

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE CONTENÇÃO DE CHEIAS EM EDIFICAÇÕES E O SEU IMPACTO NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Ricardo Cesar Conrado de Souza^{1*} & *Flávio Bentes Freire*² & *Michael Mannich*³

Resumo – Tendo-se em vista os fortes impactos causados por precipitações e a necessidade de um correto manejo das águas pluviais, faz-se necessária a abordagem de medidas para o gerenciamento da drenagem urbana. Pode-se considerar a drenagem brasileira defasada ao compará-la com as modernas soluções adotadas pelos países desenvolvidos. Esta pesquisa apresenta um comparativo dos impactos ambientais para duas diferentes situações de dimensionamento de sistemas de drenagem na cidade de Curitiba-PR. Para a área de estudo adotada são avaliadas a utilização ou não de reservatórios de contenção de cheias nas edificações, confrontando conceitos relacionados à canalização e à reservação. A partir da mensuração da redução de vazão de pico com a utilização de reservatórios, traz como resultado a importância do emprego de medidas de controle na fonte.

Palavras-Chave – Drenagem urbana; Medidas de controle; Reservatórios de contenção de cheias.

ANALYSIS OF THE USE OF TANKS FOR FLOOD CONTAINMENT IN BUILDINGS AND THEIR IMPACT ON URBAN DRAINAGE SYSTEM

Abstract – Strong impacts caused by rainfall require a proper management of stormwaters to manage urban drainage. The drainage in Brazil is not as developed compared to solutions adopted by developed countries. This research presents a comparison of the environmental impacts for two different design scenarios for the drainage systems of the city of Curitiba-PR. Solutions with and without flood containment tanks were analyzed. Flood containment is foreseen in the buildings, confronting concepts related to plumbing and reservation. From the measurement of peak flow reduction with the use of tanks, as a result brings the importance of employing control measures at the source.

Keywords – Urban drainage; Control measures; Tanks for flood containment.

INTRODUÇÃO

As precipitações se mostram como eventos capazes de gerar muitas catástrofes em bacias hidrográficas, principalmente naquelas delimitadas em áreas urbanas, uma vez que o excesso de impermeabilização do solo impede a infiltração natural das águas provenientes das chuvas. Dessa forma, são originados escoamentos superficiais que, em grandes escalas, podem causar prejuízos à população e ao poder público (Tucci, 2009).

As inundações, agravadas pela ocupação desordenada do solo e pela obstrução das redes de drenagem ocasionada por resíduos sólidos descartados de maneira inadequada, são os efeitos mais comuns de chuvas intensas e ocorrem em grande parte das cidades brasileiras. Aliadas aos

¹ Graduando em Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. E-mail: conrado_ricardo@hotmail.com.

² Professor Adjunto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. E-mail: flaviofreire@utfpr.edu.br.

³ Doutorado, Universidade Federal do Paraná – UFPR. E-mail: mannich@ufpr.br.

lançamentos ilegais de esgoto nas redes de drenagem pluvial, as inundações tratam-se ainda de disseminadoras de doenças de veiculação hídrica, tais como a leptospirose. 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. Dessa forma, aumenta-se o risco de erosão do solo e do conseqüente transporte de sedimentos e assoreamento de corpos d'água, que ao terem sua capacidade reduzida por detritos, geram um fator agravante para a ocorrência de inundações (Righetto *et al.*, (2009).

O gerenciamento da drenagem urbana, na maioria dos casos, se mostra defasado ao ainda aplicar o conceito da canalização em detrimento à infiltração e à reservação, uma vez que esse tipo de abordagem aumenta a velocidade do escoamento e pode transferir para jusante os problemas de inundações. O correto manejo das águas pluviais urbanas, ligado a um planejamento da drenagem e às medidas de controle poderia amenizar os problemas oriundos das chuvas (Canholi, 2005).

Dentre as inúmeras medidas de controle existentes, sejam elas estruturais, não estruturais ou não convencionais, os reservatórios de contenção podem contribuir significativamente para o retardamento dos picos de cheias, uma vez que toda a vazão proveniente da captação de águas pluviais que incidem sobre as edificações não é liberada de uma só vez. Ao regular a vazão efluente do reservatório, amortiza-se o seu valor de pico e ameniza-se então o problema do sobrecarregamento das redes de drenagem urbana, reduzindo-se o risco de inundações.

A cidade de Curitiba-PR conta com legislação específica para essa situação, devendo as novas edificações atender ao que impõe o Decreto Municipal nº 176/2007 no que se diz respeito aos volumes de reservação de água de chuva em função das áreas construídas e impermeabilizadas nos lotes. O objetivo do presente trabalho é analisar as vazões finais de contribuição determinadas por precipitações em um sistema de drenagem urbana em uma área específica da cidade de Curitiba-PR, tendo em vista a utilização ou não de reservatórios de contenção de cheias nas edificações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Uma área de construção condominial na cidade de Curitiba-PR foi adotada como objeto desta pesquisa. Com área total de aproximadamente 0,041 km², a qual permite o uso do método racional, será composto por 131 lotes residenciais, ruas, calçadas, bosques e gramados, conforme a Figura 1. A Tabela 1 apresenta a relação das áreas de ocupação projetadas dos condomínios.



Figura 1 – Área de estudo adotada na cidade de Curitiba-PR

Tabela 1 – Divisão da área de estudo e áreas impermeabilizadas

Áreas do Condomínio	Área Total (m ²)	Área Impermeável (m ²)
Lotes Residenciais	20203	11516
Calçadas	2528	2528
Ruas de asfalto	5740	5740
Bosques / Gramados	12566	0
Total do Condomínio	41037	19784

Para a determinação das vazões de contribuição a partir das precipitações será adotado o método racional, o qual se baseia na seguinte expressão:

$$Q = \frac{C.i.A}{3,6} \quad (1)$$

na qual Q é a vazão de cheia em m³/s; C é o coeficiente de escoamento superficial; i é a intensidade da chuva em mm/h; e A é área da bacia hidrográfica em km².

Para cada tipo de superfície presente será adotado um coeficiente de escoamento superficial particular, com o intuito de se obterem vazões de contribuição mais precisas, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Coeficientes de escoamento superficial para a área de estudo

Tipo de superfície	Coeficiente de escoamento superficial (C)
Lotes Residenciais	Percentual da área impermeável
Calçadas	0,85
Ruas de asfalto	0,95
Bosques / Gramados	0,30

Para os lotes residenciais adota-se como coeficiente de escoamento a porcentagem de área impermeabilizada, conforme recomendado por Garotti e Barbassa (2010), que, ao estudarem o uso e a ocupação do solo da cidade de Ribeirão Preto-SP, obtiveram resultados satisfatórios adotando tal critério. Para as áreas de calçadas e ruas de asfalto adotam-se os valores máximos dos intervalos indicados para o coeficiente C, conforme apontado por Tucci (2009). No caso das áreas de gramas e bosques, adota-se o valor esperado de C, também de acordo com Tucci (2009), para solos pesados e com altas declividades, as quais estão presentes de forma acentuada na área de estudo.

Caracterização Hidrológica

Será adotada para a cidade de Curitiba-PR a equação IDF proposta por Fendrich (2003), desenvolvida com dados de 1981 a 1999:

$$i = \frac{5726,64.TR^{0,159}}{(t + 41)^{1,041}} \quad (2)$$

Para a drenagem pluvial será adotado um tempo de retorno de 5 anos, julgado satisfatório para as características da área em questão. Tendo em vista as pequenas dimensões dos lotes residenciais, o tempo de concentração será de 10 minutos, mesmo valor adotado para a duração da precipitação. A intensidade da precipitação será calculada a partir da equação IDF da cidade de Curitiba-PR, para o tempo de retorno e duração citados.

Projeto de Reservatórios de Contenção de Cheias

O projeto do reservatório de contenção de cheias dos lotes residenciais seguirá o proposto pelo Decreto 176/2007 da Prefeitura Municipal de Curitiba-PR. Para tanto, calcula-se o volume de reservação a partir da seguinte fórmula:

$$V = k.i.A \quad (3)$$

na qual V é o volume do reservatório (m³); k é a constante dimensional no valor de 0,20; i é a intensidade da chuva (0,080 m/h) e A (m²) é área impermeabilizada conforme aponta o decreto.

O diâmetro do orifício regulador de vazão deverá obedecer ao apresentado na Tabela 3.

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

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

Fonte: Curitiba (2007)

Propagação de Vazão em Reservatórios

Determinados o volume e o diâmetro do orifício regulador de vazão, será adotada uma primeira estimativa para as dimensões laterais do reservatório. O cálculo das vazões será 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:

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{(I_t + I_{t+1})}{2} - \frac{(Q_t + Q_{t+1})}{2} \quad (4)$$

na qual I_t e I_{t+1} = vazões de entrada no reservatório em t e t+1; Q_t e Q_{t+1} = vazões de saída do reservatório em t e t+1; S_t e S_{t+1} = armazenamento em t e t+1; Δt = intervalo de tempo.

Serão consideradas as variações de volumes internos de água e as respectivas alturas ou lâminas d'água no reservatório a cada décimo de minuto, intervalo de tempo adotado para o estudo. Tendo em vista as pequenas dimensões dos lotes, a vazão de entrada no reservatório será considerada constante ao longo do tempo de duração adotado (10 minutos) e inexistente a partir disso. A vazão de saída será calculada a partir das lâminas d'água em cada intervalo de tempo, conforme fórmula e parâmetros propostos por Canholi (2005):

$$Q = C_d \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (5)$$

na qual Q é a vazão de saída em m^3/s ; C_d é o coeficiente de descarga do orifício (adotado 0,6, valor adimensional para orifícios com cantos vivos); A_0 é a área transversal do orifício em m^2 ; g é a aceleração da gravidade ($9,81m/s^2$); h é a lâmina d'água acima do eixo central do orifício;

A vazão adotada para dimensionamento será a máxima obtida, ocorrendo quando a lâmina d'água estiver em seu nível máximo. Para determinar as dimensões finais do reservatório serão analisadas as reduções de vazão propiciadas em função de sua área interna. Serão adotadas medidas coerentes para execução em obra e que apresentem resultado satisfatório para a redução de vazão.

O reservatório funciona da seguinte maneira: a vazão de entrada faz com que se acumule um volume d'água na 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; caso a câmara principal venha a atingir a altura do septo divisorio (nível máximo) ocorrerá o seu transbordamento e a água será lançada para a câmara secundária por cima do septo.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da equação de chuvas intensas para a cidade de Curitiba-PR, adota-se a intensidade de chuva no valor de 123,44 mm/h para os cálculos das vazões de contribuição das áreas presentes. Os lotes residenciais apresentam 9 valores distintos para as suas áreas impermeabilizadas. Portanto, tem-se essa mesma quantidade de valores para as suas vazões de contribuição e para os volumes necessários aos reservatórios. Simulações permitem afirmar que reservatórios com amplas áreas de base propiciam grandes reduções de vazão pelo fato de gerarem lâminas d'água baixas e com pouca carga hidráulica. Porém, se tornam mais onerosos e requerem um maior espaço disponível para a sua construção. A Tabela 4 indica todos esses valores citados.

Tabela 4 – Redução da vazão com a utilização de reservatórios de contenção de cheias

Vazão de contribuição do lote (m^3/h)	Volume do reservatório (m^3)	Pico da vazão de saída do reservatório (m^3/h)	Redução da vazão de pico (%)	Lâmina d'água útil (m)
9,73	1,26	3,43	64,73	0,55
9,94	1,29	3,48	65,05	0,56
10,38	1,34	3,56	65,67	0,59
10,51	1,36	3,59	65,86	0,60
10,70	1,39	3,63	66,11	0,61
10,87	1,41	3,66	66,34	0,62
11,46	1,48	3,77	67,08	0,66
11,80	1,53	3,84	67,50	0,68
11,91	1,54	3,86	67,62	0,69

Padronizaram-se para os reservatórios o orifício regulador de vazão no diâmetro de 25mm, o volume em $1,55m^3$, dimensões laterais iguais a 1,50m e lâmina d'água no valor de 0,69m. Para os lotes com vazão de contribuição igual à $9,73 m^3/h$, as vazões de saída dos reservatórios e as respectivas alturas de lâmina d'água ao longo do tempo são demonstradas pelas Figuras 2 e 3.

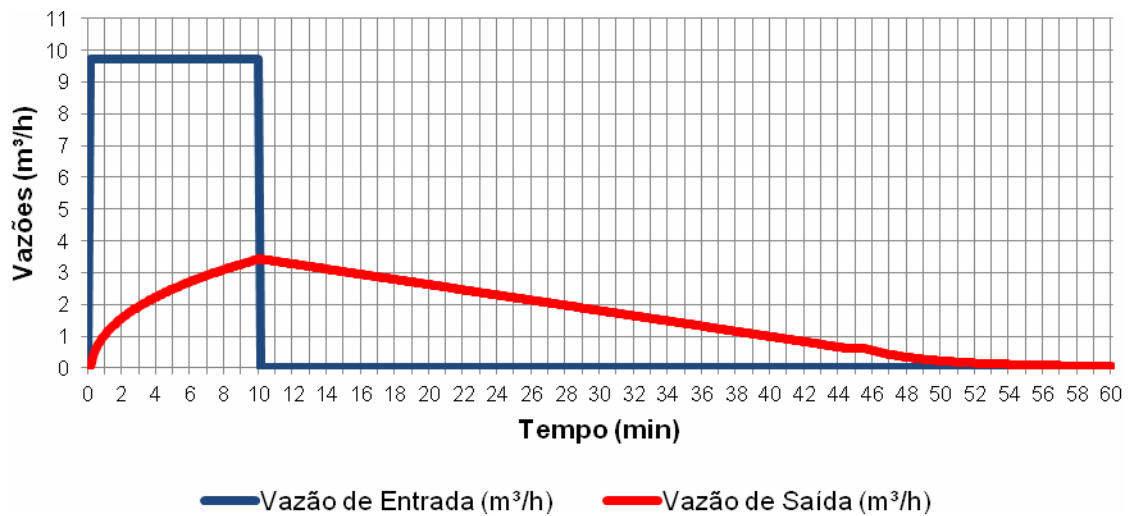


Figura 2 – Vazões no reservatório de contenção de cheias

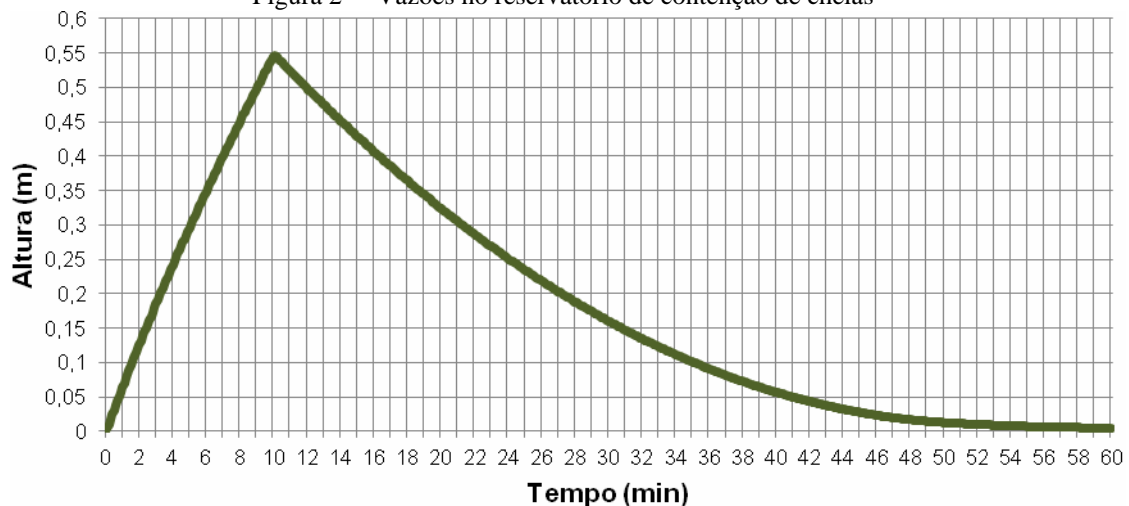
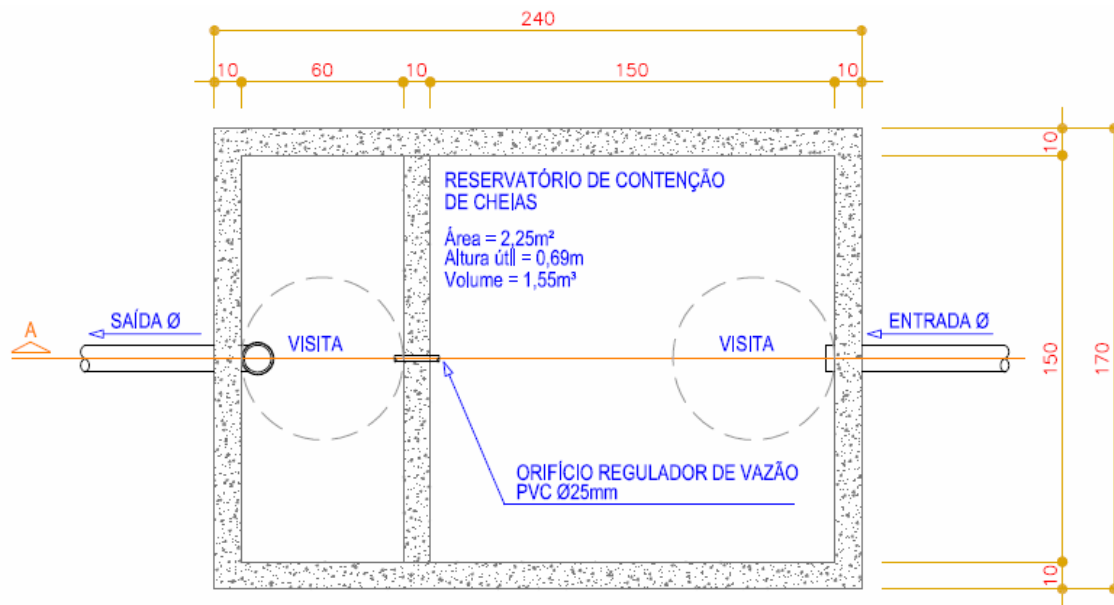


Figura 3 – Lâminas d'água no reservatório de contenção de cheias

O reservatório foi dimensionado com parâmetros que não permitem o transbordamento de sua câmara principal, uma vez que a altura do septo é o máximo valor atingível da lâmina d'água gerada pela maior vazão de contribuição de entrada. Porém, caso ocorram situações adversas, não previstas no dimensionamento hidráulico, o reservatório não segurará as vazões excedentes. O projeto é demonstrado pelas Figuras 4 e 5.

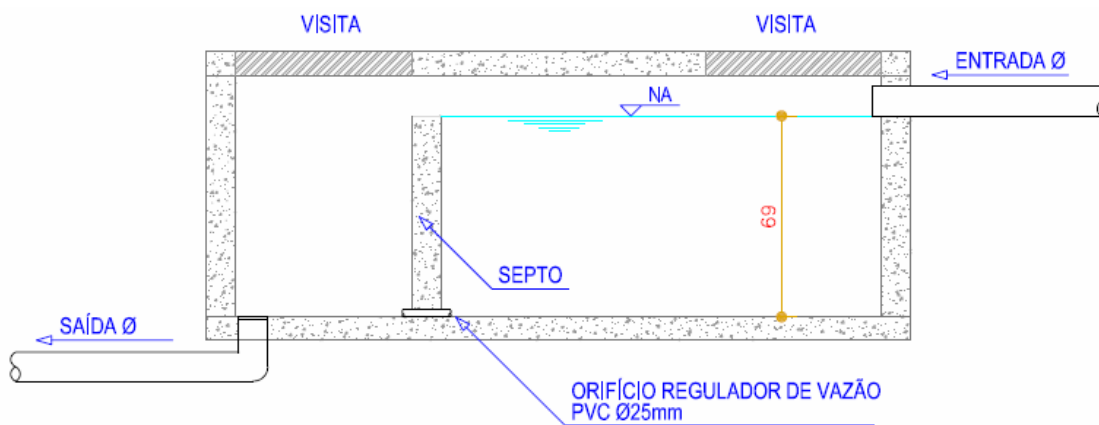
Ao se comparar apenas as vazões geradas nos lotes residenciais, com o uso de reservatórios de contenção de cheias ocorre uma redução de 66,33% da vazão total, a qual cai de 1421,57 m³/h para 478,69 m³/h. Para o total da área de estudo, a utilização de reservatórios de contenção de cheias propicia uma redução de 2825,26 m³/h para 1882,38 m³/h, ou seja, 33,37%, redução essa menor pelo fato de que as vazões de calçadas, ruas de asfalto, bosques e gramados permanecem inalteradas para ambos os casos apresentados. Esses valores constam na Tabela 5.

Figueiredo e Nunes (2010), considerando um condomínio hipotético, obtiveram volumes para o reservatório, inferiores ao preconizados pelo decreto 176/2007 (CURITIBA, 2007), considerando o volume necessário para redução da vazão de pico igual à vazão máxima na condição de pré-urbanização. Serathiuk e Martins (2011), de forma similar, compararam os volumes de reservatórios requeridos considerando unidades individuais em cada lote e uma unidade para todo o condomínio.



PLANTA

Figura 4 – Planta do reservatório de contenção de cheias



CORTE AA

Figura 5 – Corte do reservatório de contenção de cheias

Tabela 5 – Vazões totais com e sem a utilização de reservatórios de contenção de cheias

Áreas do Condomínio	Porcentagem Impermeável (%)	Coefficiente C	Vazão total sem reservatórios de contenção (m³/h)	Vazão total com reservatórios de contenção (m³/h)
Lotes Residenciais	57,0	0,57	1421,57	478,69
Calçadas	100,0	0,85	265,24	265,24
Ruas de asfalto	100,0	0,95	673,10	673,10
Bosques / Gramados	0,0	0,30	465,35	465,35
Total	48,21		2825,26	1882,38

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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

Para a área em estudo, a redução da vazão de contribuição dos lotes residenciais foi de aproximadamente 66%. Ao se considerar toda a área de estudo, a redução da vazão de pico foi de 33%, valor menor pelo fato de serem constantes, no caso de uso ou não de reservatórios, as vazões de ruas, calçadas, bosques e gramados. Logo, a utilização desses mecanismos pode contribuir de maneira enérgica para a redução da vazão de pico.

Confirma-se então a importância do respeito ao que prevê o Decreto 176/2007 da Prefeitura Municipal de Curitiba-PR para amenizar os impactos das precipitações em redes de drenagem, reduzindo assim os investimentos do poder público nessa área.

REFERÊNCIAS

CANHOLI, A. P. (2005). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. Oficina de Textos, São Paulo-SP.

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-PR, 2007. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/multimidia/00121212.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2012.

FENDRICH, R. (2003). *Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná*. 2. ed. Vicentina, Curitiba-PR.

FIGUEIREDO, M. van der B. C.; NUNES, P. L. (2010) *Dimensionamento de Reservatórios de Detenção para Condomínios Horizontais para Controle de Cheias*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Positivo. Curitiba-PR.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. (2010). Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro-RJ, v. 15, n. 1, pp. 19-28. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n1/v15n1a03.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2012.

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

SERATHIUK, E. G.; MARTINS, J. F. (2011) *Uso de Reservatórios de Detenção em Lotes de Condomínio para Atenuação de Cheias*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Positivo. Curitiba-PR.

TUCCI, C. E. M. (2009). *Hidrologia: Ciência e aplicação*. 4. ed. ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre-RS. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Positivo. Curitiba-PR.