

## IX-017 - VOLUME ESPECÍFICO DE RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO COM BASE NA ÁREA IMPERMEÁVEL EM PEQUENA BACIA URBANA

**Rodrigo Moruzzi<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil (UFSCar), Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto III da Univ. Estadual Paulista, UNESP, Campus de Rio Claro, SP.

**Jônatas Guerzoni Filho**

Engenheiro Ambiental pela Univ. Estadual Paulista, UNESP, Campus de Rio Claro, SP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. 24, 1515 – Bela Vista – Rio Claro - SP - CEP: 13506-900 - Brasil - Tel: (19) 3526-9339 - e-mail: [rmoruzzi@rc.unesp.br](mailto:rmoruzzi@rc.unesp.br)

### RESUMO

O reservatório e detenção é uma medida estrutural de atenuação de cheias, inserida em um contexto maior de ações preventivas e corretivas. A análise de locais potenciais para sua implantação é complexa e depende de diversos fatores, dentre eles a disponibilidade de área adequada. A proposta aqui apresentada visou à obtenção preliminar do volume do reservatório de detenção, por meio da determinação do volume específico de reservatório, requerido para pequenas bacias urbanas. Delimita-se, portanto, em apresentar ferramental com vistas a obtenção de forma simples e rápida da área ocupada pelo reservatório de detenção. Para tal, relacionou-se o fator de impermeabilização do solo ao volume específico de armazenamento ( $m^3/ha$ ), através da aplicação conjugada do método Racional com a equação de chuvas regional e a análise de ocupação do solo da bacia. A proposta foi aplicada a um caso para ilustração da sua aplicação. Os resultados permitiram a obtenção de equações, e suas correspondentes soluções gráficas, que relacionam área impermeável com volume específico de reservatório de detenção para diferentes períodos de retorno.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drenagem urbana, enchentes, reservatório de detenção.

### INTRODUÇÃO

O dimensionamento de bacias de detenção para fins de atenuação de cheias urbanas é um procedimento complexo e multifatorial, que demanda estudos específicos e integração de grande volume de informação, mesmo em etapas preliminares. São demandados diversos estudos, que permitem verificar os aspectos físicos, urbanísticos, ambientais e econômicos (Baptista, Nascimento e Barraud, 2005). Por essa razão, é comum que pequenos municípios não tenham recursos financeiros e humanos suficientes para essa avaliação. Assim, é comum para pequenas bacias urbanas o uso métodos simplificados para a determinação do volume de armazenamento dos reservatórios (Tassi, 2005).

A área impermeável da bacia hidrográfica é um parâmetro de fácil determinação e de grande importância na geração de escoamento superficial direto. Ainda, o fator de impermeabilização de uma área pode também ser relacionado à densidade populacional, de acordo com Tucci et al. (2002).

Dessa forma, por meio da aplicação em conjunto de um modelo hidrológico com a equação de chuvas regional e a análise de ocupação do solo da bacia, é possível correlacionar a variável área impermeabilizada com o volume específico necessário para o dimensionamento de uma bacia de detenção que suporte o volume de água excedente na comparação das situações pré e pós-urbanização.

A fim de padronizar, agilizar, e facilitar o trabalho de fiscalização, este trabalho visa apresentar uma alternativa aos gestores de pequenos municípios para estimação do volume do reservatório de detenção em pequenas bacias urbanas com ocupação já consolidada, provendo procedimento rápido e de fácil aplicação que pode inclusive auxiliar na elaboração de políticas públicas de planejamento.

O método descrito deve ser aplicado apenas para pequenas bacias de contribuição localizadas em área urbana, e seu limite está relacionado às hipóteses simplificadoras dos métodos hidrológicos conjugados. Como

exemplo de aplicação do método, foi escolhida a Bacia do Córrego Wenzell, na área urbana do município de Rio Claro, no Estado de São Paulo.

## OBJETIVO

Determinar o volume específico de reservatório de retenção com base na área impermeável da bacia urbanizada e na equação de chuvas intensas.

## METODOLOGIA

O procedimento descrito nesse estudo teve motivação no trabalho de Tassi (2005) e visa conjugar metodologias concebidas de modo a obter uma única equação compacta para obtenção de volume específico de reservatório de retenção a partir da área impermeabilizada de pequenas bacias urbanas.

Para determinação da vazão de deflúvio foi aplicado o método Racional, cuja aplicação se restringe a pequenas bacias ( $< 3 \text{ km}^2$ ), e reúne variáveis que representam os parâmetros de uso e ocupação do solo, histórico de chuvas da região e a dimensão da bacia de contribuição, conforme Equação 1. Evidentemente, as demais hipóteses simplificadoras do método se aplicam às restrições dessa proposta.

$$Q = C \times I \times A \quad (1)$$

Em que:  $Q$  = Vazão, em  $[\text{L}^3].[\text{T}^{-1}]$ ;  $C$  = Coeficiente de escoamento superficial ou *runoff*;  $I$  = Intensidade de chuva, em  $[\text{L}].[\text{T}^{-1}]$ ;  $A$  = Área de contribuição, em  $[\text{L}^2]$ .

O volume necessário de retenção para assegurar as condições hidrológicas naturais da região foi calculado a partir da diferença de escoamento superficial direto em duas situações: a bacia em sua área, topografia e ocupação original, ou seja, pré-urbanizada, e a bacia em sua condição atual, ou pós-urbanizada, com as alterações antrópicas do terreno e cobertura do solo (Equação 2, conforme Tucci, 2000).

$$V_{\text{det}} = (Q(t)_{\text{pós}} - Q(t)_{\text{pré}}) \times t_d \quad (2)$$

Em que:  $V_{\text{det}}$  = volume de retenção, em  $\text{m}^3$ ;  $Q(t)_{\text{pós}}$  = hidrograma de pós-urbanização, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $Q(t)_{\text{pré}}$  = hidrograma de pré-urbanização, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $t_d$  = tempo de duração da chuva crítica, em segundos.

A equação de chuvas intensas de Rio Claro, proposta por Moruzzi e Oliveira (2009), foi utilizada para determinação das intensidades nas durações e recorrências empregadas (Equação 3).

$$I = \frac{560,9 \times T^{0,141}}{(7,4 + d)^{0,65}} \quad (3)$$

Em que:  $I$  = Intensidade da chuva, em  $\text{mm/h}$ ;  $T$  = Período de retorno, em anos;  $d$  = Duração da chuva, em minutos.

A Equação de Kirpich foi empregada para determinação do tempo de concentração da bacia hidrográfica e duração crítica da chuva de projeto em sua condição de pré-ocupação (Equação 4) e a declividade média da bacia hidrográfica estimada por meio da Equação 5.

$$t_c = 57 \times L^{0,77} \times S_R^{-0,385} \quad (4)$$

Em que:  $t_c$  = Tempo de concentração, em minutos;  $L$  = Comprimento do talvegue, em quilômetros;  $S_R$  = Declividade do talvegue, em  $\text{m/km}$ .

$$S_R = \left( \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{0,5}}} \right)^2 \quad (5)$$

Em que:  $L_i$  = Comprimento do trecho, em quilômetros;  $S_i$  = Declividade do trecho, em m/km;  $n$  = Número de trechos com declives diferentes.

As informações de área impermeabilizada e densidade populacional foram relacionadas visando obtenção de equação ajustada. Os dados usados no ajuste foram obtidos a partir de dados estatísticos do município de Rio Claro (SP) referentes ao Censo Populacional realizado no ano de 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e a partir de avaliação geoestatística em conjunto com a informação do uso e ocupação do solo do município do mesmo ano, elaborada por Markezini (2011),

A definição das áreas permeáveis e impermeáveis da bacia foi realizada a partir de visitas em campo na bacia hidrográfica do Wenzell, de imagens orbitais e do mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia elaborado por Markezini (2011). Para a interpretação dos resultados, os diversos usos do solo encontrados na bacia de estudo foram classificados em áreas permeáveis e impermeáveis.

Utilizando-se das equações e procedimentos acima descritos, pode-se reescrever a Equação 1 na sua forma geral conforme Equação 6, que permite determinar o volume de detenção específico do reservatório ( $m^3/ha$ ).

$$V_{esp} = [k_1(C_{pós} \times I) - q_{pré}] \times k_2 t_d \quad (6)$$

Em que:  $V_{esp}$  = Volume específico, em  $[L]^3.[L]^{-2}$ ;  $q_{pós}$  = Vazão específica de pós-desenvolvimento, em  $[L]^3.[T]^{-1}.[L]^{-2}$ ;  $q_{pré}$  = Vazão específica de pré-desenvolvimento, em  $[L]^3.[T]^{-1}.[L]^{-2}$ ;  $t_d$  = Tempo de duração da chuva crítica, em [T];  $k_2$  = Coeficiente de ajuste de unidades de medida.

O coeficiente de *runoff* foi relacionado à área impermeável da bacia hidrográfica, que por sua vez, foi relacionado à densidade populacional para as condições específicas do estudo de caso. A duração crítica ( $t_d$ ) de cada chuva, para diferentes recorrências, foi obtida por meio de método numérico com o objetivo de maximizar o volume específico do reservatório de detenção para cada fração incremental de área impermeável (em incrementos de 5%).

## BREVE DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Rio Claro é servido pelos rios Corumbataí, Cabeça e Passa-Cinco, além do Ribeirão Claro e córregos da Servidão e Wenzell. A bacia do Wenzell é caracterizada por uma topografia de colinas suaves, com pequeno desnível, em virtude de estar localizada sobre a região de interflúvio do Rio Corumbataí e o Ribeirão Claro.

O Córrego Wenzell, objeto do estudo de caso, se situa na área urbana do município de Rio Claro, no interior do Estado de São Paulo. Ele recebeu este nome em razão de sua nascente estar localizada em bairro homônimo, o Jardim Wenzell. Segundo o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 2007, que dispõe sobre o enquadramento dos corpos hídricos do Estado de São Paulo, o Córrego Wenzell está classificado como Classe 4, podendo ser utilizado, segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, para usos menos restritivos em relação à sua qualidade, como a navegação e harmonia paisagística.

Embora o Córrego Wenzell esteja associado a usos menos restritivos e possua um baixo padrão de qualidade de suas águas, ele possui influência na qualidade de vida dos habitantes de Rio Claro e região, pois recebe a contribuição das águas de chuva que precipitam sobre diversos bairros através das galerias pluviais, e deságua no Córrego da Servidão, que cruza grande parte da cidade de Rio Claro, sendo este último um dos afluentes do Rio Corumbataí, que possui grande importância para o município em razão de ser uma das fontes de água para abastecimento público.

Através do processo de urbanização da região, foram realizadas obras de drenagem ao longo do leito do córrego, com a canalização de um trecho de aproximadamente 750 metros, logo após sua nascente, na área da antiga Cerâmica Wenzell.

A bacia hidrográfica do Córrego Wenzell abrange uma área de 287,548 hectares, cobrindo em parte ou totalmente os bairros Jardim Wenzell, Parque Universitário, Vila Santa Cruz, Jardim São Paulo, Cidade Claret e Jardim Mirassol.

A bacia do Wenzell localiza-se na porção central do município de Rio Claro, no Estado de São Paulo, o qual dista 173 km da capital paulista, tendo sua coordenada geográfica central aos 22°21' de latitude a sul da linha do Equador, e aos 47°39' de longitude a oeste do meridiano de *Greenwich*.

Localmente, a bacia do córrego Wenzell encontra-se inserida sobre a região de transição entre as Formações Rio Claro e Corumbataí, sendo a primeira localizada nas porções mais elevadas (montante) da bacia, enquanto a segunda predomina na região do exutório da bacia (jusante).

A Formação Rio Claro é uma unidade sedimentar-estratigráfica, essencialmente composta de arenitos mal selecionados friáveis e inconsolidados, de coloração amarelo-avermelhada, e com granulometria variando de fina a média. Devido à sua composição, a formação possui alta permeabilidade, e sua espessura varia predominantemente entre 25 e 30 metros (Zaine, 1994).

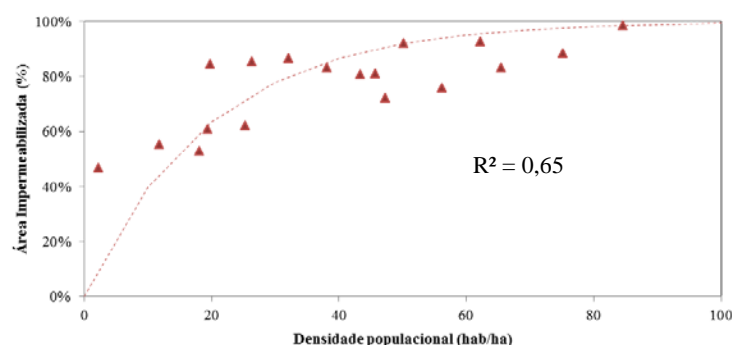
A Formação Corumbataí ocorre sotoposta à Formação Rio Claro e apresenta-se como uma associação de siltitos e argilitos roxos, verdes, castanhos e chocolates com intercalações de arenitos finos. Aparecem verdadeiros ritmitos dados pela alternância das lâminas de siltitos e argilitos (Masson, 1998). São depósitos de origem marinha, siltitos e arenitos muito finos.

A microbacia do Wenzell encontra-se inserida na Unidade Geomorfológica da Depressão Periférica paulista, na Zona do Médio Tietê. Quase toda a sua extensão ocorre no Estado de São Paulo, compreendendo uma extensa faixa rebaixada que se estende entre as Cuestas basálticas e os relevos dobrados dos Planaltos Cristalinos (Almeida, 1964).

A bacia do Córrego Wenzell, a exemplo de tantas outras, foi ocupada de maneira desordenada gerando impactos socioambientais negativos, sendo o principal deles o desconforto e os danos materiais gerados em virtudes das enchentes.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A relação entre área impermeabilizada e densidade populacional foi obtida por meio do ajuste dos dados da Figura 1, resultando na Equação 7. Essa equação permite a estimação da área impermeável por meio do levantamento populacional, sujeita a explicação do ajuste da curva aos pontos experimentais.



**Figura 1. Relação entre área impermeabilizada e densidade populacional da Bacia do Wenzell.**

O ajuste dos dados resultou na Equação 7. Os resultados indicam que os padrões de ocupação e impermeabilização atuais levam a percentual de área impermeável em torno de 80% na bacia para densidades da ordem de 60 hab/ha.

$$A_{imp} = 100 \times (1 - e^{-0,05038 \times D}) \quad (7)$$

O levantamento dos dados de uso e ocupação do solo e seus respectivos coeficientes de *runoff* para o estudo de caso foram compilados e seus resultados foram ponderados para obtenção do coeficiente de *runoff* composto, resultando na Equação 8. Assim, nas condições de uso e ocupação da bacia hidrográfica objeto de estudo, o coeficiente de *runoff* ponderado para área permeável é da ordem de 0,20, enquanto que para área impermeável esse valor sobre para 0,85. Portanto, o valor da ordem de 0,20 é o mínimo esperado para o valor ponderado do coeficiente de *runoff*.

$$C = 0,0066 \times A_{imp} + 0,1917 \quad (8)$$

O tempo de concentração da bacia em sua condição pré-ocupação foi determinado conforme procedimento metodológico descrito, resultando em 43 minutos. Assim, a vazão específica pré-desenvolvimento ( $q_{pré}$ ) e sua relação com o período de retorno ( $T_R$ ) para a área de estudo foi determinada e resultou na Equação 9.

$$q_{pré} = 23,133 \times T_R^{0,141} \quad (9)$$

Finalmente, a Equação 6 pode ser apresentada na sua forma explícita conforme Equação 10, considerando os atributos específicos do estudo de caso.

$$V_{esp} = \left[ \frac{10}{3,6} \left( (0,0066 \times A_{imp} + 0,1917) \times \frac{560,9 \times T_R^{0,141}}{(7,4 + t_d)^{0,65}} \right) - 23,133 \times T_R^{0,141} \right] \times k_2 t_d \quad (10)$$

Em que:  $V_{esp}$  = Volume específico, em m<sup>3</sup>/ha;  $C_{pós}$  = Porcentagem de área impermeabilizada, em %;  $I$  = Intensidade de chuva, em mm/h;  $q_{pré}$  = Vazão específica de pré-desenvolvimento, em m<sup>3</sup>/s.ha;  $t_d$  = Tempo de duração da chuva crítica, em minutos;  $k_1$  e  $k_2$  = Coeficiente de ajuste de unidades de medida.

A partir da Equação 10, foram determinadas as durações que resultam em volume específico crítico. A duração da chuva crítica para cada período de retorno e percentual impermeável (em incrementos de 5%) foi obtida pela maximização de  $V_{esp}$  da Equação 10. Dessa forma, foi ajustado o polinômio de segundo grau com excelente explicação da variável dependente ( $R^2=1$ ), conforme Equação 11.

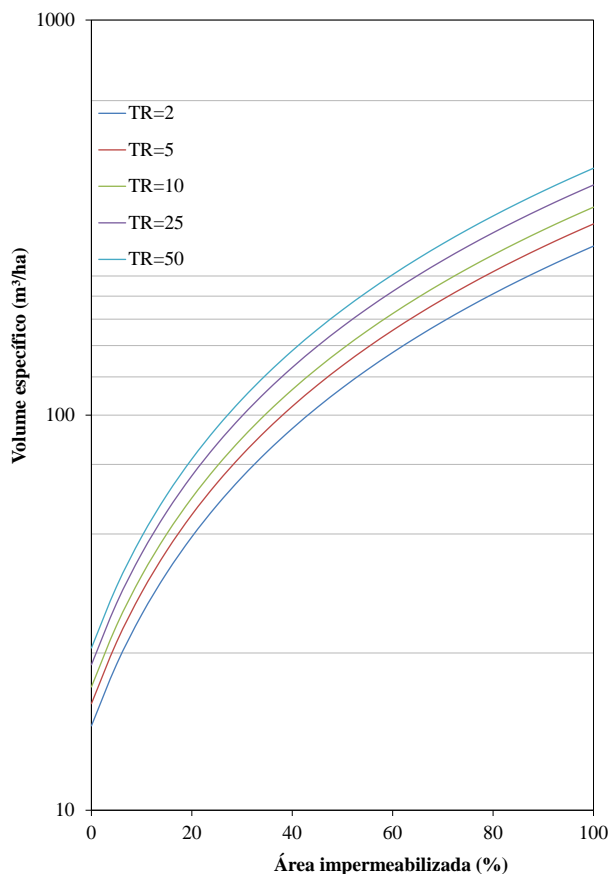
$$t_d = 0,0026 \times A_{imp}^2 + 0,7187 \times A_{imp} + 14,242 \quad (11)$$

Aplicando a Equação 11 em 10 pode-se construir a expressão final, proposta nesse trabalho, que relaciona o volume específico do reservatório ( $V_{esp}$ ) com a variável de interesse para diferentes períodos de retorno, correspondente a área impermeável ( $A_{imp}$ ) da bacia urbana de pequeno porte do Wenzell, conforme Tabela 1.

**Tabela 1. Equações que determinam o volume específico de armazenamento para cada período de retorno.**

Período de retorno	Equação ajustada	R <sup>2</sup>
2	$V_{esp} = 0,0099 \cdot A_{imp}^2 + 1,55 \cdot A_{imp} + 14,94$	0,99
5	$V_{esp} = 0,0112 \cdot A_{imp}^2 + 1,76 \cdot A_{imp} + 17,00$	0,99
10	$V_{esp} = 0,0124 \cdot A_{imp}^2 + 1,95 \cdot A_{imp} + 18,75$	0,99
25	$V_{esp} = 0,0141 \cdot A_{imp}^2 + 2,21 \cdot A_{imp} + 21,33$	0,99
50	$V_{esp} = 0,0156 \cdot A_{imp}^2 + 2,44 \cdot A_{imp} + 23,52$	0,99

Na Figura 2 apresenta-se o resultado final dessa proposta, que versa a obtenção do volume específico por meio da área impermeável da bacia hidrográfica urbanizada de pequeno porte para diferentes períodos de retorno, restritas as especificidades da bacia do estudo de caso em questão. No entanto, a metodologia pode ser estendida a outras aplicações, de modo a facilitar a avaliação da disponibilidade de espaço para implantação de reservatório de detenção, um dos requisitos necessários a sua implantação.



**Figura 2. Curvas de volume de armazenamento específico em função da área impermeável.**

Deseja-se também que esse ferramental seja aplicado nas fases de planejamento da ocupação e impermeabilização dos espaços em pequenas bacias urbanizadas, permitindo ao gestor avaliar os impactos gerados pela ocupação na implantação de medidas corretivas hipotéticas.

Para a situação atual da bacia urbano objeto de estudo, com 82% de área impermeável, e considerando um tempo de retorno de 50 anos, o volume específico é de 328,49 m³/ha.

Dessa maneira, considerando a área da Bacia do Wenzell, de 287,5 hectares, o volume de armazenamento necessário para a bacia de detenção será de aproximadamente 94.560 m³, considerando profundidade de 2,5 metros, a área necessária para sua implantação deverá ser de 37.825 m², ou 3,78 hectares (aproximadamente 1,3% da área da bacia hidrográfica).

## CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesse trabalho permitiram a obtenção do volume específico preliminar do reservatório de detenção com base na área impermeável da bacia hidrográfica do córrego Wenzell. A metodologia empregada permitiu a obtenção de equações simples, ou da sua solução gráfica correspondente, e

pode ser estendida para outras bacias de pequeno porte, visando avaliação preliminar do volume de reservatório requerido e sua área potencial de implantação, sendo essa última um dos critérios de análise dos locais potenciais de implantação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, 2ª edição, 318 p, 2011.
2. TASSI, R. Comparação de duas metodologias para determinação do volume de retenção em pequenas bacias urbanas: o caso de Porto Alegre/RS Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DEL AGUA E III SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DEL CONO SUR, 8p, 2005.
3. TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia, Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Ed. Universidade - UFRGS-ABRH, 939 p, 2002.
4. MORUZZI R. B., OLIVEIRA, S. C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 13, p. 59-68, 2009.
5. ZAINÉ, J. E. Geologia da formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP). 1994. 98 p. Dissertação (Mestrado em geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.
6. MASSON, M. R. Rochas da Formação Corumbataí como matéria-prima para indústria cerâmica de revestimentos: sua influência na qualidade dos produtos. 1998. 143 p. Dissertação (Mestrado em geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.
7. MARQUEZINI, L. C. Geotecnologias para a análise da bacia hidrográfica do Córrego Wenzell – Rio Claro/SP: Proposta de gestão de recursos hídricos. 2011. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.