

## VOLUMES DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO: INFLUÊNCIA DO USO DE DIFERENTES METODOLOGIAS

*Olímpio Rafael Cardoso<sup>1\*</sup>; Rutinéia Tassi<sup>2</sup> e Daniel Gustavo Allasia Piccilli<sup>3</sup>*

**Resumo** – O correto dimensionamento dos reservatórios de detenção é determinante para que os excessos de vazão decorrentes do desenvolvimento urbano sejam regularizados, e os impactos ambientais sejam minimizados. Este tipo de estrutura vem sendo empregado em várias cidades brasileiras, sendo um item obrigatório em muitos empreendimentos. No entanto, é possível verificar que existe uma ampla variedade de metodologias de dimensionamento, desde simplificadas até mais elaboradas. Neste artigo, são apresentados os resultados de um estudo conduzido no sentido de avaliar as diferenças nos volumes de armazenamento que seriam obtidas com a aplicação de três metodologias: geração de hidrogramas a partir do hidrogramas unitário do SCS, método racional modificado e metodologia generalizada. As metodologias foram aplicadas em 26 sub-bacias urbanas da cidade de Porto Alegre/RS, e os resultados mostraram que existe uma grande diferença entre os valores que seriam obtidos com as metodologias empregadas, sendo mais significativos para maiores taxas de impermeabilidade do solo e eventos chuvosos menos frequentes.

**Palavras-chave** - controle pluvial na fonte, reservatórios de detenção, metodologia.

## VOLUMES OF DETENTION RESERVOIRS: THE INFLUENCE OF USE FROM DIFFERENT METHODOLOGIES

**Abstract** - The correct sizing of detention reservoirs is crucial to excess flow resulting from urban development to be regularized, and environmental impacts are minimized. This sort of structure has been used in several Brazilian cities, being a required item in many endeavors. However, is possible verify the existence a wide variety of design methodologies, among simplified even more elaborate. This paper presents the results of a study conducted to assess the differences in storage volumes that would be obtained with the application of three methods: generating hydrograph from the SCS unit hydrograph, rational method modified and generalized methodology. The methodologies were applied to 26 sub-basins of the urban city of Porto Alegre/RS, and the results showed a large difference between the values that would be obtained with the methodologies employed, being more significant for higher rates of soil impermeability and less frequent rainfall events.

**Keywords** - rain control at source, detention reservoirs, methodology.

<sup>1</sup>Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria – Avenida Roraima, 1000. Camobi. Santa Maria – RS – rafael.bioufrgs@gmail.com;

<sup>2</sup>Professora Adjunta – Dept. Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria – RS – rutineia@gmail.com;

<sup>3</sup>Professor Adjunto – Dept. Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria – RS – dga@ufsm.br;

\*Autor Correspondente.

## INTRODUÇÃO

A exemplo de diversos países desenvolvidos, algumas cidades brasileiras possuem planos específicos para a gestão das águas pluviais urbanas, por meio da aplicação de medidas de controle de caráter estrutural.

Entre os princípios aplicados para a gestão das águas pluviais nos centros urbanos, propõe-se a recuperação da capacidade de infiltração da água no solo, e/ou a retenção/detenção do escoamento superficial através de reservatórios ou outras tecnologias adequadas conhecidas como técnicas compensatórias (IPH, 2005). Para o dimensionamento das técnicas compensatórias, aplica-se o conceito de impacto zero, no qual se considera que todo novo empreendimento deve manter as condições naturais pré-existentes de vazão de uma bacia, portanto, a estrutura dimensionada deve ter a capacidade de reduzir as vazões geradas após a implementação do empreendimento a um valor inferior ou igual ao pré-existente, sendo que para isso normalmente existe um volume que deve ser armazenado.

Especificamente para a estimativa dos volumes de dimensionamento dos reservatórios, verifica-se que existem diversas metodologias simplificadas, servindo como exemplos: o método de regressão proposto por Wycoff & Singh (1976), o método da regressão de Pagan (VDOT, 2001), o método racional modificado (Chow *et al.*, 1988; VDOT, 2001), método de hidrograma triangular simplificado (GDOE, 2001), o método generalizado de cálculo proposto por Silveira e Godenfum (2007), entre outros. Além dos métodos simplificados, procedimentos mais elaborados, incluindo a geração de hidrogramas para diferentes condições de urbanização são igualmente empregados, com destaque para o método do Hidrograma Unitário do Soil Conservation Service (NRCS, 1972).

A diversidade de metodologias propostas para o dimensionamento dificulta o trabalho do corpo técnico de uma Prefeitura, responsável por analisar e dar pareceres sobre projetos, e remete às incertezas associadas aos diferentes resultados possíveis, especialmente quando não existe uma orientação sobre qual método deve ser utilizado.

Assim, esse trabalho objetivou avaliar as diferenças de volumes dos reservatórios de armazenamento, para três diferentes metodologias de cálculo aplicadas a áreas urbanas da cidade de Porto Alegre. Para isso, foi considerado o método do hidrograma unitário do SCS, e as metodologias simplificadas do método racional modificado e a metodologia generalizada (Silveira e Goldenfum, 2007).

## METODOLOGIA

A seguir são apresentadas as três metodologias empregadas para a estimativa dos volumes de armazenamento. As metodologias foram aplicadas na bacia do Arroio Areia, localizada na cidade de Porto Alegre/RS, com área de aproximadamente 20,85 Km<sup>2</sup>, totalmente urbanizada. A bacia possui 26 sub-bacias, com áreas inferiores a 100 ha, com tempos de concentração que variam de 6-15 minutos para a situação de pré-desenvolvimento, e de 3-9 minutos para a condição de pós-ocupação (IPH, 2005). A Tabela 1 apresenta algumas características das sub-bacias.

Tabela 1 - Características das sub-bacias do Arroio Areia (Fonte: IPH, 2005)

Sub-bacia	Dens. **Hab (hab/ha)	Área (km <sup>2</sup> )	Área** Imp. (%)	CN*	Tc pré-desenv. (min)	Tc pós- desenv.(min)
A1	46,00	0,338	29,24	81	6,5	4,16
A2	72,47	0,969	40,80	84	10,9	5,81
A3	51,62	0,507	32,17	82	6,5	3,95
A4	39,19	0,300	25,17	80	6,8	4,68
A5	21,57	0,255	10,00	76	7,4	6,54
B1	41,30	0,933	26,51	80	14,8	9,71
B2	66,63	0,273	38,66	84	6,3	3,36
B3	93,40	0,154	47,24	86	7,9	3,44
C1	21,57	0,179	10,00	76	8,4	7,42
C2	35,00	1,395	38,03	84	12,7	6,96
D1	104,46	0,666	50,09	87	9,6	5,69
D2	105,17	0,281	50,26	87	12,1	5,27
D3	102,81	0,198	49,68	87	6,2	2,70
D4	92,48	0,311	46,99	86	11,8	5,30
D5	87,01	0,233	45,44	86	12,4	5,90
D6	95,44	0,131	47,79	86	6,5	2,83
D7	104,33	0,278	50,06	87	11,7	5,10
E3	90,22	0,402	46,36	86	7,9	3,65
F	84,69	0,377	44,76	86	9,5	4,52
G1	88,26	0,445	45,81	86	6,3	2,91
G2	85,25	0,270	44,93	86	7,5	3,57
G3	89,22	0,027	46,08	86	5,7	2,64
H	89,78	0,627	46,24	86	11,6	5,36
I1	60,60	0,592	36,25	83	9,5	5,34
I2	60,60	0,143	36,25	83	6,2	3,49

\*O CN de pré-desenvolvimento foi estimado em 70, de acordo com as características pristinas da bacia hidrográfica

\*\*para a situação de pós-desenvolvimento

### **Determinação do volume em função dos hidrogramas de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento utilizando o hidrogramas unitário do SCS, com o método da Curva Número (NRCS, 1972):**

Para a determinação dos hidrogramas para a condição de pré-desenvolvimento e de pós-desenvolvimento foi utilizada a chuva de projeto, determinada a partir da IDF do posto do Aeroporto de Porto Alegre:

$$i = \frac{826,8T^{0,143}}{(t+13,3)^{0,79}} \quad (1)$$

sendo:  $i$  a intensidade do evento chuvoso em mm/h;  $T$  o período de retorno da chuva em anos; e  $t$  a duração da chuva em minutos.

A duração total da precipitação foi estimada de forma que superasse o tempo de concentração total da bacia, que é de 120 minutos. As precipitações foram discretizadas em intervalos de tempo de 3 minutos, inferior ao menor tempo de concentração observado dentre as sub-bacias. Estas informações foram utilizadas para a geração dos hidrogramas de pré-desenvolvimento e de pós-desenvolvimento das sub-bacias, para chuvas com quatro períodos de retorno: 2, 5, 10 e 50 anos.

Para os hidrogramas obtidos para a situação de pré-desenvolvimento, foram identificadas as vazões máximas de saída em cada sub-bacia. Assim, foi determinado o volume necessário para armazenamento, em função do hidrograma de pós-desenvolvimento e da vazão máxima de pré-desenvolvimento, para cada período de retorno.

#### **Determinação do volume utilizando o Método Racional Modificado (Chow *et al.*, 1988):**

Nesse método, a determinação do volume de armazenamento é feita a partir da modificação da equação do método racional, conforme a equação 2.

$$V = Td \cdot Q - Qn \cdot Td - Qn \cdot tc_{pós} + \frac{tc_{pre} \cdot Qn \cdot tc_{pós}}{2} + \frac{Qn \cdot tc_{pós}}{2 \cdot Q} \quad (2)$$

sendo:  $V$  o volume de armazenamento em m<sup>3</sup>;  $Qn$  a vazão de pré-desenvolvimento em m<sup>3</sup>/s;  $Q$  a vazão de pós-desenvolvimento em m<sup>3</sup>/s;  $Td$  a duração crítica da chuva em segundos;  $tc_{pós}$  e  $tc_{pre}$  o tempo de concentração de pós-desenvolvimento e de pré-desenvolvimento, respectivamente.

As vazões são determinadas a partir da equação do método racional ( $Q=0,278 \cdot C.I.A$ ). Para determinar um coeficiente de escoamento das áreas permeáveis ( $Cp$ ) compatível com o CN utilizado no SCS para a condição de pré-desenvolvimento, foi utilizada a equação 4 (Tucci, 2000).

$$Cp = \frac{(P-0,2 \cdot S)^2}{P+0,8 \cdot S} \cdot \frac{1}{P} \quad (3)$$

sendo que  $S$  se relaciona com o CN através da equação 4 e representa a máxima capacidade de armazenamento de água no solo;  $P$  representa a precipitação em mm.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

Para a IDF utilizada resultaram os valores de  $Cp$  apresentados na Tabela 2, onde também é possível encontrar o valor da vazão específica da condição de pré-desenvolvimento para os diferentes períodos de recorrência do evento chuvoso. A duração da chuva foi de 120 minutos para que os resultados pudessem ser comparados com a aplicação da metodologia previamente apresentada.

Tabela 2 – Determinação da vazão específica em função do tempo de retorno

TR (anos)	I (mm/h)	Cp	qn (l/s.ha)
2	19,14	0,057	3,02
5	21,81	0,084	5,02
10	24,09	0,107	7,16
50	30,32	0,169	14,22

Para a estimativa do valor de coeficiente de escoamento na situação de pós-desenvolvimento ( $C_i$ ), foi realizada a ponderação do valor de coeficiente de escoamento para as áreas permeáveis (AP) e impermeáveis (AI). Para as áreas permeáveis foi adotado um coeficiente de permeabilidade de 0,20, resultando então para as áreas impermeáveis 0,80.

Para determinar o volume de armazenamento, é necessário determinar a duração crítica da chuva ( $T_d$ ), a partir da derivada da equação 2 em função de  $t$  e igualar a mesma a zero (Chow *et al.*, 1988), o que resulta em (5).

$$T_d = \left( \frac{b \cdot C_i \cdot A \cdot f}{Q_n^2 \cdot t_{c_{pós}}}{Q_n \cdot \frac{2 \cdot C_i \cdot A \cdot f}{2 \cdot C_i \cdot A \cdot f}} \right)^{0.5} - b \quad (5)$$

sendo:  $b$  parâmetro da IDF de Talbot;  $C_i$  o coeficiente de escoamento da situação de pós-desenvolvimento;  $A$  a área da bacia hidrográfica;  $f$  parâmetro da IDF de Talbot;  $Q_n$  a vazão de pré-desenvolvimento;  $t_{c_{pós}}$  o tempo de concentração de pós-desenvolvimento.

A IDF mencionada na primeira metodologia (equação 1) é convertida para uma IDF do tipo Talbot, resultando em (6), sendo que  $f = a \cdot TR^c$ .

$$i = \frac{a \cdot TR^c}{T_d + b} \quad (6)$$

#### **Determinação do volume utilizando o método generalizado para pré-dimensionamento (Silveira e Goldenfum, 2007):**

Para esta metodologia, a determinação do volume é feita a partir da fórmula generalizada de volume máximo proposta por Silveira e Goldenfum (2007), conforme equação 7.

$$V_{max} = \left( \sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{C_i} T^{\frac{c}{2}} - \sqrt{\frac{b}{60}} \sqrt{Q_n} \right)^2 \quad (7)$$

sendo:  $V_{max}$  o volume máximo de armazenamento em mm;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  parâmetros da equação IDF de Talbot;  $C_i$  é o coeficiente de escoamento da área de contribuição na situação de pós-desenvolvimento;  $T$  o período de retorno em anos; e  $Q_n$  a vazão de pré-desenvolvimento na saída do reservatório em mm/h.

## RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação do método do hidrogramas unitário (SCS) com a estimativa da chuva efetiva a partir da Curva Número (a), com a aplicação do método racional modificado (MRM) (b), e com a aplicação da metodologia generalizada (Gen.) (c), proposta por Silveira e Goldenfum (2007). As figuras mostram os volumes necessários de armazenamento por hectare, para os diferentes períodos de retorno do evento chuvoso em função da área impermeável. Na Figura 1(d) é apresentado um comparativo de resultados.

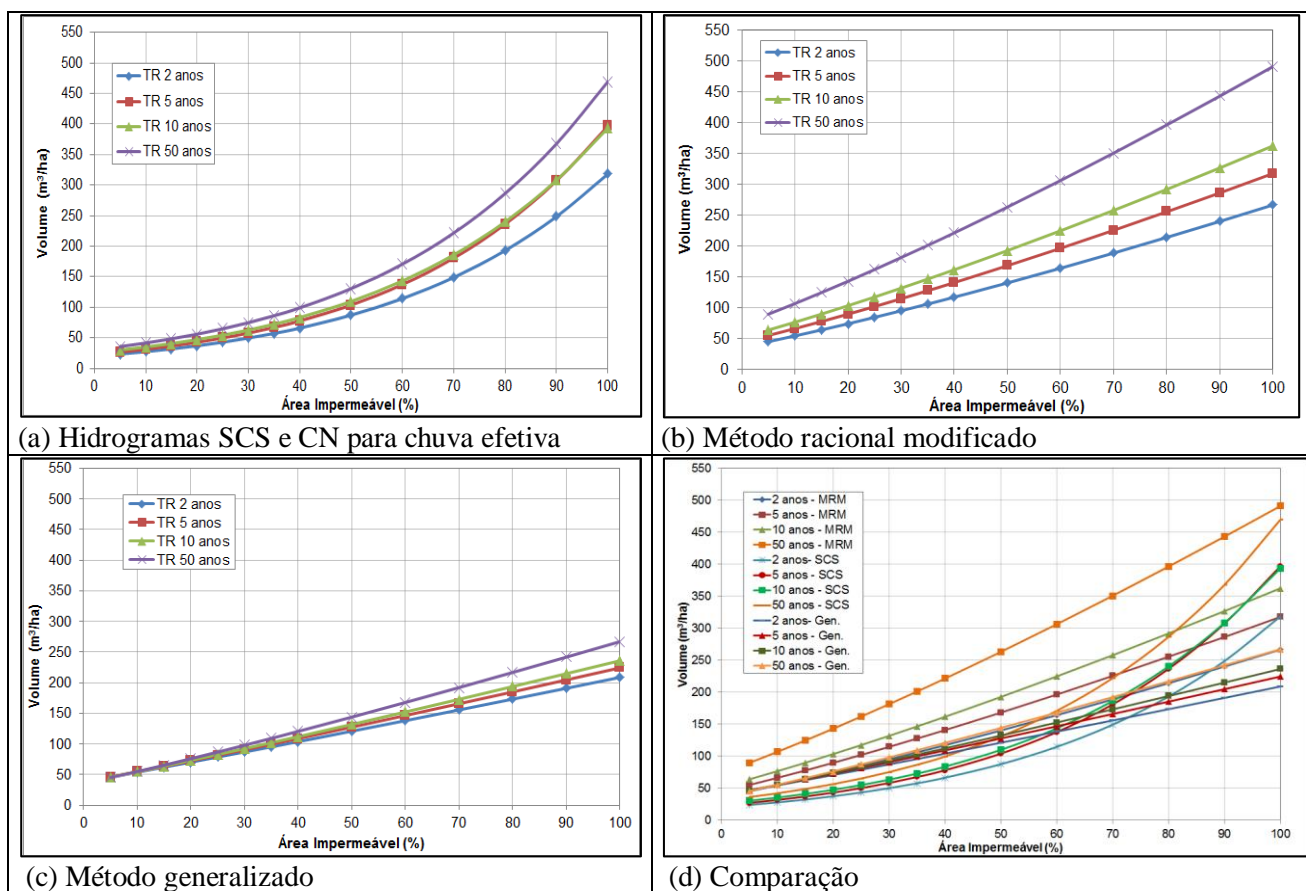


Figura 1 – Curvas área impermeável x volume de armazenamento para diferentes períodos de recorrência

Conforme se verifica, o método racional modificado, em geral, produziu maiores volumes de armazenamento, para todos os períodos de recorrência analisados. O uso do hidrograma unitário gerou menores volumes de armazenamento que o método generalizado para áreas impermeáveis entre 50 e 60-70%. Para impermeabilidades superiores, o hidrograma unitário produziu maiores volumes, superando inclusive os volumes obtidos com o método racional modificado, para áreas impermeáveis superiores a 90% (exceção para o período de recorrência de 50 anos).

Em geral, para períodos de retorno de até 10 anos e áreas impermeáveis inferiores a 50%, os volumes não foram significativamente diferentes entre as metodologias. No entanto, para

impermeabilidades superiores, as diferenças entre volumes aumentaram com o aumento da área impermeável e com o período de recorrência.

A partir das curvas, foram ajustadas equações para o local de estudo, para os 4 períodos de retorno, que permitem a obtenção do volume de armazenamento (m<sup>3</sup>/ha) em função da área impermeável em % (Tabela 3). Para o método do SCS, o coeficiente de determinação R<sup>2</sup> foi superior a 92%. Para o método racional modificado e método generalizado, o R<sup>2</sup> foi de aproximadamente 99%.

Tabela 3 – Equações para a determinação do volume de armazenamento na Bacia do Arroio Areia para diferentes metodologias – AI em %

Metodologia	Período de Retorno (anos)	V (m <sup>3</sup> /ha)
Hidrogramas SCS	2	$V = \exp(-46,37).(0,21.AI+77,17)^{11,36}$
	5	$V = \exp(-48,05).(0,21.AI+77,17)^{11,78}$
	10	$V = \exp(-45,47).(0,21.AI+77,17)^{11,21}$
	50	$V = \exp(-45,40).(0,21.AI+77,17)^{11,24}$
Racional Modificado	2	$V = 0,0043.AI^2 + 1,89. AI + 34,74$
	5	$V = 0,005.AI^2 + 2,25. AI + 42,85$
	10	$V = 0,0056.AI^2 + 2,57. AI + 50,03$
	50	$V = 0,007.AI^2 + 3,47. AI + 70,93$
Generalizado	2	$V = 1,71.AI + 36,29$
	5	$V = 1,88.AI + 25,08$
	10	$V = 2,00.AI + 33,52$
	50	$V = 2,34.AI + 29,39$

## CONCLUSÃO

Neste artigo foram comparados volumes de armazenamento para reservatórios de detenção, a partir da aplicação de duas metodologias simplificadas e uma com a geração de hidrogramas.

A partir dos resultados obtidos, verifica-se uma grande variabilidade entre os volumes que poderiam ser utilizados. O método racional, comparativamente com os outros dois métodos utilizados “superestimou” os volumes, provavelmente devido às limitações do próprio método, desconsiderando a distribuição temporal da vazão.

O método generalizado forneceu valores próximos aqueles obtidos com o emprego do hidrogramas unitário, para áreas impermeáveis de até 60%. Esses dois métodos também resultaram em menor variabilidade de volumes para os diferentes períodos de retorno analisados para uma mesma área impermeável.

Assim, considerando que o processo de geração de hidrogramas forneceria uma melhor orientação para projeto, entre os dois métodos simplificados analisados, o método generalizado seria preferível ao método racional modificado.

Os resultados também permitiram a obtenção de equações específicas para a estimativa dos volumes de armazenamento do local de estudo para as diferentes metodologias. Destaca-se, no entanto, que para o dimensionamento final de reservatórios, é necessário um maior detalhamento de com um estudo hidrológico e hidráulico específico. Assim, as soluções obtidas não devem ser usadas para dimensionamentos definitivos sem um julgamento adequado por parte de um projetista.

## REFERÊNCIAS

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. (1988). Applied hydrology. New York: McGraw-Hill;

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS – IPH/UFRGS (2005). Plano diretor de drenagem urbana. Manual de drenagem urbana de Porto Alegre/RS. Vol. 6. 159p;

NATURAL RESOURCE CONSERVATION SERVICE (NRCS), 1972. National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C

SCS. National Engineer Inghand Book. (1972). Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (SCS);

SILVEIRA, A. L. L. da; GOLDENFUM, J. A. (2007). Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 12. N 2. pp. 157 – 168;

TUCCI, C. E. M. (2000). Coeficientes de escoamento e vazão máxima. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 5. N 2;

VDOT. (2001). Drainage Manual. Virginia. Virginia Department of Transportation (VDOT);

WYCOFF, R.L., SINGH, U.P. (1976). Preliminary hydrologic design of small flood detention reservoirs. Water Resources Bulletin, Vol. 12, N 2, pp.337-349.