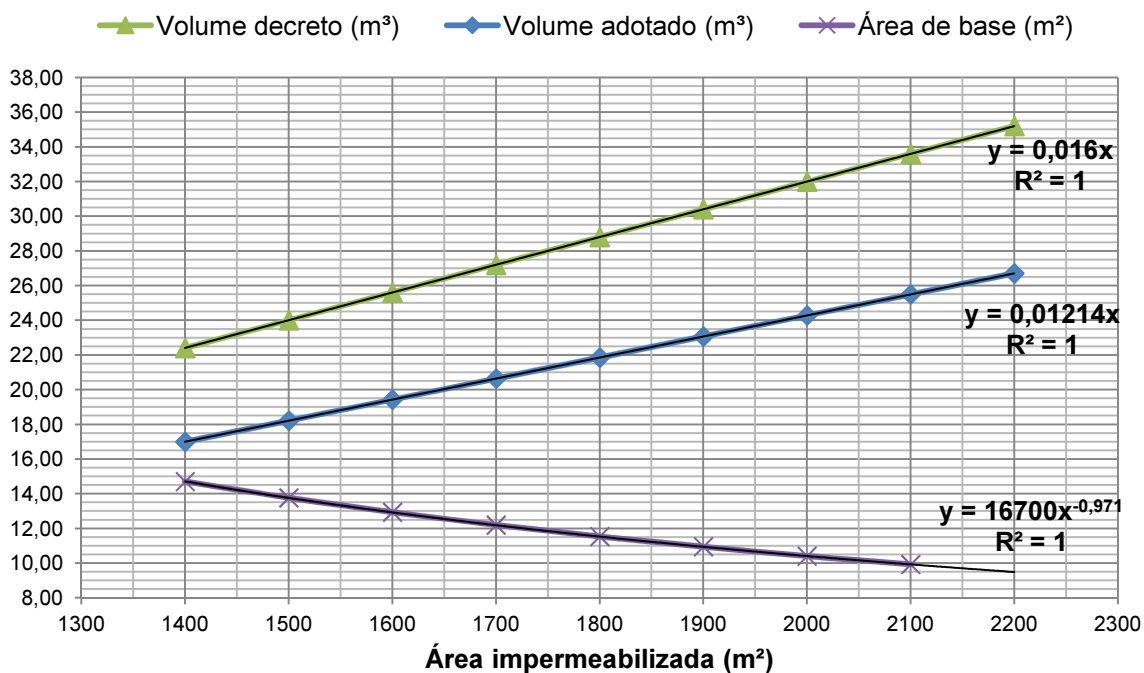
**Gráfico 9 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 600 a 1000 m<sup>2</sup>**

**Área impermeabilizada - 1000 a 1400 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 60 mm**



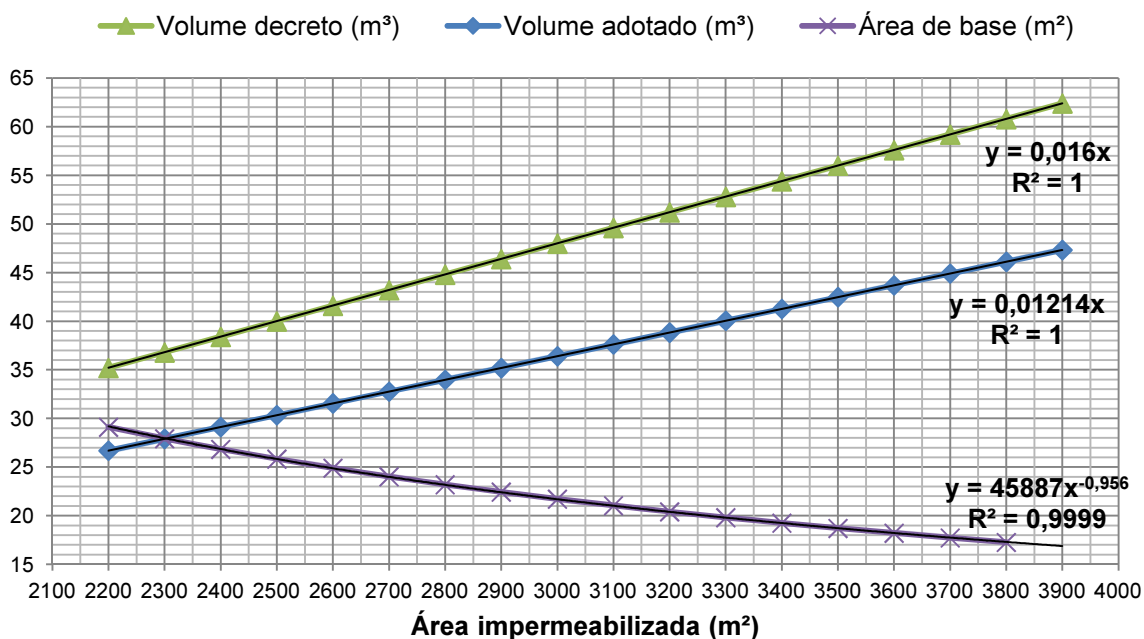
**Gráfico 10 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 1000 a 1400 m<sup>2</sup>**

**Área impermeabilizada - 1400 a 2200 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 75 mm**



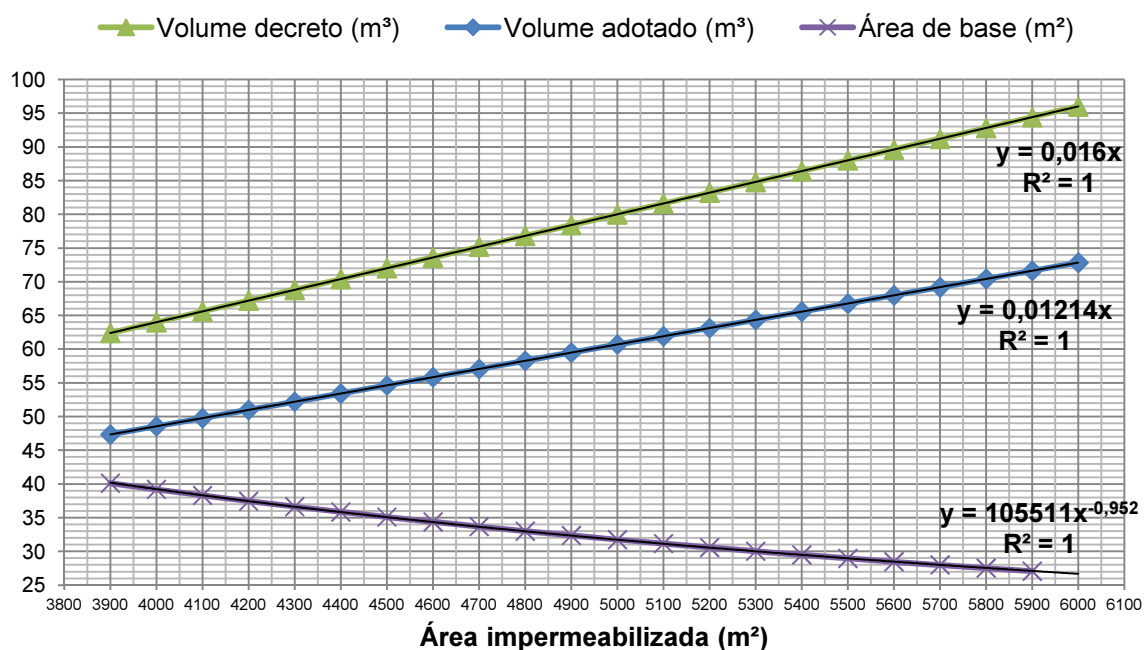
**Gráfico 11 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 1400 a 2200 m<sup>2</sup>**

**Área impermeabilizada - 2200 a 3900 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 100 mm**



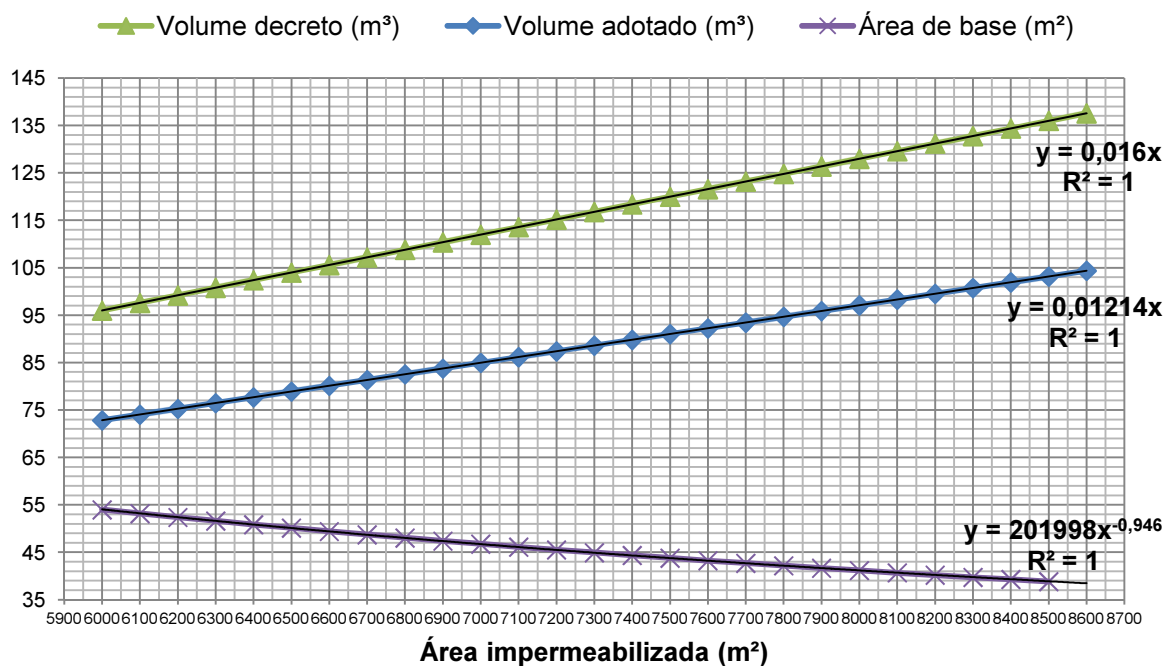
**Gráfico 12 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 2200 a 3900 m<sup>2</sup>**

**Área impermeabilizada - 3900 a 6000 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 125 mm**



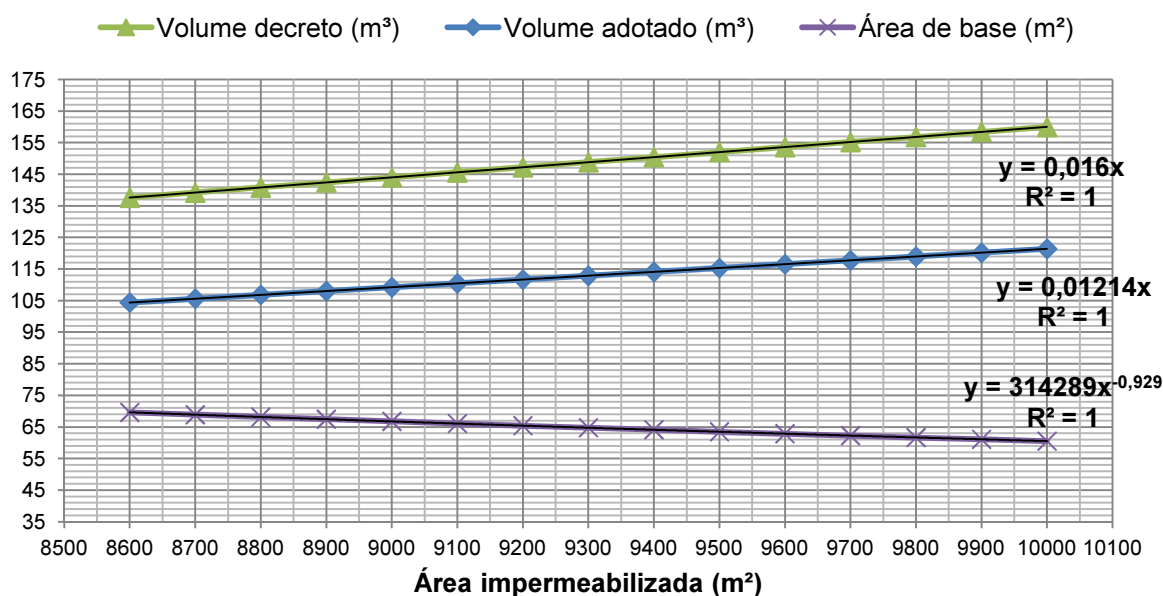
**Gráfico 13 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 3900 a 6000 m<sup>2</sup>**

**Área impermeabilizada - 6000 a 8600 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 150 mm**



**Gráfico 14 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 6000 a 8600 m<sup>2</sup>**

**Área impermeabilizada - 8600 a 10000 m<sup>2</sup>**  
**Diâmetro do orifício regulador de vazão - 175 mm**



**Gráfico 15 – Curvas de parâmetros para áreas impermeabilizadas no valor de 8600 a 10000 m<sup>2</sup>**

Foi possível determinar as equações das curvas de parâmetros a partir de suas linhas de tendência, conforme demonstrado nos gráficos anteriores. Na Tabela 12 são retratadas tais equações para os intervalos de áreas impermeabilizadas.

**Tabela 12 – Equações dos parâmetros de dimensionamento**

| Intervalo de área impermeabilizada (m <sup>2</sup> ) | Diâmetro do orifício regulador de vazão (mm) | Volume adotado (m <sup>3</sup> ) | Área de base (m <sup>2</sup> )      |
|--|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| 0 a 100  | 25   |                                  | $A_B = 2,55$                        |
| 100 a 300  | 25   |                                  | $A_B = (-0,0123 \times A_I) + 3,78$ |
| 300 a 600  | 40   |                                  | $A_B = 1439 \times A_I^{-0,974}$    |
| 600 a 1000   | 50   |                                  | $A_B = 3637 \times A_I^{-0,981}$    |
| 1000 a 1400  | 60   | $V = 1,21$ se $A_I \leq 100$     | $A_B = 7456,6 \times A_I^{-0,981}$  |
| 1400 a 2200  | 75   | $V = 0,01214 \times A_I$         | $A_B = 16700 \times A_I^{-0,971}$   |
| 2200 a 3900  | 100  |                                  | $A_B = 45887 \times A_I^{-0,956}$   |
| 3900 a 6000  | 125  |                                  | $A_B = 105511 \times A_I^{-0,952}$  |
| 6000 a 8600  | 150  |                                  | $A_B = 201998 \times A_I^{-0,946}$  |
| 8600 a 10000   | 175  |                                  | $A_B = 314289 \times A_I^{-0,929}$  |

em que:  $V$  ( $m^3$ ) é o volume do reservatório;  $A_B$  ( $m^2$ ) é a área da base do reservatório;  $A_I$  ( $m^2$ ) é a área impermeabilizada do terreno.

Como o volume adotado foi, em todos os casos, o volume mínimo estimado, a equação para o volume adotado é oriunda da Equação 18, que possui apenas o parâmetro área como incógnita. Os demais valores da equação serão fixos, o que permite obter uma equação linear baseada apenas na área impermeabilizada, conforme demonstrado na Equação 30, presente nos gráficos anteriores.

$$V = (0,84 - 0,25) \times 0,12344 \times A_I \times \frac{10}{60} \therefore V = 0,01214 \times A_I \quad (30)$$

em que:  $V$  ( $m^3$ ) é o volume do reservatório;  $A_I$  ( $m^2$ ) é a área impermeabilizada do terreno.

Com tais equações é possível determinar os parâmetros de dimensionamento dos reservatórios para qualquer área impermeabilizada, sendo o cálculo da lâmina de água no reservatório dado a partir da Equação 31.

$$h = \frac{V}{A_B} \quad (31)$$

em que:  $h$  (m) é a lâmina de água no reservatório;  $V$  ( $m^3$ ) é o volume do reservatório;  $A_B$  ( $m^2$ ) é a área da base do reservatório.

Vale ressaltar que a geometria da base do reservatório poderá ser adotada conforme necessidades de projeto, desde que respeitando o valor estipulado pelas equações da Tabela 12.

As simulações permitem afirmar que é possível manter a eficiência mínima necessária com um volume dentro do intervalo estimado, no caso, o volume mínimo calculado em função da diferença entre as vazões de pré e pós-urbanização.

### 5.3 COMPARATIVO COM O DECRETO Nº 176/2007 (CURITIBA, 2007)

O procedimento de cálculo demonstrado no presente estudo permitiu que o volume do reservatório calculado pelos critérios do Decreto Municipal nº 176/2007

(CURITIBA, 2007) fosse reduzido em 24,14%. Tal importância pôde ser notada ao comparar a inclinação das retas plotadas nos gráficos de ambos os cálculos realizados, podendo representar também uma significativa redução de custo de execução do reservatório de contenção de cheias. No ANEXO C é apresentada em forma de tabela a diferença entre o proposto nessa pesquisa e o dimensionamento da legislação municipal, comparando-se os volumes dos reservatórios e os diâmetros dos orifícios reguladores de vazão para cada área simulada.

Ainda, ao determinar a eficiência mínima a ser atingida pelo reservatório em funcionamento, garante-se que o mesmo tenha sua função de redução de vazões cumprida, situação que não é possível assegurar ao dimensionar o reservatório apenas pelo cálculo do volume e da determinação do diâmetro do orifício regulador de vazão em função desse volume calculado, conforme prevê a citada legislação.

A fim de justificar tal afirmação, foram simulados dimensionamentos a partir dos parâmetros da legislação, variando-se a área de base do reservatório para demonstrar as variações da eficiência obtida para uma área impermeabilizada de 100 m<sup>2</sup>. O volume calculado com base na Equação 1 seria de 1,60 m<sup>3</sup> e o diâmetro do orifício regulador de vazão adotado a partir da Tabela 3 seria 25 mm.

Na Tabela 13 são demonstrados os valores obtidos, considerando-se o cálculo das vazões e do hidrograma de entrada conforme metodologia apresentada nesta pesquisa.

**Tabela 13 – Dimensionamento pela legislação**

| <b>Área de base (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Lâmina de água (m)</b> | <b>Eficiência obtida (%)</b> |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 0,50                                | 3,20                      | 46,75                        |
| 1,00                                | 1,60                      | 57,56                        |
| 1,50                                | 1,07                      | 63,38                        |
| 2,00                                | 0,80                      | 67,21                        |
| 2,50                                | 0,64                      | 70,00                        |
| <b>2,55</b>                         | <b>0,63</b>               | <b>70,24</b>                 |
| 3,00                                | 0,53                      | 72,16                        |
| 3,50                                | 0,46                      | 73,90                        |
| 4,00                                | 0,40                      | 75,35                        |
| 4,50                                | 0,36                      | 76,57                        |
| 5,00                                | 0,32                      | 77,63                        |



Ao testar a área de base do reservatório no valor de 2,55 m<sup>2</sup>, obtida pela metodologia proposta para a mesma área impermeabilizada, foi obtida a eficiência julgada necessária de 70,24%. Porém, o volume de água calculado pela legislação é maior que os 1,21 m<sup>3</sup> propostos nessa pesquisa. Logo, a lâmina de água ficou proporcionalmente maior, 0,63 m contra 0,48 m, deixando então a execução do reservatório mais onerosa. Isso também justifica a possibilidade de redução de volume exposta e demonstra a importância da consideração da área da base do reservatório.

Com a tabela apresentada é possível verificar que a partir de dado momento o acréscimo de área não mais representa um grande acréscimo na redução de vazão, fazendo com que se perca área útil do projeto. Daí a importância da otimização do dimensionamento do reservatório, de modo que se obtenha um equipamento eficiente e não oneroso. No Gráfico 16 é demonstrada a evolução da eficiência em função da variação da área de base, bem como é indicada a referência de eficiência necessária no valor de 70,24%.

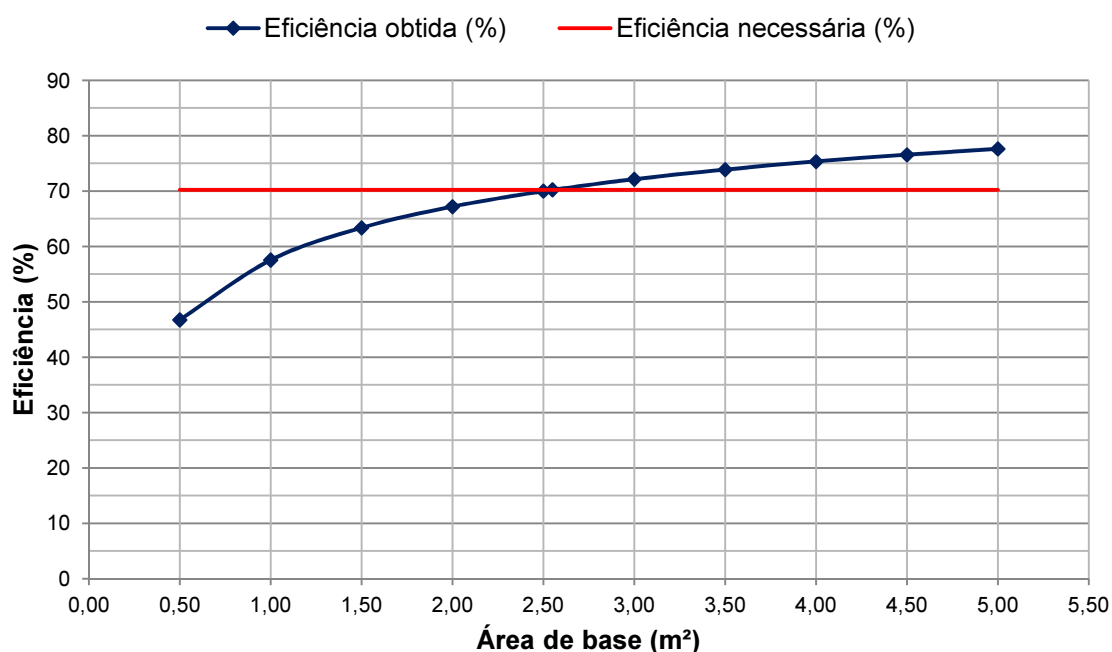


Gráfico 16 – Evolução da eficiência em função da variação da área de base

Vale ressaltar que, de acordo com a legislação, a necessidade de utilização dessa medida compensatória é restringida para determinadas áreas de zoneamento da cidade, para novos empreendimentos que impermeabilizem área de no mínimo 3.000 m<sup>2</sup> e para novos empreendimentos que apresentem redução da taxa de permeabilidade de 25% estipulada em legislação específica (CURITIBA, 2007).

Porém, em função dos resultados obtidos, sugere-se que a obrigatoriedade da utilização de reservatórios de contenção de cheias seja aplicada em todos os casos em que ocorre a presença de áreas impermeabilizadas, visto que as mesmas são responsáveis pelo acréscimo de vazões de contribuição de águas pluviais. Sugere-se também que o dimensionamento proposto pela legislação seja revisto, de modo a melhor especificar os parâmetros para obtenção de eficiência mínima dos reservatórios.

A fórmula proposta na referida legislação, conforme Equação 1, apresenta inconsistência ao indicar o uso da constante dimensional  $k$ . Para que o resultado de cálculo seja realmente o volume do reservatório, tal constante deve possuir unidade horária, no caso 0,20 horas ou 12 minutos, o que representaria o tempo de duração da precipitação. Caso tal afirmação não seja verdadeira, o valor de cálculo proposto obtém um valor de vazão, o que está incorreto.

Schellin e Dziedzic (2016) também apresentaram críticas à referida legislação, com o intuito de contribuir para a sua melhoria. Como exemplo, tem-se o caso de imóveis anteriores à legislação, os quais não possuem mecanismos de contenção de cheias e, a não ser que sofram ampliações, não contribuirão para a redução do escoamento superficial. Apontou-se então a necessidade de prever permeabilidade mínima ou reservatórios de contenção em todos os imóveis para os quais seja solicitado alvará de construção, reforma ou ampliação.

Ainda, os referidos autores sugeriram a utilização de pavimentos permeáveis em áreas de estacionamentos e até mesmo na base dos reservatórios de contenção, permitindo a infiltração da água para reduzir o escoamento superficial e contribuir para o reabastecimento dos aquíferos subterrâneos.

#### 5.4 COMPARATIVO COM PESQUISAS RELACIONADAS AO ASSUNTO

No ANEXO D é apresentada uma tabela comparativa de dados utilizados e obtidos em pesquisas que foram referenciadas neste trabalho. A análise desses dados permite concluir que diversos autores consideram ideal a obtenção da vazão de pré-urbanização como vazão de saída do reservatório de contenção de cheias, de modo que os efeitos da impermeabilização sejam compensados por esta medida, assim como objetivou a presente pesquisa.

Quanto aos parâmetros hidrológicos, notam-se diferentes valores considerados no dimensionamento dos reservatórios, tais como precipitações curtas ou longas, o que as fazem ser intensas ou não, conforme variantes das regiões estudadas. O tempo de retorno apresentou valores entre 2 e 10 anos, intervalo no qual está o valor de 5 anos adotado nesta pesquisa.

Cruz, Tucci e Silveira (1998) e Tassi (2002) consideraram precipitações com durações mais longas e menos intensas. Neste caso, o aumento do tempo de retorno ocasiona pouca necessidade de aumento do volume do reservatório, o que permitiria obter uma eficiência do reservatório semelhante em caso de variações do tempo de retorno. Porém, no estudo de Tassi (2002) seria necessário aumentar o diâmetro do orifício regulador de vazão com o aumento do tempo de retorno, o que na prática não é tão simples quando ocorrem variações das precipitações de projeto. O citado estudo de Muschalla et al. (2014) trouxe uma alternativa para este caso, porém a solução ficaria onerosa.

Para o dimensionamento do reservatório, Agra (2001) considerou precipitação de alta intensidade e curta duração, assim como na presente pesquisa. Porém, em experimento prático ocorreram precipitações de pequena intensidade e longa duração, resultando em valores de redução de pico entre 7 e 20%. Dessa forma, nota-se a importância de simulações com diferentes tipos de precipitações em um mesmo reservatório, de modo a analisar sua eficiência em eventos adversos. Nesse sentido, Brown, Stein e Warner (2001) apontaram a necessidade de um mesmo projeto ser capaz de atenuar precipitações oriundas de diversos tempos de retorno.

Ao utilizarem áreas impermeabilizadas com valores em torno de 300 m<sup>2</sup> na cidade de Porto Alegre-RS e considerando o tempo de retorno no valor de 5 anos,

Tassi (2002), Agra (2001) e Cruz, Tucci e Silveira (1998) obtiveram, respectivamente, volumes de 8,00 m<sup>3</sup>, 1,26 m<sup>3</sup> e 1,25 m<sup>2</sup> para os reservatórios. A divergência do primeiro valor pode ser explicada pelo pequeno diâmetro do regulador de vazão adotado, assim como a consideração de uma precipitação mais longa e menos intensa, o que induziu a necessidade de maior volume para conter a precipitação. O segundo e terceiro valor citados são muito semelhantes, embora com diferentes precipitações adotadas no seu dimensionamento.

Logo, nota-se que as diferentes durações de precipitação e diâmetros dos orifícios reguladores adotados influenciam no funcionamento hidráulico e na geometria do reservatório.

Silva e Cabral (2014), para a mesma área, volume do reservatório e parâmetros hidrológicos de estudo, obtiveram o aumento da eficiência do reservatório com a redução do orifício regulador de vazão de 25 para 20 mm. Esse caso demonstra a interface entre a estrutura de descarga hidráulica e o volume de armazenamento, permitindo obter melhores eficiências com a variação dos parâmetros geométricos de dimensionamento. Para obter a eficiência mais alta com o maior diâmetro, seria necessário aumentar o volume do reservatório, o que não traria a solução ótima de dimensionamento.

Ainda, para exemplificar a interface entre reservatórios e estruturas de descarga, no estudo de Francischet e Filho (2011), reservatórios de maior volume e menor área de estruturas de descarga apresentaram redução de vazão mais significativa que os reservatórios menores e com maiores áreas de estruturas de descarga, ambos os casos dimensionados para o mesmo lote e com os mesmos parâmetros hidrológicos. Figueiredo e Nunes (2010) também obtiveram, para manter a vazão de pré-urbanização, diferentes volumes em função de diferentes diâmetros de orifícios reguladores de vazão.

Campos (2007) obteve 81,1% de redução de vazão de pico em seu experimento prático com reservatório de contenção conjugado com trincheira de infiltração. O valor mais alto de eficiência entre as pesquisas citadas indica a importância de interface entre diferentes soluções de drenagem no combate ao aumento de vazão causado pela urbanização.

No dimensionamento de reservatórios para a cidade de Curitiba-PR, Figueiredo e Nunes (2010), Serathiuk e Martins (2011) e Souza (2013) consideraram diferentes precipitações de curta duração, porém todas com grande intensidade e

tempos de retorno no valor de 5 anos. Na Tabela 14 são demonstrados valores comparativos para determinadas áreas impermeáveis com a presente pesquisa.

**Tabela 14 – Comparativo de dimensionamento para a cidade de Curitiba-PR**

| Parâmetros reservatório          | Área impermeável de 3945,60 m <sup>2</sup> |                         | Área impermeável de 337,50 m <sup>2</sup> |                         | Área impermeável de 96,50 m <sup>2</sup> |                         |
|----------------------------------|--|-------------------------|---|-------------------------|--|-------------------------|
|                                  | Figueiredo e Nunes (2010)                  | Método proposto         | Serathiuk e Martins (2011)                | Método proposto         | Souza (2013)                             | Método proposto         |
| Volume (m <sup>3</sup> )         | 72,20                                      | 47,90                   | 3,79                                      | 4,10                    | 1,55                                     | 1,21                    |
| Área da base (m <sup>2</sup> )   | 28,00                                      | 39,79                   | 3,79                                      | 4,96                    | 2,25                                     | 2,55                    |
| Lâmina de água (m)               | 2,58                                       | 1,20                    | 1,00                                      | 0,83                    | 0,69                                     | 0,48                    |
| Orifício regulador de vazão (mm) | 85,00                                      | 125,00                  | 30,79                                     | 40,00                   | 25,00                                    | 25,00                   |
| Redução vazão de pico (%)        | Vazão pré-urb.                             | Vazão pré-urb. (70,24%) | Vazão pré-urb.                            | Vazão pré-urb. (70,24%) | 67,60%                                   | Vazão pré-urb. (70,24%) |
| Duração precipitação (min)       | 5,00                                       | 10,00                   | 3,56                                      | 10,00                   | 10,00                                    | 10,00                   |
| Tempo de retorno (anos)          | 5,00                                       | 5,00                    | 5,00                                      | 5,00                    | 5,00                                     | 5,00                    |
| Intensidade precipitação (mm/h)  | 162,60                                     | 123,44                  | 171,74                                    | 123,44                  | 123,44                                   | 123,44                  |

A análise dos dados apresentados permite as seguintes afirmações:

- O volume do reservatório calculado por Figueiredo e Nunes (2010) para a área com 3945,60 m<sup>2</sup> é maior que o volume proposto nesta pesquisa, visto que a menor duração de precipitação considerada gera maior intensidade de precipitação e, por consequência, maior vazão de entrada de pico no reservatório. Ainda, os menores valores adotados para o diâmetro do orifício regulador e da área de base podem ter contribuído, na simulação de propagação de vazões, para a necessidade de aumento do volume do reservatório;
- O cálculo do volume proposto por Serathiuk e Martins (2011) para a área com 337,50 m<sup>2</sup> é semelhante ao volume do método desta pesquisa, embora as dimensões da base do reservatório e de seu orifício regulador de vazão sejam diferentes. Esse fato, aliado às diferentes durações e intensidades de

precipitação adotadas, pode ter resultado em volumes semelhantes na simulação de propagação de vazão;

- Para a área com 96,50 m<sup>2</sup>, o volume calculado por Souza (2013) é mais alto que o volume proposto nesta pesquisa. Embora os parâmetros hidrológicos considerados tenham sido iguais, o presente método avaliou a influência da área de base do reservatório na redução de vazão, objetivando obter a vazão de pré-urbanização na saída do reservatório. Para tal, foram necessárias maior área de base e menor lâmina de água.

Conforme considerações apresentadas pode-se afirmar que os parâmetros hidrológicos e hidráulicos considerados para o dimensionamento dos reservatórios de contenção de cheias influenciam a eficiência de funcionamento dos mesmos.

## 6 CONCLUSÕES

O presente estudo permite afirmar que a utilização de reservatórios de contenção de cheias nas edificações é uma medida necessária para o controle de escoamentos diretamente na fonte, evitando a propagação de grandes vazões para a jusante de um sistema de drenagem urbana durante a ocorrência de eventos de precipitações.

A importância pode ser justificada pelo fato de uma área impermeabilizada ter a sua vazão de contribuição aumentada, em média, 3,36 vezes quando comparada ao terreno natural, valor esse proporcional ao aumento do coeficiente de escoamento superficial adotado para o cenário de pós-urbanização em relação ao cenário de pré-urbanização. Ainda, a partir dos coeficientes de escoamento superficial determinou-se a porcentagem necessária de redução de vazão de pico a ser proporcionada por medidas compensatórias de drenagem em função da urbanização. No caso, os reservatórios para a cidade de Curitiba-PR devem reduzir em 70,24% o pico da vazão afluente em sua estrutura. Tal redução é válida também para outras localidades em que seja possível adotar os mesmos coeficientes de escoamento superficial para os cenários de pré e pós-urbanização.

Apenas as diretrizes de projeto estabelecidas pelo Decreto nº 176/2007 (CURITIBA, 2007), legislação da Prefeitura Municipal de Curitiba-PR que dispõe sobre a implantação dos reservatórios de contenção de cheias, não garantem a eficiência mínima dessa medida, visto que a mesma pode variar em função da área de base do reservatório, lâmina de água e diâmetro do orifício regulador de vazão. Portanto, é necessário estabelecer critérios que relacionem as áreas impermeabilizadas dos lotes a tais parâmetros de dimensionamento dos reservatórios, de modo a garantir que os mesmos cumpram a função para a qual foram designados.

Para atingir o objetivo da determinação de parâmetros de dimensionamento para reservatórios eficientes, foram feitas simulações de propagação de vazão a partir do Método de Pulz, utilizando intervalos de áreas impermeabilizadas genéricas. Com a análise e entendimento do comportamento das vazões nos reservatórios em função da sua geometria e da relação com a dimensão do orifício regulador de vazão, foi possível obter a eficiência mínima necessária com o volume

mínimo estimado em função da diferença entre as vazões de pré e pós-urbanização ao longo do tempo de duração da precipitação.

Separados os intervalos de utilização de cada diâmetro do orifício regulador de vazão em função de intervalos de áreas impermeáveis presentes, obtiveram-se equações de dimensionamento para o volume, área de base e lâmina de água dos reservatórios. Dessa forma, os mesmos teriam geometrias otimizadas que garantiriam o adequado funcionamento para redução de vazão. Além disso, foi possível reduzir o volume dos reservatórios em 24,14% quando comparado ao dimensionamento proposto pela legislação para uma mesma área impermeabilizada, o que possivelmente permite menores custos de execução e de utilização de áreas de projeto. Portanto, sugere-se que a legislação vigente seja revisada para contemplar outros parâmetros que garantam a eficiência de funcionamento dessa medida de controle.

Tendo em vista os parâmetros hidrológicos adotados e os critérios para a transformação da chuva em vazão, além dos resultados obtidos em testes de vazões de contribuição em função das áreas impermeabilizadas presentes, é possível afirmar que o aumento da vazão se dá em função do aumento da área impermeável, conforme grandezas demonstradas das relações entre os coeficientes de escoamento superficial. Em contrapartida, a legislação municipal obriga a utilização de reservatórios de contenção de cheias apenas em casos específicos. Porém, considera-se que tal medida compensatória deve ser obrigatória para todos os casos de existência de áreas impermeáveis, independentemente de sua grandeza.

Vale ressaltar que a execução do reservatório no lote é de responsabilidade do proprietário, isentando o poder público de custos nesse quesito. Outras medidas para conter as cheias no município, como a implantação e manutenção de um grande reservatório de detenção, dimensionado para grandes volumes de água ao término do sistema de drenagem de determinada bacia hidrográfica, podem se tornar muito mais onerosas. O controle na fonte contribui ainda para a redução das águas pluviais ao longo do sistema de drenagem, evitando sobrecarregar toda a rede, visto que a vazão de contribuição não precisa chegar ao seu final para então ser amortecida pelo dispositivo de contenção.

Para obtenção de melhores resultados, o procedimento de cálculo demonstrado na presente pesquisa deve ser efetuado de maneira específica para



cada projeto, considerando as particularidades dos parâmetros hidrológicos existentes, de modo a obter hidrogramas e vazões mais precisas para a simulação de propagação em reservatórios. Dessa forma, pode-se melhorar ainda mais o dimensionamento dessas estruturas, tornando-as de fato otimizadas e eficientes na redução de vazão.

Obtido esse resultado para uma escala de lote, é importante extrapolar o estudo para áreas maiores, compostas por diversos lotes, de modo a mensurar o impacto da utilização de reservatórios com eficiência mínima no sistema de drenagem urbana como um todo, semelhante à pesquisa de Souza (2013).

Ao comparar a presente pesquisa com outras realizadas sobre o assunto, pode-se afirmar que, embora ocorram variações nos critérios de dimensionamento, os reservatórios de contenção de cheias apresentam um comportamento expressivo na redução de vazão de pico de áreas impermeabilizadas. Os reservatórios são, portanto, uma alternativa adequada para o combate às inundações urbanas e a possibilidade de sua utilização em outras cidades brasileiras a partir de legislações deve ser avaliada pelo poder público. Além disso, o uso de reservatórios de contenção de cheias em conjunto com outras medidas de controle pode ser mais uma alternativa para o combate dos problemas oriundos das chuvas intensas.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do presente estudo podem ser desenvolvidos outros temas relativos ao assunto da drenagem urbana e da utilização de reservatórios de contenção de cheias nas edificações:

- Proposta de elaboração de norma para dimensionamento eficiente dos reservatórios de contenção de cheias para a cidade de Curitiba-PR, com procedimentos detalhados dos cálculos hidráulicos e hidrológicos específicos para cada projeto.
- Proposta de alteração da Norma para Projetos de Drenagem da cidade de Curitiba-PR, com parâmetros hidrológicos indicados a partir de estudos específicos da região.
- Análise da influência do coeficiente de escoamento superficial de áreas permeáveis no dimensionamento dos reservatórios de contenção de cheias.
- Análise do comportamento hidráulico dos reservatórios de contenção de cheias para vazões oriundas de outras precipitações de dimensionamento.
- Análise do comportamento hidráulico dos reservatórios de contenção de cheias em função de hidrogramas de entrada de vazões estimados por outros métodos.
- Desenvolvimento de método para cálculo de vazões de saída de reservatórios de contenção de cheias a partir da variação de lâminas de água ao decorrer do tempo.
- Modelo de reservatório de contenção de cheias: comparação entre valores de redução de picos de vazão simulados por diferentes métodos e valores obtidos em experimento prático.
- Análise da viabilidade de implantação de reservatórios de contenção de cheias em edificações antigas, anteriores à legislação atual.
- Análise de reservatório de contenção de cheias já existente e sugestão para melhorar a sua eficiência de funcionamento.

## REFERÊNCIAS

AGRA, Sidnei G. **Estudo experimental de microrreservatórios para controle do escoamento superficial**. 2001. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

ALADENOLA, Olanike O.; ADEBOYE, Omotayo. Assessing the potential for rainwater harvesting. **Water Resources Management**, v. 24, p. 2129-2137, ago. 2010.

ALVES, Flávio A. de O.; COSTA, Alfredo R. da. Estimativa de volume para reservatório de retenção no controle de cheias urbanas. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**, Cuiabá, 2007. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/novo/i\\_simp\\_rec\\_hidric\\_norte\\_centro\\_oeste15.pdf](http://www.abrh.org.br/novo/i_simp_rec_hidric_norte_centro_oeste15.pdf)>. Acesso em: 17 jul. 2012.

BARBASSA, Ademir P.; CAMPOS, João B. N. de. Comportamento hidrológico de áreas urbanas impermeabilizadas diretamente conectadas e total. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 69-79, out./dez. 2010. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/43826b13db37661c3ef23ef2ef11aa98\\_115aa0440045da6a0be0084f4fcd7c17.pdf](https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/43826b13db37661c3ef23ef2ef11aa98_115aa0440045da6a0be0084f4fcd7c17.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2016.

BECCIU, G.; RAIMONDI, A. Probabilistic analysis of the retention time in stormwater detention facilities. **Procedia Engineering**, v. 119, p. 1299-1307, 2015.

BOTELHO, Manoel H. C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998.

BROWN, S. A.; STEIN, S. M.; WARNER, J. C. **Urban Drainage Design Manual – Hydraulic Engineering Circular 22, Second Edition**. Fort Collins: U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration, 2001.

CALABRÒ, Paolo S.; VIVIANI, Gaspare. Simulation of the operation of detention tanks. **Water Research**, v. 40, p. 83-90, jan. 2006.

CAMPOS, João B. N. de. **Análise hidrológica experimental de lotes urbanos sob formas diferenciadas de ocupação e controle de inundação**. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007.

CAMPISANO, Alberto; BUTLER, David; WARD, Sarah; BURNS, Matthew J.; FRIEDLER, Eran; DEBUSK, Kathy; FISHER-JEFFES, Lloyd N.; GHISI, Enedir; RAHMAN, Aatur; FURUMAI, Hiroaki; HAN, Mooyoung. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. **Water Research**, v. 115, p. 195-209, mai. 2017.

CAMPISANO, Alberto; LIBERTO, D. Di; MODICA, C.; REITANO, S. Potential for peak flow reduction by rainwater harvesting tanks. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1507-1514, 2014.

CANHOLI, Aluísio P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CIPOVOVÁ, Katarína. Design of a detention reservoir. **Slovak Journal of Civil Engineering**, p. 33-40, 2011.

COELHO, Fabio G.; PAGE, Raphael M.; HORA, Mônica de A. G. M. da. Uso de reservatórios de águas pluviais residenciais como auxílio na drenagem urbana. **Revista Hydro**, n. 121, p. 36-49, nov. 2016.

COOMBES, Peter J.; KUCZERA, George A.; FROST, Andrew J.; O'LOUGHLIN, Geoff; LEES, Stephen. The impact of rainwater tanks in the Upper Parramatta River Catchment. **Australian Journal Of Water Resources**, v. 7, p. 121-129, 2003.

COSTA JUNIOR, Lourenço L. da; BARBASSA, Ademir P. Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 46-54, jan./mar. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n1/29137.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2015.

CRUZ, Marcus A. S.; TUCCI, Carlos E. M.; SILVEIRA, André L. L. da. Controle do escoamento com detenção em lotes urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 19-31, out./dez. 1998. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/be68d0cae658cfe499bd8d156c968040\\_c83691cba38865db8f5168d7c17f2e35.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/be68d0cae658cfe499bd8d156c968040_c83691cba38865db8f5168d7c17f2e35.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2015.

CURITIBA (Capital). Decreto nº 176, de 27 de março de 2007. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias. **Prefeitura Municipal de Curitiba**, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2012/00121212.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2015.

CURITIBA (Capital). Normas para projeto de drenagem. **Prefeitura Municipal de Curitiba**, Curitiba. Disponível em: <<http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2013/00140149.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2015.

DRUMOND, Pedro de P.; COELHO, Márcia M. L. P.; MOURA, Priscilla M. Análise do volume de reservação de águas pluviais em lotes: comparação do caso de Belo Horizonte com outras cidades brasileiras. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, 2011. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/8c19b70d13275e75fbaeba8b3504b56b\\_f0e80c09b118505cc0453037c48da731.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/8c19b70d13275e75fbaeba8b3504b56b_f0e80c09b118505cc0453037c48da731.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2015.

DRUMOND, Pedro de P.; COELHO, Márcia M. L. P.; MOURA, Priscilla M. Investigação experimental dos valores de coeficiente de descarga em tubos de saída de microrreservatórios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 267-279, abr./jun. 2014. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/84542ba7301d41f4769105649048e020\\_7b9f6449dd9025686709ec623fe4c374.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/84542ba7301d41f4769105649048e020_7b9f6449dd9025686709ec623fe4c374.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2015.

FENDRICH, Roberto. **Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Vicentina, 2003.

FIGUEIREDO, Marcelo van der B. C. de.; NUNES, Pedro L. **Dimensionamento de reservatórios de detenção para condomínios horizontais para controle de cheias**. 2010. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Positivo. Curitiba, 2010.

FRANCISCHET, Marcelo M.; FILHO, José E. A. Análise da influência dos reservatórios de detenção domiciliares no escoamento superficial urbano aplicados na estimativa de vazões críticas geradas em uma quadra padrão. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, 2011. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/df4aa083ac65e9188f234e6b8073b044\\_2dc5cc9288a373129f91635d2d76dc27.pdf](http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/df4aa083ac65e9188f234e6b8073b044_2dc5cc9288a373129f91635d2d76dc27.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2015.

FRANCO, Edu J. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. 2004. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

GAROTTI, Leonardo M.; BARBASSA, Ademir P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 19-28, jan./mar. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n1/v15n1a03.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

GRUNDFOS. **Design of StormWater Tanks – Recommendations and layout.** Bjerringbro, 2012.

GUERRA, Amanda E. Qualidade e Eficiência dos Serviços de Saneamento. In: **ATLAS de Saneamento.** Rio de Janeiro: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011, p. 27-44.

GUIMARÃES, Luisa R. S. **Estudo sobre o comportamento hidráulico de vertedouros labirinto.** 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

HENTGES, Sara C.; TASSI, Rutnéia. Efeito do uso de microrreservatório na redução dos diâmetros das redes de microdrenagem. **I Seminário Nacional de Construções Sustentáveis,** Passo Fundo, 2012. Disponível em: <<https://www.imed.edu.br/Uploads/Efeito%20do%20uso%20de%20microrreservat%C3%B3rio%20na%20redu%C3%A7%C3%A3o%20dos%20di%C3%A2metros%20das%20redes%20de%20microdrenagem.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

HONG, Yao-Ming. Experimental evaluation of design methods for in-site detention ponds. **International Journal of Sediment Research,** v. 25, p. 52-63, mar. 2010.

HONG, Yao-Ming. Graphical estimation of detention pond volume for rainfall of short duration. **Journal of Hydro-environment Research,** v. 2, p. 109-117, out. 2008.

HONG, Yao-Ming; YEH, Naichia; CHEN, Jen-Yan. The simplified methods of evaluating detention storage volume for small catchment. **Ecological Engineering,** v. 26, p. 355-364, jul. 2006.

JONES, Jenny. Milwaukee devises inventive flooding plan. **Civil Engineering,** 26 ago. 2014. Disponível em: <<http://www.asce.org/magazine/20140826-milwaukee-devises-inventive-flooding-plan/>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

LEGLER, Cristina; LEUCK, Moema F.; MENDES, Carlos A. B. Modelo para criação de incentivo fiscal ao amortecimento de vazão em lote: simulação para o município de Porto Alegre, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 295-307, jul./set. 2014. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/b1df2a073e91ae2690ed2b17e78a3a2e\\_5926c5ca450258dc3eae837d03a80316.pdf](https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/b1df2a073e91ae2690ed2b17e78a3a2e_5926c5ca450258dc3eae837d03a80316.pdf)>. Acesso em: 09 abr. 2016.

MAKSIMOVIC, Cedo. **Urban Drainage in Specific Climates: Urban Drainage in Arid and Semi-Arid Climates – v. 3**. Paris: Unesco – International Hydrological Programme – Division of Water Sciences, 2001.

MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná (Governo do Estado do Paraná). **Mapa Geológico do Paraná**. Curitiba, 2006. 1 mapa. Escala 1:650.000. Disponível em: <[http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2\\_Geral/Geologia/PDF\\_Mapas\\_Geo\\_650000/Mapa\\_Geologico\\_PR\\_650000\\_2006.pdf](http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geologia/PDF_Mapas_Geo_650000/Mapa_Geologico_PR_650000_2006.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2016.

MUSCHALLA, Dirk; VALLET, Bertrand; ANCTIL, François; LESSARD, Paul; PELLETIER, Geneviève; VANROLLEGHEM, Peter A. Ecohydraulic-driven real-time control of stormwater basins. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 82-91, abr. 2014.

NAKAZONE, Lucia M. **Implantação de reservatórios de retenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU**. 2005. 287 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

NOVELLI, Lynn. Aging U.S water infrastructure presents engineering, financial challenges. **Civil Engineering**, 09 ago. 2016. Disponível em: <<http://www.asce.org/magazine/20160809-aging-u-s--water-infrastructure-presents-engineering,-financial-challenges/>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

PAIK, Kyungrock. Analytical derivation of reservoir routing and hydrological risk evaluation of detention basins. **Journal of Hydrology**, v. 352, p. 191-201, abr. 2008.

PALA, A.; GNECCO, I.; BARBERA, P. La. The impact of domestic rainwater harvesting systems in storm water runoff mitigation at the urban block scale. **Journal of Environmental Management**, v. 191, p. 297-305, abr. 2017.

PEPLAU, Gustavo J. R.; NEVES, Marllus G. F. P das. Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 97-106, out./dez. 2014. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/35d8f53baf6a94378d1787530f3a4bf7\\_25e12e98f043d8566c34ea082e0bc6ea.pdf](https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/35d8f53baf6a94378d1787530f3a4bf7_25e12e98f043d8566c34ea082e0bc6ea.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2016.

PORTES, Javier C. de A.; VALLE, Emilio C. Solutions for flood management. **World Pumps**, p. 34-39, set. 2014.

PORTO ALEGRE (Capital). Plano Diretor de Drenagem Urbana – Manual de Drenagem Urbana, volume VI, de setembro de 2005. **Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais**, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <[http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu\\_doc/manual\\_de\\_drenagem\\_ultima\\_versao.pdf](http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2016.

**PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.

**QUEENSLAND Urban Drainage Manual – Third Edition**. Brisbane: Queensland Government – Institute of Public Works Engineering Australia – Department of Energy and Water Supply, 2013.

RAIMONDI, A.; BECCIU, G. Probabilistic design of multi-use rainwater tanks. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 1391-1400, 2014a.

RAIMONDI, A.; BECCIU, G. Probabilistic modeling of rainwater tanks. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1493-1499, 2014b.

REDA, André L. de L.; TOMITA, Jorge M.; DURO, Magda A. S.; PINHEIRO, Ana L. da F. B.; ROCHA, Ana J. F. Urbanização, mudanças no clima e reservatórios para amortecimento de cheias: comparando soluções de micro e macro escala. **XVI Safety, Health and Environment World Congress**, Salvador, 2016. Disponível em: <<http://copec.eu/congresses/shewc2016/proc/works/2.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

RIGHETTO, Antonio M.; MOREIRA, Lúcio F. F.; SALES, Thaise E. A. de. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. In: RIGHETTO, Antonio M. (coordenador). **PROSAB 5 (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – Edital 5): Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009, p. 19-73, v.4.

SERATHIUK, Everton G.; MARTINS, Juliano F. **Uso de reservatórios de detenção em lotes de condomínio para atenuação de cheias**. 2011. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Positivo. Curitiba, 2011.



SILVA, Pedro O. da; CABRAL, Jaime J. da S. P. Atenuação de picos de vazão em área problema: estudo comparativo de reservatórios de detenção em lote, em logradouros e em grande área da bacia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 7-18, abr./jun. 2014. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/88d5996e13358f33766decee4427f60a\\_316b4705c1201123a6bb7b76a2f06c68.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/88d5996e13358f33766decee4427f60a_316b4705c1201123a6bb7b76a2f06c68.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2015.

SCHELLIN, Lucy M.; DZIEDZIC, Maurício. Contribuições à legislação para controle do escoamento superficial e redução de ocorrência de cheias em Curitiba. **XVII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Florianópolis, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/303839424\\_CONTRIBUICOES\\_A\\_LEGISLACAO\\_PARA\\_CONTROLE\\_DO\\_ESCOAMENTO\\_SUPERFICIAL\\_E\\_REDUCAO\\_D\\_E\\_OCORRENCIA\\_DE\\_CHEIAS\\_EM\\_CURITIBA](https://www.researchgate.net/publication/303839424_CONTRIBUICOES_A_LEGISLACAO_PARA_CONTROLE_DO_ESCOAMENTO_SUPERFICIAL_E_REDUCAO_D_E_OCORRENCIA_DE_CHEIAS_EM_CURITIBA)>. Acesso em: 31 mar. 2017.

SOUZA, Ricardo C. C. de. **Análise da utilização de reservatórios de contenção de cheias em edificações e o seu impacto no sistema de drenagem urbana**. 2013. 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

STERREN, Marlène van der; RAHMAN, Ataur. Single lot on site detention requirements in New South Wales Australia and its relation to holistic storm water management. **Sustainability of Water Quality and Ecology**, v. 6, p. 48-56, set. 2015.

STERREN, Marlène van der; RAHMAN, Ataur; RYAN, Garry. Modeling of a lot scale rainwater tank system in XP-SWMM: A case study in Western Sydney, Australia. **Journal of Environmental Management**, v. 141, p. 177-189, ago. 2014.

TALAMINI NETO, Edmundo. **Caracterização geotécnica do subsolo de Curitiba para o planejamento de ocupação do espaço subterrâneo**. 2001. 223 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

TASSI, Rutinéia. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

TASSI, Rutinéia; VILLANUEVA, Adolfo O. N. Análise do impacto dos microrreservatórios de lote nos custos de uma rede de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 89-98, jul./set. 2004. Disponível em:

<[https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/87036b0c790fea1303b3e911828c6707\\_5e7a0423bd1c2ce806d844382903ba2b.pdf](https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/87036b0c790fea1303b3e911828c6707_5e7a0423bd1c2ce806d844382903ba2b.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2016.

TODESCHINI, Sara; PAPIRI, Sergio; CIAPONI, Carlo. Performance of stormwater detention tanks for urban drainage systems in northern Italy. **Journal of Environmental Management**, v. 101, p. 33-45, jun. 2012.

TSUTIYA, Milton T.; BUENO, Rui C. R. Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no estado de São Paulo. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campo Grande, 2005. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-364.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2016.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH – Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

UDFCD. **Urban Storm Drainage Criteria Manual: Volume 1. Management, Hydrology, and Hydraulics**. Denver: Urban Drainage and Flood Control District, 2017a.

UDFCD. **Urban Storm Drainage Criteria Manual: Volume 2. Structures, Storage, and Recreation**. Denver: Urban Drainage and Flood Control District, 2017b.

UDFCD. **Urban Storm Drainage Criteria Manual: Volume 3. Best Management Practices**. Denver: Urban Drainage and Flood Control District, 2015.

WILCOX, Kevin. Researchers examine interventions for urban stream syndrome. **Civil Engineering**, 03 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.asce.org/magazine/20151103-researchers-examine-interventions-for-urban-stream-syndrome/>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

YAMASHITA, Sampei; WATANABE, Ryoichi; SHIMATANI, Yukihiro. Smart adaptation activities and measures against urban flood disasters. **Sustainable Cities and Society**, v. 27, p. 175-184, nov. 2016.

**ANEXO A** – Prefeitura Municipal de Curitiba: Decreto nº 176/2007. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias (CURITIBA, 2007)



PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA

PUBLICADO NO DOM N.º 24  
DE 27 / 03 / 2007

**DECRETO N.º 176**

*Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias.*

O PREFEITO MUNICIPAL DE CURITIBA, CAPITAL DO ESTADO DO PARANÁ, no uso de suas atribuições legais contidas no inciso IV, do artigo 72, da Lei Orgânica do Município de Curitiba, de conformidade com o artigo 17, da Lei n.º 7.833/1991 e §5.º, do artigo 42, da Lei n.º 9.800/2000;

considerando que compete ao Poder Público tomar medidas preventivas contra as graves conseqüências das inundações ou alagamentos que ocorrem periodicamente em áreas urbanizadas;

considerando que a impermeabilização das bacias hidrográficas resultante das edificações, pavimentações e demais impermeabilizações, causam impactos diretos no sistema drenante, acarretando por parte do Poder Público, investimentos cumulativos no sistema de jusante;

considerando a necessidade de se estabelecer critérios para dimensionamento e implantação dos mecanismos de contenção de cheias e baseado no Processo n.º 105.011/2006 - PMC,

**DECRETA:**

Art. 1.º A política do Poder Público Municipal, para o controle de cheias e alagamentos, consiste em acumular o máximo possível os excedentes hídricos a montante, possibilitando assim o retardamento do pico das enchentes, para as chuvas de curta duração e maior intensidade.

Art. 2.º Para efeito de aplicação do presente decreto, os mecanismos de contenção de cheias ficam definidos:

I - BACIAS OU RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO - são dispositivos abertos ou fechados capazes de reter e acumular parte das águas pluviais, provenientes de chuvas intensas, que tem por função regular a vazão de saída num valor desejado atenuando os efeitos a jusante, aliviando assim, os canais ou galerias responsáveis pela macrodrenagem.

Art. 3.º As bacias ou reservatórios de retenção deverão obedecer aos seguintes requisitos:

I - apresentar volume adequado, compatível com a área contribuinte de montante e dimensionadas em conformidade com o físico, hidráulico e hidrológico da área de contribuição;



II - o volume calculado para o reservatório de detenção deverá ser aprovado pela Secretaria Municipal de Obras Públicas - SMOP.

Art. 4.º Será obrigatória a implantação de reservatórios de detenção nos novos empreendimentos, ampliações e/ou reformas situados em ZC - Zona Central, Setor Especial Histórico, Setor Especial Eixo Barão - Riachuelo, Setor Especial Preferencial de Pedestres, Setor Especial Estrutural - Via Central e Vias Externas, independente da área impermeabilizada.

Parágrafo único. A obrigatoriedade de que trata o "caput" deste artigo não se aplica aos imóveis que contenham Unidades de Interesse de Preservação, situados nas zonas e setores mencionados.

Art. 5.º Será obrigatória a implantação de reservatórios de detenção:

I - nos novos empreendimentos, ampliações e/ou reformas, independente do uso e localização, que impermeabilizarem área igual ou superior a 3.000,00m<sup>2</sup> (três mil metros quadrados);

II - nos novos empreendimentos, ampliações e/ou reformas independente do uso e localização, que apresentarem redução da taxa de permeabilidade de 25% (vinte e cinco por cento), estabelecida na Lei n.º 9.800/2000 e seus decretos complementares.

§1.º Poderá ser autorizada pela Secretaria Municipal de Urbanismo - SMU taxa de permeabilidade abaixo de 25% (vinte e cinco por cento) nos empreendimentos que solicitarem a redução da taxa de permeabilidade estabelecida na Lei n.º 9.800/2000 e seus decretos complementares, desde que implantado reservatório de detenção.

§2.º Para o dimensionamento do volume do reservatório de detenção onde houver redução da taxa de permeabilidade:

- a) de 25% (vinte e cinco por cento) até 15% (quinze por cento) será considerada a área total impermeabilizada no lote;
- b) abaixo de 15% (quinze por cento) será considerada para cálculo a área total do terreno, devendo ser mantido o paisagismo no recuo obrigatório do alinhamento predial, exceto nas Zonas de Serviço onde é esse facultado.

§3.º Serão consideradas impermeáveis, além das edificações, as áreas destinadas a piscinas, acessos de veículos, estacionamentos descobertos e canchas descobertas, esses independente do tipo de revestimento do piso. No caso de acessos de veículos em habitações unifamiliares isoladas ou em série será admitido canteiro central entre rodas permeável.



Art. 6.º Os reservatórios de detenção deverão ser dimensionados para cada caso, podendo ser instaladas nas próprias áreas dos imóveis ou interligadas de forma a acumular as vazões das áreas adjacentes.

§1.º O dimensionamento do volume necessário para o reservatório de detenção deverá ser calculado mediante a aplicação da seguinte fórmula:

$$V = K \times I \times A$$

Onde:

V= volume do reservatório

K= constante dimensional = 0,20

I= intensidade da chuva = 0,080m/h

A= área prevista no §2.º, do artigo 5.º, deste decreto.

O diâmetro do orifício regulador de vazão deverá obedecer ao seguinte critério:

| VOLUME                    | DIÂMETRO |
|---------------------------|----------|
| Até 2m <sup>3</sup>       | 25mm     |
| 3 a 6m <sup>3</sup>       | 40mm     |
| 7 a 26m <sup>3</sup>      | 50mm     |
| 27 a 60m <sup>3</sup>     | 75mm     |
| 61 a 134m <sup>3</sup>    | 100mm    |
| 135 a 355m <sup>3</sup>   | 150mm    |
| 356 a 405m <sup>3</sup>   | 200mm    |
| 406 a 800m <sup>3</sup>   | 300mm    |
| 801 a 1300m <sup>3</sup>  | 400mm    |
| 1301 a 2000m <sup>3</sup> | 500mm    |

Art. 7.º Os reservatórios de detenção, não poderão localizar-se no recuo obrigatório estabelecido na Lei n.º 9.800/2000 e seus decretos complementares.

Art. 8.º A saída do reservatório para a rede pública de drenagem deverá funcionar preferencialmente por gravidade.

Art. 9.º Fica sob a responsabilidade da SMOP, a análise dos projetos de empreendimentos que necessitam da implantação de mecanismos de contenção de cheias, assim como a fiscalização da execução dos mesmos.

Parágrafo único. Os projetos de reservatório de detenção deverão ser apresentados com seu volume calculado e localização no empreendimento.



## PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA

4

Art. 10 Fica sob a responsabilidade do proprietário do empreendimento que possua reservatório de detenção, a sua manutenção e limpeza periódica, de forma a garantir o perfeito escoamento de águas pluviais.

Art. 11 A pessoa física ou jurídica de direito público ou privado que infringir os dispositivos deste decreto, fica sujeita às penalidades estabelecidas na Lei n.º 11.095/2004.

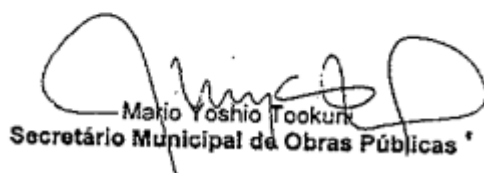
Art. 12 Os casos omissos serão analisados pelo Conselho Municipal de Urbanismo - CMU, ouvida a SMOP e a Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SMMA.

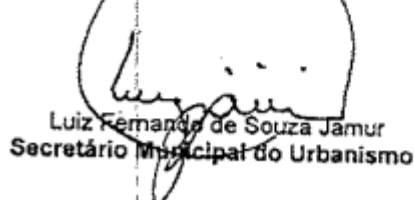
Art. 13 Este decreto entrará em vigor na data de sua publicação, revogado o Decreto n.º 791/2003.

PALÁCIO 29 DE MARCO, em 20 de março de 2007.

  
Carlos Alberto Richa  
Prefeito Municipal

  
José Antonio Andreghetto  
Secretário Municipal do Meio Ambiente

  
Makio Yoshio Tookuri  
Secretário Municipal de Obras Públicas

  
Luiz Fernando de Souza Jamur  
Secretário Municipal do Urbanismo

## ANEXO B – Prefeitura Municipal de Curitiba: Normas para Projeto de Drenagem (Secretaria Municipal de Obras Públicas)



### PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS DEPARTAMENTO DE PONTES E DRENAGEM

#### NORMAS PARA PROJETOS DE DRENAGEM

Considerando a necessidade de orientar os profissionais quanto a aprovação específica de projetos de drenagem superficiais **O DIRETOR DO DEPARTAMENTO DE PONTES E DRENAGEM**, no uso de suas atribuições legais determina e estabelece **CRITÉRIOS PARA APRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE DRENAGEM**

1º - Para desvios de fundo de vale deverá ser apresentado projeto específico para aprovação na SMOP/OPO, devendo o projeto ser revalidado após 12 meses(doze meses) caso a obra não tenha sido implantada.

2º - Os projetos de construção a serem aprovados, somente poderão ter o referido alvará de construção expedido, com o projeto de drenagem específico, devidamente aprovado pelo departamento competente.

#### ANEXO I

#### NORMAS PARA PROJETO DE DRENAGEM

##### 1º – ELABORAÇÃO DOS PROJETOS

- a) Todas as mudanças de declividade, diâmetro e direção, deverão possuir poço de visita
- b) Para os Diâmetros não cotados entende-se ser de  $\phi$  0,40m
- c) O eixo da tubulação deverá estar a 3,00m do alinhamento predial
- d) Recobrimento mínimo dos tubos de 0,60m
- e) Distância máxima entre os ralos 35,00m
- f) Distância máxima entre os poços de visita 120 metros
- g) Os projetos deverão ser apresentados nas escalas 1:500 Hor. - /100 Vert.
- h) Na planta deverá constar estaqueamento e nome das ruas
- i) A planta de situação deverá ser apresentada na escala 1:10.000 com a marcação das quadriculas conforme mapa oficial
- j) O carimbo deverá ser conforme modelo da OPO e os campos referentes a bacia hidrográfica e arquivo deverão ficar em branco
- h) Todas as pranchas deverão ser dentro das normas da ABNT
- i) Para a aprovação dos projetos deverão ser entregues em 3 cópias assinadas e cópia em meio digital (CD) com identificação do lote na capa.
- j) Deverá ser apresentado a Art de projeto de drenagem com comprovante de pagamento.
- k) O perfil (esc horiz. 1:500 e vert. 1:100) deverá conter
  - declividade
  - cota do terreno
  - estaqueamento
  - cota da geratriz inf. Interna do tubo
  - diâmetro
  - distância
  - número do poço
- l) A planilha de dimensionamento das tubulações deverá seguir o modelo fornecido pelo departamento.
- m) A área de contribuição deverá ser apresentada em restituição aerofotogramétrica esc 1:2000 ou 1:5000 à ser retirado no IPPUC

##### 2º - METODOLOGIA DE CÁLCULO

- A vazão deverá ser calculada pela fórmula Racional:

$$Q=C*I*A/6$$

onde:

- Q=vazão em m<sup>3</sup>/s
- C= Run off
- I= Intensidade de chuva em mm/min
- A= área de contribuição em hectares

“ RUN OFF” (C)

- Para a região central de Curitiba 0,90
- Para as demais regiões 0,80

- Fórmula de intensidade de chuva (I)

$$I = 99,167 \cdot TR^{0,217} / (tc + 26)^{1,15}$$

#### Tempo de Recorrência (TR) para tubulação

- Área de contribuição até 40 ha → TR 5 anos
- Área de contribuição de 40 a 64 ha → TR 10 anos
- Área de contribuição maior que 65 ha → TR 25 anos

#### Tempo de concentração (Tc)

$$Tc = 57 \cdot (L^3 / H)^{0,385}$$

onde:

- L= comprimento do talvegue em Km.
- H= desnível em metros
- UTILIZAR TEMPO MÍNIMO DE 10 MIN.

Dimensionamento da tubulação deverá obedecer a fórmula de Manning:

$$Q = A \cdot Rh^{(2/3)} \cdot i^{(1/2)} \cdot 1/n$$

- Q= Vazão em m<sup>3</sup>/s
- Rh=Raio hidráulico ( para seção plena)
- i=declividade em m/m
- n=rugosidade do tubo, para concreto n=0.015













#### Velocidades Mínimas e Máximas

- Velocidade mínima 0,8 m/s
- Velocidade máxima 4,0 m/s

### 3º – DISPOSIÇÕES GERAIS

- Para canalização de fundo de vale deverá apresentar consulta ao meio ambiente
- APÓS 12 MESES O PROJETO DEVERÁ SER REVALIDADO, CASO A OBRA NÃO SEJA EXECUTADA.

### 4º - CONVENÇÕES

|   |  |
|---|--|
|  | Marcação de fundo de vale com a faixa não edificável |
|  | Divisor  |
|  | Caixa de Queda (CQ)                                  |
|  | Caixa de Ligação (CL)                                |
|  | Poço de Visita (PV)                                  |
|  | Galeria a executar                                   |
|  | Galeria existente                                    |
|  | Ralo executar  |
|  | Ralo existente                                       |
|  | Vala a executar                                      |
|  | Vala existente                                       |
|  | Declividade do greide                                |



## ANEXO C – Memorial de Cálculo do Dimensionamento dos Reservatórios de Contenção de Cheias

| Área impermeável (m <sup>2</sup> ) | Vazões no terreno (m <sup>3</sup> /h) |                 | Vazões no reservatório (m <sup>3</sup> /h) |                       |                    | Dimensionamento proposto para o reservatório |                                 |                                  |                                  |                                |                    |                | Dimensionamento do reservatório pelo Decreto nº 176/2007 |                                  | Relação de volume entre o proposto e o Decreto 176/2007 |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------------|--------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|--|----------------------------------|---|
|                                    | Pré-urbanização                       | Pós-urbanização | Vazão de entrada                           | Vazão máxima de saída | Redução necessária | Volume mínimo (m <sup>3</sup> )              | Volume máximo (m <sup>3</sup> ) | Volume adotado (m <sup>3</sup> ) | Diâmetro Orifício Regulador (mm) | Área de base (m <sup>2</sup> ) | Lâmina de água (m) | Eficiência (%) | Volume decreto (m <sup>3</sup> )                         | Diâmetro Orifício Regulador (mm) |   |
| 0                                  | 0,00                                  | 0,00            | 0,00                                       | 0,00                  | 0,00               | 0,00   | 0,00                            | 1,21                             | 25                               | 2,55                           | 0,48               | 70,24          | 0,00   | -                                | -   |
| 100                                | 3,09                                  | 10,37           | 10,37                                      | 3,09                  | 7,28               | 1,21   | 1,73                            | 1,21                             | 25                               | 2,55                           | 0,48               | 70,24          | 1,60   | 25                               | -24,14%   |
| 200                                | 6,17                                  | 20,74           | 20,74                                      | 6,17                  | 14,57              | 2,43   | 3,46                            | 2,43                             | 25                               | 1,32                           | 1,84               | 70,51          | 3,20   | 40                               | -24,14%   |
| 300                                | 9,26                                  | 31,11           | 31,11                                      | 9,26                  | 21,85              | 3,64   | 5,18                            | 3,64                             | 40                               | 5,56                           | 0,65               | 70,25          | 4,80   | 40                               | -24,14%   |
| 400                                | 12,34                                 | 41,48           | 41,48                                      | 12,34                 | 29,13              | 4,86   | 6,91                            | 4,86                             | 40                               | 4,21                           | 1,15               | 70,26          | 6,40   | 50                               | -24,14%   |
| 500                                | 15,43                                 | 51,84           | 51,84                                      | 15,43                 | 36,41              | 6,07   | 8,64                            | 6,07                             | 40                               | 3,38                           | 1,80               | 70,26          | 8,00   | 50                               | -24,14%   |
| 600                                | 18,52                                 | 62,21           | 62,21                                      | 18,52                 | 43,70              | 7,28   | 10,37                           | 7,28                             | 50                               | 6,82                           | 1,07               | 70,25          | 9,60   | 50                               | -24,14%   |
| 700                                | 21,60                                 | 72,58           | 72,58                                      | 21,60                 | 50,98              | 8,50   | 12,10                           | 8,50                             | 50                               | 5,87                           | 1,45               | 70,25          | 11,20  | 50                               | -24,14%   |
| 800                                | 24,69                                 | 82,95           | 82,95                                      | 24,69                 | 58,26              | 9,71   | 13,83                           | 9,71                             | 50                               | 5,15                           | 1,89               | 70,26          | 12,80  | 50                               | -24,14%   |
| 900                                | 27,77                                 | 93,32           | 93,32                                      | 27,77                 | 65,55              | 10,92  | 15,55                           | 10,92                            | 50                               | 4,58                           | 2,39               | 70,24          | 14,40  | 50                               | -24,14%   |
| 1000                               | 30,86                                 | 103,69          | 103,69                                     | 30,86                 | 72,83              | 12,14  | 17,28                           | 12,14                            | 60                               | 8,50                           | 1,43               | 70,24          | 16,00  | 50                               | -24,14%   |
| 1100                               | 33,95                                 | 114,06          | 114,06                                     | 33,95                 | 80,11              | 13,35  | 19,01                           | 13,35                            | 60                               | 7,74                           | 1,73               | 70,25          | 17,60  | 50                               | -24,14%   |
| 1200                               | 37,03                                 | 124,43          | 124,43                                     | 37,03                 | 87,40              | 14,57  | 20,74                           | 14,57                            | 60                               | 7,11                           | 2,05               | 70,25          | 19,20  | 50                               | -24,14%   |
| 1300                               | 40,12                                 | 134,80          | 134,80                                     | 40,12                 | 94,68              | 15,78  | 22,47                           | 15,78                            | 60                               | 6,57                           | 2,40               | 70,25          | 20,80  | 50                               | -24,14%   |
| 1400                               | 43,20                                 | 145,17          | 145,17                                     | 43,20                 | 101,96             | 16,99  | 24,19                           | 16,99                            | 75                               | 14,70                          | 1,16               | 70,24          | 22,40  | 50                               | -24,14%   |
| 1500                               | 46,29                                 | 155,53          | 155,53                                     | 46,29                 | 109,24             | 18,21  | 25,92                           | 18,21                            | 75                               | 13,76                          | 1,32               | 70,24          | 24,00  | 50                               | -24,14%   |
| 1600                               | 49,38                                 | 165,90          | 165,90                                     | 49,38                 | 116,53             | 19,42  | 27,65                           | 19,42                            | 75                               | 12,93                          | 1,50               | 70,24          | 25,60  | 50                               | -24,14%   |
| 1700                               | 52,46                                 | 176,27          | 176,27                                     | 52,46                 | 123,81             | 20,64  | 29,38                           | 20,64                            | 75                               | 12,19                          | 1,69               | 70,24          | 27,20  | 75                               | -24,14%   |
| 1800                               | 55,55                                 | 186,64          | 186,64                                     | 55,55                 | 131,09             | 21,85  | 31,11                           | 21,85                            | 75                               | 11,53                          | 1,89               | 70,24          | 28,80  | 75                               | -24,14%   |
| 1900                               | 58,63                                 | 197,01          | 197,01                                     | 58,63                 | 138,38             | 23,06  | 32,84                           | 23,06                            | 75                               | 10,94                          | 2,11               | 70,25          | 30,40  | 75                               | -24,14%   |
| 2000                               | 61,72                                 | 207,38          | 207,38                                     | 61,72                 | 145,66             | 24,28  | 34,56                           | 24,28                            | 75                               | 10,40                          | 2,33               | 70,24          | 32,00  | 75                               | -24,14%   |
| 2100                               | 64,81                                 | 217,75          | 217,75                                     | 64,81                 | 152,94             | 25,49  | 36,29                           | 25,49                            | 75                               | 9,92                           | 2,57               | 70,24          | 33,60  | 75                               | -24,14%   |
| 2200                               | 67,89                                 | 228,12          | 228,12                                     | 67,89                 | 160,22             | 26,70  | 38,02                           | 26,70                            | 100                              | 29,11                          | 0,92               | 70,24          | 35,20  | 75                               | -24,14%   |
| 2300                               | 70,98                                 | 238,49          | 238,49                                     | 70,98                 | 167,51             | 27,92  | 39,75                           | 27,92                            | 100                              | 27,93                          | 1,00               | 70,24          | 36,80  | 75                               | -24,14%   |
| 2400                               | 74,06                                 | 248,85          | 248,85                                     | 74,06                 | 174,79             | 29,13  | 41,48                           | 29,13                            | 100                              | 26,84                          | 1,09               | 70,24          | 38,40  | 75                               | -24,14%   |
| 2500                               | 77,15                                 | 259,22          | 259,22                                     | 77,15                 | 182,07             | 30,35  | 43,20                           | 30,35                            | 100                              | 25,84                          | 1,17               | 70,24          | 40,00  | 75                               | -24,14%   |
| 2600                               | 80,24                                 | 269,59          | 269,59                                     | 80,24                 | 189,36             | 31,56  | 44,93                           | 31,56                            | 100                              | 24,90                          | 1,27               | 70,24          | 41,60  | 75                               | -24,14%   |
| 2700                               | 83,32                                 | 279,96          | 279,96                                     | 83,32                 | 196,64             | 32,77  | 46,66                           | 32,77                            | 100                              | 24,02                          | 1,36               | 70,24          | 43,20  | 75                               | -24,14%   |
| 2800                               | 86,41                                 | 290,33          | 290,33                                     | 86,41                 | 203,92             | 33,99  | 48,39                           | 33,99                            | 100                              | 23,20                          | 1,46               | 70,24          | 44,80  | 75                               | -24,14%   |
| 2900                               | 89,49                                 | 300,70          | 300,70                                     | 89,49                 | 211,21             | 35,20  | 50,12                           | 35,20                            | 100                              | 22,44                          | 1,57               | 70,24          | 46,40  | 75                               | -24,14%   |
| 3000                               | 92,58                                 | 311,07          | 311,07                                     | 92,58                 | 218,49             | 36,41  | 51,84                           | 36,41                            | 100                              | 21,72                          | 1,68               | 70,24          | 48,00  | 75                               | -24,14%   |
| 3100                               | 95,67                                 | 321,44          | 321,44                                     | 95,67                 | 225,77             | 37,63  | 53,57                           | 37,63                            | 100                              | 21,04                          | 1,79               | 70,24          | 49,60  | 75                               | -24,14%   |
| 3200                               | 98,75                                 | 331,81          | 331,81                                     | 98,75                 | 233,05             | 38,84  | 55,30                           | 38,84                            | 100                              | 20,41                          | 1,90               | 70,24          | 51,20  | 75                               | -24,14%   |
| 3300                               | 101,84                                | 342,18          | 342,18                                     | 101,84                | 240,34             | 40,06  | 57,03                           | 40,06                            | 100                              | 19,81                          | 2,02               | 70,24          | 52,80  | 75                               | -24,14%   |
| 3400                               | 104,92                                | 352,54          | 352,54                                     | 104,92                | 247,62             | 41,27  | 58,76                           | 41,27                            | 100                              | 19,25                          | 2,14               | 70,24          | 54,40  | 75                               | -24,14%   |
| 3500                               | 108,01                                | 362,91          | 362,91                                     | 108,01                | 254,90             | 42,48  | 60,49                           | 42,48                            | 100                              | 18,71                          | 2,27               | 70,24          | 56,00  | 75                               | -24,14%   |
| 3600                               | 111,10                                | 373,28          | 373,28                                     | 111,10                | 262,19             | 43,70  | 62,21                           | 43,70                            | 100                              | 18,21                          | 2,40               | 70,24          | 57,60  | 75                               | -24,14%   |
| 3700                               | 114,18                                | 383,65          | 383,65                                     | 114,18                | 269,47             | 44,91  | 63,94                           | 44,91                            | 100                              | 17,73                          | 2,53               | 70,24          | 59,20  | 75                               | -24,14%   |
| 3800                               | 117,27                                | 394,02          | 394,02                                     | 117,27                | 276,75             | 46,13  | 65,67                           | 46,13                            | 100                              | 17,27                          | 2,67               | 70,24          | 60,80  | 100                              | -24,14%   |
| 3900                               | 120,35                                | 404,39          | 404,39                                     | 120,35                | 284,04             | 47,34  | 67,40                           | 47,34                            | 125                              | 40,13                          | 1,18               | 70,24          | 62,40  | 100                              | -24,14%   |
| 4000                               | 123,44                                | 414,76          | 414,76                                     | 123,44                | 291,32             | 48,55  | 69,13                           | 48,55                            | 125                              | 39,20                          | 1,24               | 70,24          | 64,00  | 100                              | -24,14%   |
| 4100                               | 126,53                                | 425,13          | 425,13                                     | 126,53                | 298,60             | 49,77  | 70,85                           | 49,77                            | 125                              | 38,31                          | 1,30               | 70,24          | 65,60  | 100                              | -24,14%   |
| 4200                               | 129,61                                | 435,50          | 435,50                                     | 129,61                | 305,88             | 50,98  | 72,58                           | 50,98                            | 125                              | 37,45                          | 1,36               | 70,24          | 67,20  | 100                              | -24,14%   |

| Área impermeável (m <sup>2</sup> ) | Vazões no terreno (m <sup>3</sup> /h) |                 | Vazões no reservatório (m <sup>3</sup> /h) |                       |                    | Dimensionamento proposto para o reservatório |                                 |                                  |                                  |                                |                    |                | Dimensionamento do reservatório pelo Decreto nº 176/2007 |                                  | Relação de volume entre o proposto e o Decreto 176/2007 |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------------|--------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|--|----------------------------------|---|
|                                    | Pré-urbanização                       | Pós-urbanização | Vazão de entrada                           | Vazão máxima de saída | Redução necessária | Volume mínimo (m <sup>3</sup> )              | Volume máximo (m <sup>3</sup> ) | Volume adotado (m <sup>3</sup> ) | Diâmetro Orifício Regulador (mm) | Área de base (m <sup>2</sup> ) | Lâmina de água (m) | Eficiência (%) | Volume decreto (m <sup>3</sup> )                         | Diâmetro Orifício Regulador (mm) |   |
| 4300                               | 132,70                                | 445,86          | 445,86                                     | 132,70                | 313,17             | 52,19  | 74,31                           | 52,19                            | 125                              | 36,64                          | 1,42               | 70,24          | 68,80  | 100                              | -24,14%   |
| 4400                               | 135,78                                | 456,23          | 456,23                                     | 135,78                | 320,45             | 53,41  | 76,04                           | 53,41                            | 125                              | 35,85                          | 1,49               | 70,24          | 70,40  | 100                              | -24,14%   |
| 4500                               | 138,87                                | 466,60          | 466,60                                     | 138,87                | 327,73             | 54,62  | 77,77                           | 54,62                            | 125                              | 35,10                          | 1,56               | 70,24          | 72,00  | 100                              | -24,14%   |
| 4600                               | 141,96                                | 476,97          | 476,97                                     | 141,96                | 335,02             | 55,84  | 79,50                           | 55,84                            | 125                              | 34,38                          | 1,62               | 70,24          | 73,60  | 100                              | -24,14%   |
| 4700                               | 145,04                                | 487,34          | 487,34                                     | 145,04                | 342,30             | 57,05  | 81,22                           | 57,05                            | 125                              | 33,68                          | 1,69               | 70,24          | 75,20  | 100                              | -24,14%   |
| 4800                               | 148,13                                | 497,71          | 497,71                                     | 148,13                | 349,58             | 58,26  | 82,95                           | 58,26                            | 125                              | 33,01                          | 1,77               | 70,24          | 76,80  | 100                              | -24,14%   |
| 4900                               | 151,21                                | 508,08          | 508,08                                     | 151,21                | 356,86             | 59,48  | 84,68                           | 59,48                            | 125                              | 32,37                          | 1,84               | 70,24          | 78,40  | 100                              | -24,14%   |
| 5000                               | 154,30                                | 518,45          | 518,45                                     | 154,30                | 364,15             | 60,69  | 86,41                           | 60,69                            | 125                              | 31,75                          | 1,91               | 70,24          | 80,00  | 100                              | -24,14%   |
| 5100                               | 157,39                                | 528,82          | 528,82                                     | 157,39                | 371,43             | 61,91  | 88,14                           | 61,91                            | 125                              | 31,16                          | 1,99               | 70,24          | 81,60  | 100                              | -24,14%   |
| 5200                               | 160,47                                | 539,19          | 539,19                                     | 160,47                | 378,71             | 63,12  | 89,86                           | 63,12                            | 125                              | 30,58                          | 2,06               | 70,24          | 83,20  | 100                              | -24,14%   |
| 5300                               | 163,56                                | 549,55          | 549,55                                     | 163,56                | 386,00             | 64,33  | 91,59                           | 64,33                            | 125                              | 30,03                          | 2,14               | 70,24          | 84,80  | 100                              | -24,14%   |
| 5400                               | 166,64                                | 559,92          | 559,92                                     | 166,64                | 393,28             | 65,55  | 93,32                           | 65,55                            | 125                              | 29,49                          | 2,22               | 70,24          | 86,40  | 100                              | -24,14%   |
| 5500                               | 169,73                                | 570,29          | 570,29                                     | 169,73                | 400,56             | 66,76  | 95,05                           | 66,76                            | 125                              | 28,97                          | 2,30               | 70,24          | 88,00  | 100                              | -24,14%   |
| 5600                               | 172,82                                | 580,66          | 580,66                                     | 172,82                | 407,85             | 67,97  | 96,78                           | 67,97                            | 125                              | 28,47                          | 2,39               | 70,24          | 89,60  | 100                              | -24,14%   |
| 5700                               | 175,90                                | 591,03          | 591,03                                     | 175,90                | 415,13             | 69,19  | 98,51                           | 69,19                            | 125                              | 27,99                          | 2,47               | 70,24          | 91,20  | 100                              | -24,14%   |
| 5800                               | 178,99                                | 601,40          | 601,40                                     | 178,99                | 422,41             | 70,40  | 100,23                          | 70,40                            | 125                              | 27,52                          | 2,56               | 70,24          | 92,80  | 100                              | -24,14%   |
| 5900                               | 182,07                                | 611,77          | 611,77                                     | 182,07                | 429,69             | 71,62  | 101,96                          | 71,62                            | 125                              | 27,07                          | 2,65               | 70,24          | 94,40  | 100                              | -24,14%   |
| 6000                               | 185,16                                | 622,14          | 622,14                                     | 185,16                | 436,98             | 72,83  | 103,69                          | 72,83                            | 150                              | 53,98                          | 1,35               | 70,24          | 96,00  | 100                              | -24,14%   |
| 6100                               | 188,25                                | 632,51          | 632,51                                     | 188,25                | 444,26             | 74,04  | 105,42                          | 74,04                            | 150                              | 53,16                          | 1,39               | 70,24          | 97,60  | 100                              | -24,14%   |
| 6200                               | 191,33                                | 642,87          | 642,87                                     | 191,33                | 451,54             | 75,26  | 107,15                          | 75,26                            | 150                              | 52,37                          | 1,44               | 70,24          | 99,20  | 100                              | -24,14%   |
| 6300                               | 194,42                                | 653,24          | 653,24                                     | 194,42                | 458,83             | 76,47  | 108,87                          | 76,47                            | 150                              | 51,60                          | 1,48               | 70,24          | 100,80   | 100                              | -24,14%   |
| 6400                               | 197,50                                | 663,61          | 663,61                                     | 197,50                | 466,11             | 77,68  | 110,60                          | 77,68                            | 150                              | 50,84                          | 1,53               | 70,24          | 102,40   | 100                              | -24,14%   |
| 6500                               | 200,59                                | 673,98          | 673,98                                     | 200,59                | 473,39             | 78,90  | 112,33                          | 78,90                            | 150                              | 50,12                          | 1,57               | 70,24          | 104,00   | 100                              | -24,14%   |
| 6600                               | 203,68                                | 684,35          | 684,35                                     | 203,68                | 480,67             | 80,11  | 114,06                          | 80,11                            | 150                              | 49,41                          | 1,62               | 70,24          | 105,60   | 100                              | -24,14%   |
| 6700                               | 206,76                                | 694,72          | 694,72                                     | 206,76                | 487,96             | 81,33  | 115,79                          | 81,33                            | 150                              | 48,71                          | 1,67               | 70,24          | 107,20   | 100                              | -24,14%   |
| 6800                               | 209,85                                | 705,09          | 705,09                                     | 209,85                | 495,24             | 82,54  | 117,51                          | 82,54                            | 150                              | 48,04                          | 1,72               | 70,24          | 108,80   | 100                              | -24,14%   |
| 6900                               | 212,93                                | 715,46          | 715,46                                     | 212,93                | 502,52             | 83,75  | 119,24                          | 83,75                            | 150                              | 47,38                          | 1,77               | 70,24          | 110,40   | 100                              | -24,14%   |
| 7000                               | 216,02                                | 725,83          | 725,83                                     | 216,02                | 509,81             | 84,97  | 120,97                          | 84,97                            | 150                              | 46,75                          | 1,82               | 70,24          | 112,00   | 100                              | -24,14%   |
| 7100                               | 219,11                                | 736,20          | 736,20                                     | 219,11                | 517,09             | 86,18  | 122,70                          | 86,18                            | 150                              | 46,12                          | 1,87               | 70,24          | 113,60   | 100                              | -24,14%   |
| 7200                               | 222,19                                | 746,56          | 746,56                                     | 222,19                | 524,37             | 87,40  | 124,43                          | 87,40                            | 150                              | 45,52                          | 1,92               | 70,24          | 115,20   | 100                              | -24,14%   |
| 7300                               | 225,28                                | 756,93          | 756,93                                     | 225,28                | 531,66             | 88,61  | 126,16                          | 88,61                            | 150                              | 44,93                          | 1,97               | 70,24          | 116,80   | 100                              | -24,14%   |
| 7400                               | 228,36                                | 767,30          | 767,30                                     | 228,36                | 538,94             | 89,82  | 127,88                          | 89,82                            | 150                              | 44,35                          | 2,03               | 70,24          | 118,40   | 100                              | -24,14%   |
| 7500                               | 231,45                                | 777,67          | 777,67                                     | 231,45                | 546,22             | 91,04  | 129,61                          | 91,04                            | 150                              | 43,79                          | 2,08               | 70,24          | 120,00   | 100                              | -24,14%   |
| 7600                               | 234,54                                | 788,04          | 788,04                                     | 234,54                | 553,50             | 92,25  | 131,34                          | 92,25                            | 150                              | 43,24                          | 2,13               | 70,24          | 121,60   | 100                              | -24,14%   |
| 7700                               | 237,62                                | 798,41          | 798,41                                     | 237,62                | 560,79             | 93,46  | 133,07                          | 93,46                            | 150                              | 42,71                          | 2,19               | 70,24          | 123,20   | 100                              | -24,14%   |
| 7800                               | 240,71                                | 808,78          | 808,78                                     | 240,71                | 568,07             | 94,68  | 134,80                          | 94,68                            | 150                              | 42,18                          | 2,24               | 70,24          | 124,80   | 100                              | -24,14%   |
| 7900                               | 243,79                                | 819,15          | 819,15                                     | 243,79                | 575,35             | 95,89  | 136,52                          | 95,89                            | 150                              | 41,67                          | 2,30               | 70,24          | 126,40   | 100                              | -24,14%   |
| 8000                               | 246,88                                | 829,52          | 829,52                                     | 246,88                | 582,64             | 97,11  | 138,25                          | 97,11                            | 150                              | 41,17                          | 2,36               | 70,24          | 128,00   | 100                              | -24,14%   |
| 8100                               | 249,97                                | 839,89          | 839,89                                     | 249,97                | 589,92             | 98,32  | 139,98                          | 98,32                            | 150                              | 40,69                          | 2,42               | 70,24          | 129,60   | 100                              | -24,14%   |
| 8200                               | 253,05                                | 850,25          | 850,25                                     | 253,05                | 597,20             | 99,53  | 141,71                          | 99,53                            | 150                              | 40,21                          | 2,48               | 70,24          | 131,20   | 100                              | -24,14%   |
| 8300                               | 256,14                                | 860,62          | 860,62                                     | 256,14                | 604,49             | 100,75                                       | 143,44                          | 100,75                           | 150                              | 39,74                          | 2,54               | 70,24          | 132,80   | 100                              | -24,14%   |
| 8400                               | 259,22                                | 870,99          | 870,99                                     | 259,22                | 611,77             | 101,96                                       | 145,17                          | 101,96                           | 150                              | 39,29                          | 2,60               | 70,24          | 134,40   | 150                              | -24,14%   |
| 8500                               | 262,31                                | 881,36          | 881,36                                     | 262,31                | 619,05             | 103,18                                       | 146,89                          | 103,18                           | 150                              | 38,84                          | 2,66               | 70,24          | 136,00   | 150                              | -24,14%   |
| 8600                               | 265,40                                | 891,73          | 891,73                                     | 265,40                | 626,33             | 104,39                                       | 148,62                          | 104,39                           | 175                              | 69,62                          | 1,50               | 70,24          | 137,60   | 150                              | -24,14%   |
| 8700                               | 268,48                                | 902,10          | 902,10                                     | 268,48                | 633,62             | 105,60                                       | 150,35                          | 105,60                           | 175                              | 68,88                          | 1,53               | 70,24          | 139,20   | 150                              | -24,14%   |
| 8800                               | 271,57                                | 912,47          | 912,47                                     | 271,57                | 640,90             | 106,82                                       | 152,08                          | 106,82                           | 175                              | 68,16                          | 1,57               | 70,24          | 140,80   | 150                              | -24,14%   |

| Área impermeável (m <sup>2</sup> ) | Vazões no terreno (m <sup>3</sup> /h) |                 | Vazões no reservatório (m <sup>3</sup> /h) |                       |                    | Dimensionamento proposto para o reservatório |                                 |                                  |                                  |                                |                    |                | Dimensionamento do reservatório pelo Decreto nº 176/2007 |                                  | Relação de volume entre o proposto e o Decreto 176/2007 |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------------|--------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------|--|----------------------------------|---|
|                                    | Pré-urbanização                       | Pós-urbanização | Vazão de entrada                           | Vazão máxima de saída | Redução necessária | Volume mínimo (m <sup>3</sup> )              | Volume máximo (m <sup>3</sup> ) | Volume adotado (m <sup>3</sup> ) | Diâmetro Orifício Regulador (mm) | Área de base (m <sup>2</sup> ) | Lâmina de água (m) | Eficiência (%) | Volume decreto (m <sup>3</sup> )                         | Diâmetro Orifício Regulador (mm) |   |
| 8900                               | 274,65                                | 922,84          | 922,84                                     | 274,65                | 648,18             | 108,03                                       | 153,81                          | 108,03                           | 175                              | 67,46                          | 1,60               | 70,24          | 142,40   | 150                              | -24,14%   |
| 9000                               | 277,74                                | 933,21          | 933,21                                     | 277,74                | 655,47             | 109,24                                       | 155,53                          | 109,24                           | 175                              | 66,77                          | 1,64               | 70,24          | 144,00   | 150                              | -24,14%   |
| 9100                               | 280,83                                | 943,57          | 943,57                                     | 280,83                | 662,75             | 110,46                                       | 157,26                          | 110,46                           | 175                              | 66,09                          | 1,67               | 70,24          | 145,60   | 150                              | -24,14%   |
| 9200                               | 283,91                                | 953,94          | 953,94                                     | 283,91                | 670,03             | 111,67                                       | 158,99                          | 111,67                           | 175                              | 65,42                          | 1,71               | 70,24          | 147,20   | 150                              | -24,14%   |
| 9300                               | 287,00                                | 964,31          | 964,31                                     | 287,00                | 677,31             | 112,89                                       | 160,72                          | 112,89                           | 175                              | 64,77                          | 1,74               | 70,24          | 148,80   | 150                              | -24,14%   |
| 9400                               | 290,08                                | 974,68          | 974,68                                     | 290,08                | 684,60             | 114,10                                       | 162,45                          | 114,10                           | 175                              | 64,13                          | 1,78               | 70,24          | 150,40   | 150                              | -24,14%   |
| 9500                               | 293,17                                | 985,05          | 985,05                                     | 293,17                | 691,88             | 115,31                                       | 164,18                          | 115,31                           | 175                              | 63,50                          | 1,82               | 70,24          | 152,00   | 150                              | -24,14%   |
| 9600                               | 296,26                                | 995,42          | 995,42                                     | 296,26                | 699,16             | 116,53                                       | 165,90                          | 116,53                           | 175                              | 62,88                          | 1,85               | 70,24          | 153,60   | 150                              | -24,14%   |
| 9700                               | 299,34                                | 1005,79         | 1005,79                                    | 299,34                | 706,45             | 117,74                                       | 167,63                          | 117,74                           | 175                              | 62,27                          | 1,89               | 70,24          | 155,20   | 150                              | -24,14%   |
| 9800                               | 302,43                                | 1016,16         | 1016,16                                    | 302,43                | 713,73             | 118,95                                       | 169,36                          | 118,95                           | 175                              | 61,68                          | 1,93               | 70,24          | 156,80   | 150                              | -24,14%   |
| 9900                               | 305,51                                | 1026,53         | 1026,53                                    | 305,51                | 721,01             | 120,17                                       | 171,09                          | 120,17                           | 175                              | 61,09                          | 1,97               | 70,24          | 158,40   | 150                              | -24,14%   |
| 10000                              | 308,60                                | 1036,90         | 1036,90                                    | 308,60                | 728,30             | 121,38                                       | 172,82                          | 121,38                           | 175                              | 60,52                          | 2,01               | 70,24          | 160,00   | 150                              | -24,14%   |

## ANEXO D – Quadro Comparativo com o Dimensionamento Proposto em Pesquisas Citadas

| Autores                       | Local de estudo | Tipo de área | Dimensão da área de estudo (m²) | Área permeável (%) | Área impermeável (%) | Área impermeável (m²) | Volume do reservatório (m³) | Diâmetro orifício regulador de vazão (mm) | Redução vazão de pico no lote (%) | Duração da precipitação (min) | Tempo de retorno (anos) | Intensidade da precipitação (mm/h) |
|-------------------------------|-----------------|--------------|---------------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|---|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Tassi (2002)                  | Porto Alegre-RS | Lote         | 300                             | 49,00%             | 51,00%               | 153,00                | 4,20                        | 10  | Obtida vazão pré-urbanização      | 60                            | 5                       | 34,99                              |
| Tassi (2002)                  | Porto Alegre-RS | Lote         | 600                             | 49,00%             | 51,00%               | 306,00                | 8,00                        | 10  | Obtida vazão pré-urbanização      | 60                            | 5                       | 34,99                              |
| Tassi (2002)                  | Porto Alegre-RS | Lote         | 300                             | 49,00%             | 51,00%               | 153,00                | 4,29                        | 15  | Obtida vazão pré-urbanização      | 60                            | 10                      | 38,63                              |
| Tassi (2002)                  | Porto Alegre-RS | Lote         | 600                             | 49,00%             | 51,00%               | 306,00                | 8,80                        | 15  | Obtida vazão pré-urbanização      | 60                            | 10                      | 38,63                              |
| Agra (2001)                   | Porto Alegre-RS | Lote         | 337,5                           | 0,00%              | 100,00%              | 337,50                | 1,26                        | 40 (2 unidades)                           | 38,00                             | 255* / 5**                    | 5                       | 4,28* / 62,00**                    |
| Agra (2001)                   | Porto Alegre-RS | Lote         | 337,5                           | 0,00%              | 100,00%              | 337,50                | 1,26                        | 40 (2 unidades)                           | 7,00                              | 590* / 5**                    | 5                       | 4,35* / 62,00**                    |
| Agra (2001)                   | Porto Alegre-RS | Lote         | 337,5                           | 0,00%              | 100,00%              | 337,50                | 1,26                        | 40 (2 unidades)                           | 44,00                             | 760* / 5**                    | 5                       | 2,78* / 62,00**                    |
| Agra (2001)                   | Porto Alegre-RS | Lote         | 337,5                           | 0,00%              | 100,00%              | 337,50                | 1,26                        | 40 (2 unidades)                           | 50,00                             | 565* / 5**                    | 5                       | 2,46* / 62,00**                    |
| Agra (2001)                   | Porto Alegre-RS | Lote         | 337,5                           | 0,00%              | 100,00%              | 337,50                | 1,26                        | 40 (2 unidades)                           | 10,00                             | 606* / 5**                    | 5                       | 3,92* / 62,00**                    |
| Agra (2001)                   | Porto Alegre-RS | Lote         | 337,5                           | 0,00%              | 100,00%              | 337,50                | 1,26                        | 50 (1 unidade)                            | 15,00                             | 410* / 5**                    | 5                       | 4,42* / 62,00**                    |
| Agra (2001)                   | Porto Alegre-RS | Lote         | 337,5                           | 0,00%              | 100,00%              | 337,50                | 1,26                        | 50 (1 unidade)                            | 9,00                              | 475* / 5**                    | 5                       | 4,75* / 62,00**                    |
| Agra (2001)                   | Porto Alegre-RS | Lote         | 337,5                           | 0,00%              | 100,00%              | 337,50                | 1,26                        | 50 (1 unidade)                            | 18,00                             | 115* / 5**                    | 5                       | 4,90* / 62,00**                    |
| Cruz, Tucci e Silveira (1998) | Porto Alegre-RS | Lote         | 300                             | 0,00%              | 100,00%              | 300,00                | 1,205                       | Não considerada atuação do orifício       | Obtida vazão pré-urbanização      | 25                            | 2                       | 61,00                              |
| Cruz, Tucci e Silveira (1998) | Porto Alegre-RS | Lote         | 300                             | 0,00%              | 100,00%              | 300,00                | 1,25                        | Não considerada atuação do orifício       | Obtida vazão pré-urbanização      | 25                            | 5                       | 73,00                              |
| Cruz, Tucci e Silveira (1998) | Porto Alegre-RS | Lote         | 300                             | 50,00%             | 50,00%               | 150,00                | 0,735                       | Não considerada atuação do orifício       | Obtida vazão pré-urbanização      | 25                            | 2                       | 61,00                              |
| Cruz, Tucci e Silveira (1998) | Porto Alegre-RS | Lote         | 300                             | 50,00%             | 50,00%               | 150,00                | 0,76                        | Não considerada atuação do orifício       | Obtida vazão pré-urbanização      | 25                            | 5                       | 73,00                              |
| Cruz, Tucci e Silveira (1998) | Porto Alegre-RS | Lote         | 600                             | 0,00%              | 100,00%              | 600,00                | 2,113                       | Não considerada atuação do orifício       | Obtida vazão pré-urbanização      | 25                            | 2                       | 61,00                              |
| Cruz, Tucci e Silveira (1998) | Porto Alegre-RS | Lote         | 600                             | 0,00%              | 100,00%              | 600,00                | 2,204                       | Não considerada atuação do orifício       | Obtida vazão pré-urbanização      | 25                            | 5                       | 73,00                              |
| Cruz, Tucci e Silveira (1998) | Porto Alegre-RS | Lote         | 600                             | 50,00%             | 50,00%               | 300,00                | 1,172                       | Não considerada atuação do orifício       | Obtida vazão pré-urbanização      | 25                            | 2                       | 61,00                              |
| Cruz, Tucci e Silveira (1998) | Porto Alegre-RS | Lote         | 600                             | 50,00%             | 50,00%               | 300,00                | 1,222                       | Não considerada atuação do orifício       | Obtida vazão pré-urbanização      | 25                            | 5                       | 73,00                              |
| Francischet e Filho (2011)    | Uberlândia-MG   | Lote         | 300                             | 20,00%             | 80,00%               | 240,00                | 3,25                        | 50 (3 unidades)                           | 37,24                             | 30                            | 2                       | 83,49                              |
| Francischet e Filho (2011)    | Uberlândia-MG   | Lote         | 300                             | 20,00%             | 80,00%               | 240,00                | 3,25                        | 50 (3 unidades)                           | 17,25                             | 30                            | 5                       | 98,37                              |
| Francischet e Filho (2011)    | Uberlândia-MG   | Lote         | 300                             | 20,00%             | 80,00%               | 240,00                | 3,25                        | 50 (3 unidades)                           | 12,48                             | 30                            | 10                      | 111,36                             |
| Francischet e Filho (2011)    | Uberlândia-MG   | Lote         | 300                             | 20,00%             | 80,00%               | 240,00                | 5,015                       | 50 (2 unidades)                           | 74,02                             | 30                            | 2                       | 83,49                              |
| Francischet e Filho (2011)    | Uberlândia-MG   | Lote         | 300                             | 20,00%             | 80,00%               | 240,00                | 5,015                       | 50 (2 unidades)                           | 70,15                             | 30                            | 5                       | 98,37                              |
| Francischet e Filho (2011)    | Uberlândia-MG   | Lote         | 300                             | 20,00%             | 80,00%               | 240,00                | 5,015                       | 50 (2 unidades)                           | 67,93                             | 30                            | 10                      | 111,36                             |

| <b>Autores</b>                 | <b>Local de estudo</b> | <b>Tipo de área</b> | <b>Dimensão da área de estudo (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área permeável (%)</b> | <b>Área impermeável (%)</b> | <b>Área impermeável (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Diâmetro orifício regulador de vazão (mm)</b> | <b>Redução vazão de pico no lote (%)</b> | <b>Duração da precipitação (min)</b> | <b>Tempo de retorno (anos)</b> | <b>Intensidade da precipitação (mm/h)</b> |
|--------------------------------|------------------------|---------------------|---|---------------------------|-----------------------------|---|---|--|--|--------------------------------------|--------------------------------|---|
| Figueiredo e Nunes (2010)      | Curitiba-PR            | Condomínio          | 5940  | 33,58%                    | 66,42%                      | 3945,60                                 | 72,20   | 85   | Obtida vazão pré-urbanização             | 5                                    | 5                              | 162,60                                    |
| Figueiredo e Nunes (2010)      | Curitiba-PR            | Condomínio          | 5940  | 33,58%                    | 66,42%                      | 3945,60                                 | 74,20   | 75   | Obtida vazão pré-urbanização             | 5                                    | 5                              | 162,60                                    |
| Figueiredo e Nunes (2010)      | Curitiba-PR            | Condomínio          | 5940  | 33,58%                    | 66,42%                      | 3945,60                                 | 76,70   | 60   | Obtida vazão pré-urbanização             | 5                                    | 5                              | 162,60                                    |
| Serathiuk e Martins (2011)     | Curitiba-PR            | Lote                | 450   | 25,00%                    | 75,00%                      | 337,50                                  | 3,79  | 30,79  | Obtida vazão pré-urbanização             | 3,56                                 | 5                              | 171,74                                    |
| Souza (2013)                   | Curitiba-PR            | Lote                | 162   | 40,43%                    | 59,57%                      | 96,50                                   | 1,55  | 25   | 67,60                                    | 10                                   | 5                              | 123,44                                    |
| Silva e Cabral (2014)          | Recife-PE              | Lote                | 530   | 11,30%                    | 88,70%                      | 470,11                                  | 8,00  | 25   | 39,50                                    | 60                                   | 5                              | 50,64                                     |
| Silva e Cabral (2014)          | Recife-PE              | Lote                | 530   | 11,30%                    | 88,70%                      | 470,11                                  | 8,00  | 20   | 43,00                                    | 60                                   | 5                              | 50,64                                     |
| Campos (2007)                  | Bertioga-SP            | Lote                | 360   | 25,00%                    | 75,00%                      | 270,00                                  | 1,50  | Não (trincheira de infiltração)                  | 81,10                                    | 15 eventos                           | -                              | 15 eventos                                |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 28,20   | 48   | 88,89                                    | -                                    | 1                              | -   |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 28,20   | 48   | 93,75                                    | -                                    | 2                              | -   |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 28,20   | 48   | 94,64                                    | -                                    | 5                              | -   |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 10,00   | Não (volume utilizado para reúso)                | 44,44                                    | -                                    | 1                              | -   |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 10,00   | Não (volume utilizado para reúso)                | 21,88                                    | -                                    | 2                              | -   |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 10,00   | Não (volume utilizado para reúso)                | 10,71                                    | -                                    | 5                              | -   |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 10,00   | 30 (metade do volume para reúso)                 | 44,44                                    | -                                    | 1                              | -   |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 10,00   | 30 (metade do volume para reúso)                 | 34,38                                    | -                                    | 2                              | -   |
| Coombes et al. (2003)          | Parramatta, Austrália  | Lote                | 600   | 41,67%                    | 58,33%                      | 350,00                                  | 10,00   | 30 (metade do volume para reúso)                 | 23,21                                    | -                                    | 5                              | -   |
| Palla, Gnecco e Barbera (2017) | Gênova, Itália         | Condomínio          | 5900  | 42,37%                    | 57,63%                      | 3400,00                                 | 28,00   | Não (volume utilizado para reúso)                | 65,00                                    | 242                                  | -                              | 19,00                                     |

\* Valor obtido em experimento prático

\*\* Valor de projeto do reservatório