

**UTILIZAÇÃO DE MICRO-RESERVATÓRIOS DE
DETENÇÃO PARA ATENUAÇÃO DE INUNDAÇÕES EM
BACIAS URBANAS**

**USE OF DETENTION MICRO-RESERVOIRS
FOR THE ATTENUATION OF FLOODS IN URBAN BASINS**

ALCEU GOMES DE ANDRADE FILHO¹
MARCOS ROGÉRIO SZÉLIGA¹
JOÃO RICARDO SAMPAIO SZESZ²

1 Professor do Departamento de Engenharia Civil da UEPG

2 Acadêmico do programa de Iniciação Científica do CNPq, do curso de Engenharia Civil da UEPG

RESUMO

A principal causa das enchentes nas cidades brasileiras deve-se à ocupação desordenada do espaço urbano que impermeabiliza o solo e devido à concepção de sistemas de drenagem urbana que transferem o problema para jusante sem qualquer preocupação com retenção de volumes escoados. Para que esse problema seja controlado e que o escoamento não seja simplesmente transportado para jusante, o controle em nível de microdrenagem apresenta-se como alternativa, podendo ser realizado no lote urbano ou no loteamento completo. Tendo em vista este panorama, é sugerido o uso de estruturas simples, de fácil confecção e aplicação, que associadas ao sistema de drenagem convencional podem proporcionar redução de vazões e volumes escoados, reduzindo, portanto as cheias urbanas. Para a simulação, foi escolhida a bacia do Arroio de Olarias em Ponta Grossa, com área total de

aproximadamente 2628,30 hectares, com cerca de 34% dessa área urbanizada. Para obter-se uma melhor análise, foi necessário selecionar diversas estruturas de controle aplicadas em lotes. Os estudos dos lotes e dos dispositivos são apresentados de forma seqüencial, que tem início na padronização dos lotes urbanos, já definidos para a Bacia de estudo. O desenvolvimento dos estudos segue com a análise das precipitações, avaliação dos efeitos das alterações implantadas nos lotes hipotéticos sobre o hidrograma de saída da drenagem, dimensionamento e avaliação das estruturas previstas.

Palavras-chave: micro-reservatórios, controle de enchentes, microdrenagem

1. Introdução

O trabalho a seguir teve como objetivo um estudo de simulação para a seleção de soluções de mitigação de enchente, informações sobre sua eficiência e investigação da aplicabilidade dessas soluções no controle das inundações em bacias urbanas, aplicadas em nível de lotes, na microdrenagem, além de examinar o uso de elementos construtivos (micro-reservatórios) no amortecimento das vazões.

Para melhor caracterização do estudo, as simulações foram realizadas na bacia urbana de Olarias, em Ponta Grossa, levantando-se informações sobre os lotes padronizados, sobre os coeficientes de deflúvio e sobre as taxas de ocupação das áreas estudadas, junto a Secretária de Planejamento do município.

No Arroio Olarias, a grande finalidade é a retenção de enchentes, maior problema da região. A área total compreendida pela microbacia é de aproximadamente 2.628,30 hectares, sendo que cerca de 887,75 hectares representam as áreas parceladas para fins urbanos, portanto, 34% está urbanizada.

Quanto à geologia local, na região onde se situa o Arroio Olarias, a Formação Ponta Grossa foi afetada pelos fenômenos de deformação rúptil (falhas e fraturas) e injeção de soleiras e diques de diabásio (GODOY e MELO, 1997).

Observa-se a remoção da mata ciliar, tanto na parte alta quanto na parte baixa da bacia, tendo como efeito direto o aumento da poluição do leito do arroio, por não mais existir o sistema de filtro natural. O desmatamento apresenta efeito de redução da evaporação e evapo-

transpiração, no âmbito do ambiente urbano, agravando ainda os processos erosivos, como consequência do desnudamento do solo.

Na parte alta da bacia observa-se que o processo de ocupação do solo está bastante desenvolvido, produzindo o aumento do escoamento superficial e a redução no tempo de retardamento da bacia, potencializando os efeitos de enchentes a jusante. Os pontos de lançamento de águas pluviais no arroio não contam com dispositivos de dissipação de energia. A sua parte baixa apresenta a existência de muitas cavas ao longo do leito do arroio, tendo sido removida ainda a mata ciliar em grande parte dessa região. As declividades, bem menos acentuadas, são mais suscetíveis às enchentes, já que o escoamento superficial direto ocorre lentamente (ANDRADE F^o e SZÉLIGA, 1999).

De posse dessas informações, foi aplicado um método para estimar a vazão que seria demandada nos lotes (Método Racional), observando as declividades, taxas de ocupação e os coeficientes de deflúvio. Essa investigação foi feita para os lotes no seu estado inicial (natural) e para seu estado final de ocupação, utilizando valores de declividades compatíveis com a legislação urbana local.

Com os principais dados já estabelecidos, iniciou-se a análise dos volumes a serem amortecidos. A utilização de hidrogramas triangulares para cada intervalo de declividade, permitiu uma melhor determinação desses volumes a serem armazenados.

2. Materiais e Métodos

O controle de inundações em bacias urbanizadas envolve um elenco de alternativas estruturais paralelamente aplicadas às ações não estruturais, que vão desde a relocação humana até o próprio convívio com o problema. Para tanto, torna-se fundamental ter o conhecimento das características urbanísticas, hidráulicas, hidrológicas e físicas da área em questão.

As soluções de engenharia da drenagem urbana são tratadas em duas partes:

1. Microdrenagem: áreas onde o escoamento natural não é bem definido e acaba sendo determinado pela ocupação do solo. Inicia-se nos coletores prediais das edificações, prossegue no escoamento das sarjetas e entra nos bueiros e galerias. A partir desse ponto, os estudos voltam-se para a

topografia, declividades e para utilização viária, seja de veículos, ou de outras utilidades públicas.

2. **Macrodrenagem:** intervenções em fundos de vale que coletam águas pluviais de áreas providas de sistemas de microdrenagem ou não. Nesses fundos de vale o escoamento geralmente é bem definido, mesmo que não exista um curso de água perene. É mais interessante para a área total da bacia, seu escoamento natural, sua ocupação, cobertura vegetal, fundos de vale e os cursos d'água urbanos, bem como aspectos sociais envolvidos nas soluções adotadas, lembrando que a simples canalização de um córrego nem sempre é benéfica para a população.

As obras de macrodrenagem buscam evitar enchentes devido à bacia urbana. Com o aumento da implantação de obras de microdrenagem, cujo objetivo principal é esgotar as vazões oriundas das chuvas mais frequentes, aumenta a demanda por interferência na macrodrenagem, devido ao aumento da vazão afluente aos receptores originais com a diminuição do tempo de concentração.

Algumas medidas de controle de inundação aplicadas na macrodrenagem são:

a) Canalização: amplia a capacidade do rio em transportar uma determinada vazão através do aumento da seção, diminuição da rugosidade e aumento da declividade da linha de água. Deve-se verificar a alteração que essas obras podem provocar na energia do rio e estabilidade do leito;

b) Dique de proteção: permite proteção localizada para uma região ribeirinha. Deve-se evitar grandes alturas, pois o risco de rompimento sempre existe e o impacto causado daí é maior do que se o dique não existisse;

c) Reservatórios ou parques urbanos: funcionam como as bacias de detenção, porém com dimensões superiores. Acomodam diferentes ampliações de vazões de cheias dentro da parte da bacia que o parque ou reservatório drena, cria bom espaço ambiental, reduz o material sólido e melhora a qualidade da água;

d) Reservatórios de detenção: consistem em reservatórios de armazenamento de curtos períodos que reduzem as vazões de pico dos hidrogramas das cheias, aumentando seu tempo de base, para que o acréscimo de vazão máxima não seja transferido a jusante. Seu objetivo principal é o de minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica. A sua área de ocupação pode

ser utilizada para fins recreacionais quando secam.

O armazenamento traz como principais benefícios a diminuição dos problemas de inundações localizadas e dos custos de um sistema de galerias de drenagem, melhora a qualidade da água escoada e diminui as vazões máximas de inundação a jusante. As principais dificuldades ficam por conta da escolha de locais adequados para implantação das obras e do custo da aquisição para desapropriação do local.

As medidas tradicionalmente usadas na microdrenagem consistem em drenar a área desenvolvida através de condutores pluviais até um coletor principal ou riacho urbano. Essa solução acarreta a transferência do aumento do escoamento superficial para jusante, com maior velocidade. Dessa forma, acaba provocando inundações nos troncos principais ou na macrodrenagem.

A impermeabilização e a canalização produzem aumento na vazão máxima e no escoamento superficial. Para que esse acréscimo não seja transferido a jusante utiliza-se o amortecimento do volume gerado através de dispositivos como tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos ou enterrados, entre outros. Essas medidas são denominadas de controle a jusante.

As vantagens dos reservatórios podem ser: custos reduzidos, se comparados a um grande número de controles distribuídos, custo menor de operação e manutenção, facilidade de administrar a construção; as desvantagens são: dificuldade de locais adequados, custo de aquisição das áreas, oposição da população a reservatórios maiores.

O critério normalmente utilizado é a vazão máxima da área, com o desenvolvimento urbano, deve ser menor ou igual à vazão máxima das condições preexistentes para um tempo de retorno escolhido.

Alguns dispositivos para controle na microdrenagem são:

a) Canalização: que é o mais comumente utilizado. Representada por todo o sistema de pluviais existentes;

b) Pavimentos permeáveis: é uma alternativa de dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno. Urbonas e Stahre classificam os pavimentos permeáveis em três tipos: pavimento de asfalto poroso, pavimento de concreto poroso e o pavimento de blocos de concreto vazados preenchidos com material granular, como areia ou vegetação rasteira;

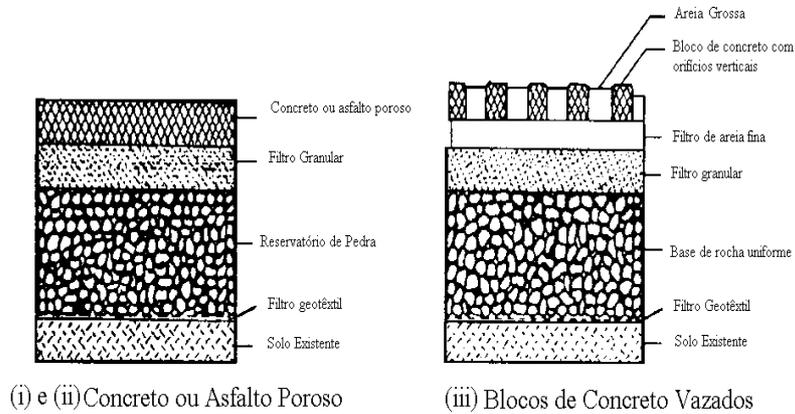


Figura 1 – Pavimento permeável (Urbonas e Stahre, 1993)

c) Trincheiras de infiltração: dispositivos de drenagem do tipo controle na fonte e tem seu princípio de funcionamento no armazenamento da água por tempo suficiente para sua infiltração no solo. Elas funcionam como um reservatório convencional de amortecimento de cheias, tendo um desempenho melhorado devido ao favorecimento da infiltração e conseqüente redução dos volumes escoados e das vazões máximas de enchetes (BALADES et al., 1998).

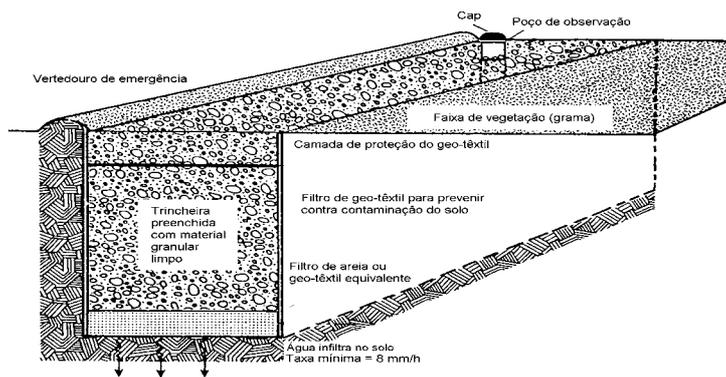


Figura 2 – Trincheira de infiltração (Schueler, 1987)

d) Micro-reservatórios de retenção: dispositivos armazenadores de água precipitada, que permitem o retardo do tempo de concentração, atenuando o pico dos hidrogramas de saída, possibilitando a recuperação da capacidade de amortecimento perdida pela bacia devido à impermeabilização.

Quanto ao método racional, certamente é o mais difundido para a determinação de vazões de pico em pequenas bacias. Sua aceitação deve-se à sua simplicidade e aos resultados que costumam ser satisfatórios desde que suas limitações sejam atendidas.

Não se pode conceituar perfeitamente o que vem a ser uma bacia pequena, pois podem existir inúmeras variáveis. Portanto interessa principalmente defini-la em função de suas características hidrológicas. As propriedades seguintes apresentadas, Porto (in Tucci, et al. 1995) descreve uma bacia pequena em relação às precipitações e a outras características do escoamento que produzem as vazões de pico:

- A chuva pode ser considerada uniformemente distribuída no tempo;
- A chuva pode ser considerada uniformemente distribuída no espaço;
- A duração da chuva, normalmente, excede o tempo de concentração da bacia;
- O escoamento superficial é devido, principalmente, ao escoamento sobre superfícies (“overland flow”);
- O processo de amortecimento nos canais é desprezível.

Em termos práticos, classifica-se como uma bacia pequena, aquelas menores do que 3 km², ou que tenham tempo de concentração menor do que uma hora.

O método racional para estimativa do pico das cheias resume-se, portanto, no emprego da chamada “fórmula racional”:

$$Q = C * i * A$$

Onde;

Q = vazão de pico, em m³/s;

i = intensidade média de precipitação sobre toda a área drenada, considerada constante durante sua duração. Portanto de duração igual ao tempo de concentração, em m/s;

C = coeficiente adimensional, relacionado com a parcela da chuva total que se transforma em chuva excedente e com os efeitos de armazenamento na bacia; caso esses efeitos sejam desprezados, este é cha-

mado de coeficiente de escoamento superficial e exprime a parcela da chuva que se transforma em chuva excedente;

A = área drenada da bacia, em m^2 .

Embora o método racional forneça apenas a vazão de pico, é possível determinar o hidrograma correspondente, desde que se admita forma triangular para o mesmo e que o coeficiente C represente apenas a transformação da chuva total em chuva excedente.

O coeficiente de escoamento superficial é função de uma série de fatores, entre os quais o tipo de solo, a ocupação da bacia, a umidade antecedente, a intensidade da chuva e outros como a possibilidade de realização de planos urbanísticos municipais e da legislação local referente ao zoneamento e ocupação do solo. A adoção, portanto, de um valor constante para o coeficiente é uma hipótese pouco realista e deve ser feita com cautela. Geralmente o coeficiente de escoamento é determinado em função da ocupação do solo, conforme as tabelas 1 e 2.

A intensidade da chuva é função de sua duração, a qual, por hipótese deve ser igual ao tempo de concentração. Este é o tempo gasto pela água para escoar desde o ponto mais afastado da bacia, até o ponto de projeto considerado.

O período de retorno utilizado na microdrenagem varia de dois a dez anos. Para áreas pouco densas e residenciais, utilizam-se dois anos e, para áreas comerciais, onde as perdas podem ser maiores, pode-se escolher até dez anos de acordo com a Tabela 3.

Tabela 1 – Valores do Coeficiente C com base em superfícies (TUCCI, 1995)

Superfície	C	
	Intervalo	Valor esperado
Pavimento		
Asfalto	0,70 – 0,95	0,83
Concreto	0,80 – 0,95	0,88
Calcadas	0,75 – 0,85	0,80
Telhado	0,75 - 0,95	0,85
Cobertura: grama, arenoso		
Plano (2%)	0,05 – 0,10	0,08
Médio (2 a 7%)	0,10 – 0,15	0,13
Alta (7%)	0,15 – 0,20	0,18
Grama, solo pesado		
Plano (2%)	0,13 – 0,17	0,15
Médio (2 a 7%)	0,18 – 0,22	0,20
Declividade alta (7%)	0,25 – 0,35	0,30

Tabela 2 – Valores de C por tipo de ocupação (TUCCI, 1995)

Descrição da área	C
Área comercial	
Central	0,70 – 0,90
Bairros	0,50 – 0,70
Área residencial	
Residências isoladas	0,35 – 0,50
Unidades múltiplas (separadas)	0,40 – 0,60
Unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 – 0,65
Lotes com > 2.000 m ²	0,30 – 0,45
Áreas com apartamentos	0,50 – 0,70
Área industrial	
Indústrias leves	0,50 – 0,80
Indústrias pesadas	0,60 – 0,90
Parques, cemitérios	0,10 – 0,25
Playgrounds	0,20 – 0,35
Pátios ferroviários	0,20 – 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 – 0,30

Tabela 3 – Períodos de Retorno para diferentes ocupações (DAEE/ CETESB, 1980)

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Período de retorno
Microdrenagem	residencial	2
	comercial	5
	áreas com edifícios de serviço público	5
	aeroportos	2 – 5
	áreas comerciais e artérias de tráfego	5 – 10
Macrodrenagem	áreas comerciais e residenciais	50 – 100
	áreas com importâncias específicas	500

A relação intensidade-duração-frequência utilizada para o estudo foi obtida por Fendrich (1998), para Ponta Grossa:

$$i = \frac{1902,39 * Tr^{0,152}}{(t + 21)^{0,893}}$$

Onde:

Tr = período de retorno, em anos;

t = tempo de duração da chuva, em minutos;

i = intensidade de precipitação, em mm/h.

2.1. Micro-reservatório de detenção

Os estudos relacionados à solução ou atenuação dos problemas relacionados às enchentes foram realizados em nível de microdrenagem e o dispositivo escolhido foi o micro-reservatório de detenção, que é apresentado como um dispositivo armazenador de água precipitada e que permite o retardo do tempo de concentração. Esses dispositivos podem ser aplicados em nível de lote tanto na micro quanto na macrodrenagem.

O controle na macrodrenagem demanda maior tempo de implementação, custos elevados, além de exigir grandes áreas livres e com posicionamento adequado, ao passo que na microdrenagem tem a vantagem de uma implementação mais simples, demandando menos tempo e pode ser aplicada em pequenos espaços livres, como praças, jardins ou quintais ou efetuados a partir de telhados.

O uso dos micro-reservatórios na microdrenagem está sujeito a algumas restrições, tais como disponibilidades de espaços livres, profundidade da rede coletora principal, declividades dos lotes, nível freático alto e deposição de resíduos sólidos. No entanto, estudos têm mostrado que sua eficiência é alta na redução de vazões máximas e na melhoria da qualidade do efluente pluvial.

Em trabalho realizado por Cruz, Tucci e Silveira (1998), foram analisados seis tipos de estruturas de detenção sujeitos a aumento progressivo de urbanização. O trabalho mostrou que todos os dispositivos foram eficientes na redução dos valores de vazões de pico dos hidrogramas simulados, obtendo algumas vezes reduções maiores que as necessárias sem grande variação de volume. A figura 3 mostra valores de volumes de detenção necessários para lotes de diferentes dimensões e taxas de impermeabilização crescentes correspondentes a precipitação de Tr (tempo de retorno) igual há 5 anos:

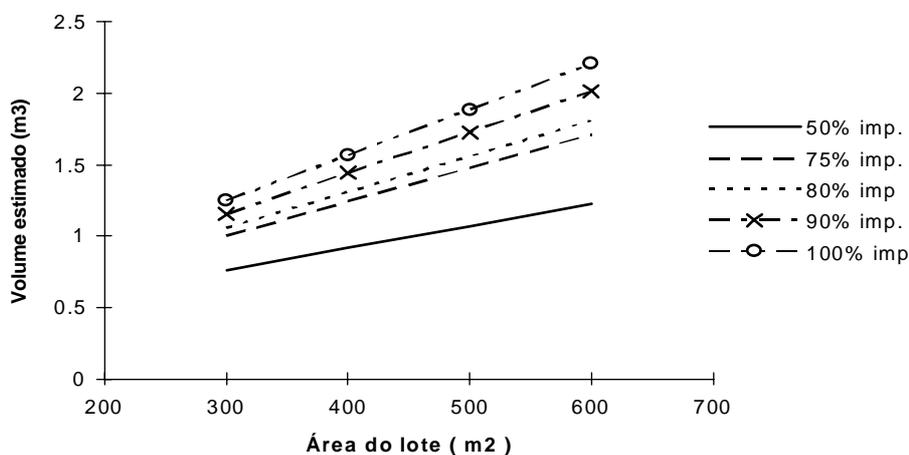


Figura 3 – Volumes de retenção necessários para lotes com diferentes graus de impermeabilização

Para a realização do dimensionamento das estruturas de contenção de enchentes em lotes, pode-se observar a seguinte seqüência:

- a) Obter o lote padrão a ser utilizado no estudo (área do lote da zona estudada);
- b) Obter a taxa de ocupação da região estudada;
- c) Determinar os intervalos de declividade;
- d) Estudo e correção dos coeficientes de deflúvio;
- e) Determinar as intensidades de precipitação;
- f) Calcular as vazões de entrada e saída;
- g) Traçar os hidrogramas;
- h) Calcular os volumes de armazenamento;
- i) Dimensionar os condutos de saída.

Algumas estruturas simples subterrâneas e a céu aberto, de fácil construção e constituídas por materiais de fácil aquisição (como alvenaria e concreto armado, além de tubos de concreto pré-moldados) são mostradas na figura 4.

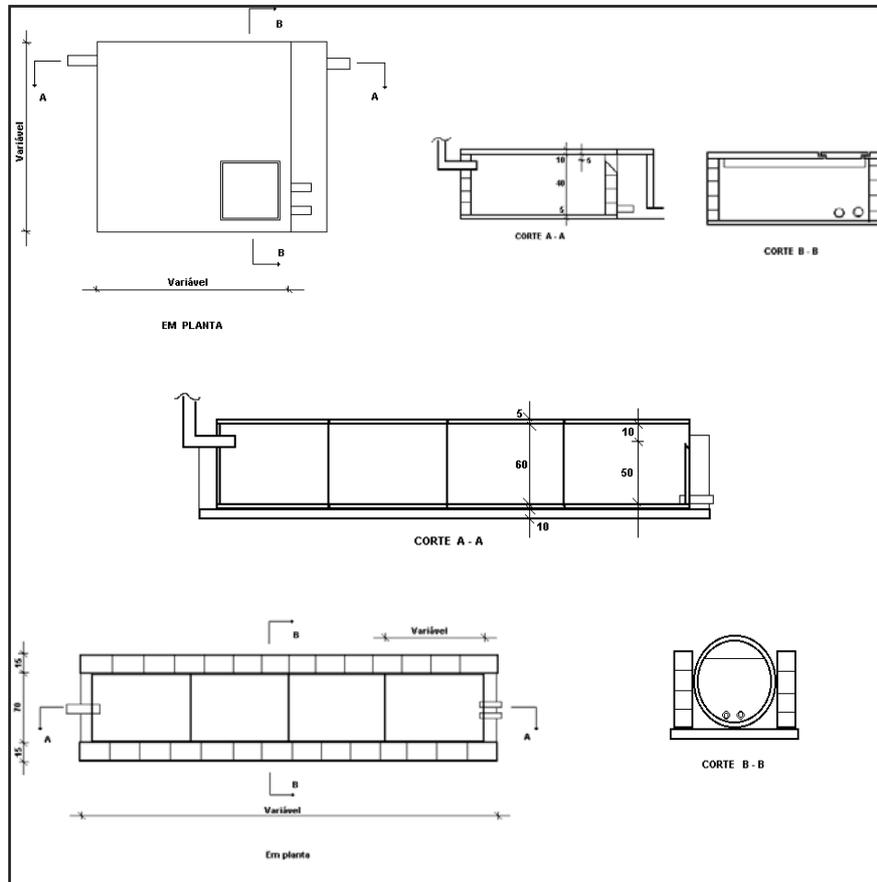


Figura 4 – Reservatórios subterrâneos: Retangular e Cilíndrico

3. Resultados e discussões

Os lotes padrão e as taxas de ocupação são definidos de acordo com o zoneamento estabelecido pela Secretaria Municipal de Planejamento de Ponta Grossa e mostrados na tabela 4, de acordo com a lei municipal número 6.014 de 25/09/98.

Tabela 4 – Índices Urbanísticos para Ponta Grossa, Lei 6.014 de 25/09/98

Zona	Área (m ²)	Taxa de ocupação da base
ZC – Zona Central	360	100%
ZCOM – Zona Comercial	360	100%
ZEPG – Zona Eixo Ponta Grossa	360	50%
ZPOLO – Zona Pólo	360	100%
CC – Corredor Comercial	360	50% -60%
ZR1 – Zona Residencial 1	450	50%
ZR2 – Zona Residencial 2	300	50%
ZR3 – Zona Residencial 3	300	50%
ZR4 – Zona Residencial 4	420	50% -60%
ZS1 – Zona de Serviços 1	600	50%
ZS2 – Zona de Serviços 2	1000	50%
ZI – Zona Industrial	3000	50%
ZVE – Zona Verde Especial	-	10%

Tabela 5 – Valores de C para Ponta Grossa

Zona	Coefficiente de deflúvio
ZC	0,75 a 0,95
ZCOM	0,65 a 0,85
ZEPG	0,50 a 0,70
ZPOLO	0,75 a 0,95
CC	0,45 a 0,65
ZR1	0,35 a 0,50
ZR2	0,40 a 0,50
ZR3	0,45 a 0,65
ZR4	0,50 a 0,70
ZS1	0,50 a 0,80
ZS2	0,60 a 0,90
ZI	0,50 a 0,80
ZVE	0,10 a 0,25

As declividades usadas foram de 2, 5, 10, 15 e 20%, não sendo superior visto que a declividade máxima para a ocupação de um lote em Ponta Grossa é de 22%.

Os coeficientes de deflúvio (C) recomendados por Tucci (1995) apresentados originalmente na Tabela 5 foram corrigidos pelo Método de Snyder de acordo com a declividade do terreno, para possibilitar a aplicação do Método Racional.

A correção dos coeficientes de Snyder é influenciado pela taxa de ocupação, pela declividade do terreno e pelas características particulares da bacia.

· Coeficiente de tempo de Snyder:

$$C_{to} = \frac{7,81}{i^{0,78}}$$

Onde:

i = taxa de ocupação em porcentagem (%)

· Correção devido à declividade:

Tabela 6 – Correção de Snyder segundo a declividade

Limites de declividades	Correção
$So < 0,010\text{m/m}$	$Ct = 0,40 * C_{to} * So^{-0,2}$
$So > 0,025\text{m/m}$	$Ct = 0,48 * C_{to} * So^{-0,2}$
$0,010\text{m/m} < So < 0,025\text{m/m}$	$Ct = C_{to}$

· Correção devido às características da bacia:

$$C_p = 0,89 * C_t^{0,46}$$

A correção para utilização do Método Racional consiste na comparação dos coeficientes de Snyder corrigidos com os valores mínimos de escoamento recomendados para cada zona de estudo. Foi utilizada então a seguinte relação, observando os valores que estão relacionados na tabela 4:

$$C_n = \frac{C_{p_n} / C_{t_n}}{C_{p_{2\%}} / C_{t_{2\%}}} * C_{2\%}$$

Onde:

C_n = coeficiente de deflúvio do método racional, corrigido para cada declividade;

C_{p_n} = coeficiente de Snyder segundo as características da bacia, para cada declividade;

C_{t_n} = coeficiente de Snyder corrigido segundo as declividades;

$C_{2\%}$, $C_{p_{2\%}}$, $C_{t_{2\%}}$ = coeficientes para declividades de 2%.

Para as correções de 2% de declividade, foi observado o valor tabelado, enquanto que para os valores de declividade superiores, foi utilizada a igualdade anteriormente demonstrada. Os valores finais estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores finais encontrados para os coeficientes de deflúvio

Zona	Coeficientes de deflúvio corrigidos				
	i = 2%	i = 5%	i = 10%	i = 15%	i = 20%
Za ¹	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16
ZC	0,75	0,81	0,87	0,91	0,94
ZCOM	0,65	0,70	0,75	0,79	0,81
ZEPG	0,50	0,54	0,58	0,61	0,62
ZPOLO	0,75	0,81	0,87	0,91	0,94
CC	0,45	0,48	0,52	0,54	0,56
ZR1	0,35	0,38	0,41	0,42	0,44
ZR2	0,40	0,43	0,46	0,48	0,50
ZR3	0,45	0,48	0,52	0,54	0,56
ZR4	0,50	0,54	0,58	0,61	0,62
ZS1	0,50	0,54	0,58	0,61	0,62
ZS2	0,60	0,65	0,70	0,73	0,75
ZI	0,50	0,54	0,58	0,61	0,62

¹ Za = representação dos valores dos coeficientes de deflúvio antes da ocupação.

A intensidade de precipitação, como antes mencionado, foi estimada pela equação determinada para Ponta Grossa (FENDRICH, 1998), sendo o tempo de concentração igual a 5 minutos e os períodos de retorno variando de 2 a 5 anos, segundo sua aplicação (Tabela 3).

$$i = \frac{190239 \cdot Tr^{0,152}}{(t + 21)^{0,893}} \quad (\text{mm/h})$$

Para o cálculo das vazões, pelo Método Racional, tem-se:

$$Qa = Ca \cdot i \cdot A$$

$$Qd = Cd \cdot i \cdot A$$

Onde:

Qa = vazão antes da urbanização (m³/s);

Qd = vazão depois da urbanização (m³/s);

Ca = coeficiente de deflúvio para a situação antes da ocupação;

Cd = coeficiente de deflúvio para a situação depois da ocupação;

i = intensidade de precipitação (m/s);

A = área do lote (m²).

No traçado dos hidrogramas triangulares, apesar do método racional fornecer apenas a vazão de pico, podemos obter o hidrograma correspon-

¹ Za = representação dos valores dos coeficientes de deflúvio antes da ocupação.

dente triangular. O hidrograma do método racional será representado por um triângulo isóscele se os efeitos do armazenamento forem desprezados. Caso contrário, o trecho decrescente do hidrograma corresponderia a um tempo maior do que o tempo de concentração. Na Figura 5, a área do triângulo será o volume de escoamento superficial, V_{ESD} , a base será a duração desse escoamento t_b e a altura representa a vazão de pico Q_p :

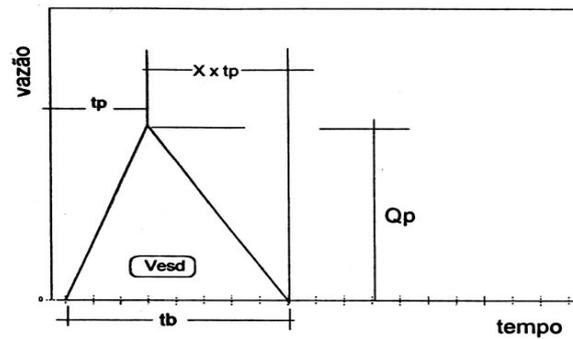


Figura 5 – Hidrograma triangular

$$V_{ESD} = \frac{Q_p * t_b}{2}$$

É usual exprimir-se o valor de t_b em função do tempo de ascensão t_A :

$$t_b = t_A + X * t_A = (1 + X) * t_A$$

Lembrando que o volume de escoamento superficial é o produto da área da bacia pela chuva excedente, tem-se:

$$V_{ESD} = A * h_{exc}$$

Para uma unidade de chuva excedente:

$$Q_p = \frac{2 * A}{(1 + X) * t_A}$$

Ou fazendo:

$$C_p = \frac{2}{(1 + X)}$$

$$Q_p = \frac{C_p * A}{t_A}$$

O valor de C_p está relacionado com o valor de X e, portanto, com a relação entre t_b e t_A , pois $t_b/t_A = 1+X$. Quanto maior o valor de X , maior será a duração do escoamento superficial t_b e mais abatido será o pico. No presente estudo, o hidrograma triangular não será isóscele, e seu tempo de base é de 15 minutos, que é o tempo estimado para que as estruturas liberem o volume que estão armazenando.

Usando-se $X=2$ (segundo Uehara, com base em experiências em bacias rurais no Estado de São Paulo), tem-se:

$$\begin{aligned}t_b &= (1 + X) * t_A \\t_b &= (1 + 2) * 5 \\t_b &= 15 \text{ minutos.}\end{aligned}$$

Após a determinação dos hidrogramas triangulares para as vazões de pós e pré-ocupação, obtêm-se os volumes que as estruturas terão de armazenar, que é, portanto, o volume excedente do escoamento superficial devido ao estado de urbanização que se faz presente na zona estudada. Sendo assim, temos:

$$V_{\text{armazenamento}} = V_{\text{pós-ocupação}} - V_{\text{pré-ocupação}}$$

Com os valores dos coeficientes de deflúvio já corrigidos, e com a intensidade de precipitação definida de acordo com as tabelas e pela aplicação da equação intensidade-duração-frequência, obtêm-se facilmente as vazões de pré e pós-ocupação, os hidrogramas triangulares e os volumes a serem detidos.

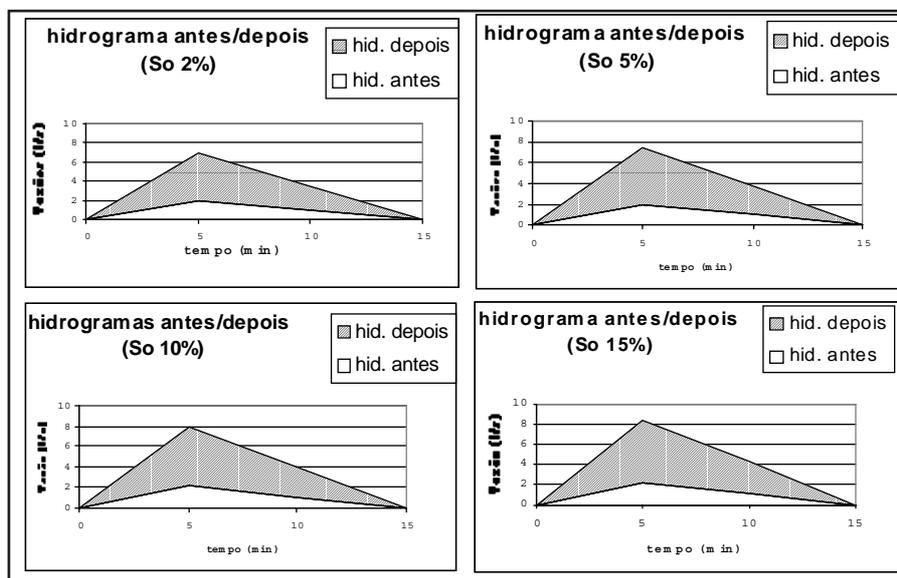


Figura 6 – Hidrogramas para ZR-1

Tabela 8 – Vazões e volumes de armazenamento para a ZR-1

Declividades (So)	Coeficientes de deflúvio antes e depois da ocupação		Vazões antes e depois da ocupação (l/s)		Volume de armazenamento (l)
	Ca	Cd	Qa	Qd	
2%	0,13	0,35	1,872	5,040	1425,71
5%	0,14	0,38	2,014	5,421	1533,38
10%	0,15	0,41	2,170	5,842	1652,57
15%	0,16	0,42	2,267	6,104	1726,54
20%	0,16	0,44	2,339	6,297	1781,03

A tabela a seguir demonstra as variações dos volumes a serem armazenados pelos dispositivos de detenção, em cada zona e para as diferentes declividades.

Tabela 9 – Valores finais para os volumes de armazenamento para as zonas

Zona	Volumes de Armazenamento				
	i = 2%	i = 5%	i = 10%	i = 15%	i = 20%
ZC	3214,32	3457,07	3725,79	3892,57	4015,41
ZCOM	3098,76	3332,78	3591,84	3752,63	3871,05
ZEPG	1918,22	2063,09	2223,46	2322,99	2396,29
ZPOLO	3214,32	3457,07	3725,79	3892,57	4015,41
CC	1906,93	2050,94	2210,37	2309,31	2382,18
ZR1	1425,71	1533,38	1652,57	1726,54	1781,03
ZR2	1166,49	1254,58	1352,10	1412,63	1457,21
ZR3	1382,50	1486,91	1602,49	1674,22	1727,06
ZR4	2237,93	2406,94	2594,03	2710,15	2795,68
ZS1	3674,81	3952,33	4259,56	4450,23	4590,67
ZS2	7780,00	8367,55	9017,98	9421,66	9718,98
ZI	18374,05	19761,65	21297,79	22251,15	22953,33

4. Conclusões

A principal causa das enchentes brasileiras deve-se à ocupação desordenada do solo e a sistemas de drenagem urbana que transferem o problema para jusante sem qualquer preocupação com retenção de volumes escoados. Para o controle desse problema, é importante a observação da viabilidade da implantação da microdrenagem a ser realizada no lote ou no loteamento completo.

O controle na microdrenagem sugerido para os dispositivos apresentados é devida a sua aplicação, que tem a vantagem de uma implementação mais simples, demandando menos tempo de instalação e que pode ser aplicada em pequenos espaços livres, como praças, jardins ou quintais. Por isso é sugerido o uso de estruturas de controle, como o micro-reservatório de detenção. Essas estruturas associadas ao sistema de drenagem convencional podem proporcionar redução de vazões e volumes escoados, consequen-

temente reduzindo as cheias urbanas.

A concepção dos dispositivos analisados neste trabalho trata da redução total do volume escoado de precipitações de projeto, antes que esse atinja a rede convencional existente. Os dispositivos podem ser estudados também para armazenamento parcial.

Para o micro-reservatório de retenção apresentado neste trabalho, pode-se observar a variação dos volumes a serem armazenados em relação à Zona em que o lote está situado, pois para cada Zona existem diferentes taxas de ocupação, coeficientes de deflúvio (C), além da diferença entre as áreas padronizadas para os lotes. Dentre esses parâmetros contribuintes, destaca-se também o tempo de retorno.

Recebido para publicação em 08/00.

Aceito para publicação em 12/00.

ABSTRACT

The main causes of floods in Brazilian cities are the disordinate occupation of urban space, which makes the soil impermeable, and the planning of urban drainage systems without taking the retention of drained liquid into account, simply transferring the problem to the downstream area. A solution would be a micro-drainage system implanted on each urban lot or on the whole area. We suggest simple, easy to make and to implant structures that work in conjunction with the conventional drainage system and reduce the volume of drained water, thus reducing urban floods. The basin of the brook of Olarias, in Ponta Grossa, was chosen for an experimental implantation. This is an area of approximately 2,628.30 hectares, of which about 34% are urbanized. In order to obtain a better analysis it was necessary to select control structures implanted on several lots. The studies of the lots and devices are presented in a sequence, starting with the standardizing of the urban lots selected for this study. The work proceeds with the analysis of the precipitation and the effects of the devices implanted on the hypothetical lots, on the drainage as well as the evaluation of the structures..

Key words: micro-reservoirs; flood control; micro-drainage

Endereços para contato: João Ricardo Sampaio Szesz
e-mail = jszesz@uol.com.br
Alceu Gomes de Andrade Filho
e-mail: agafilho@convoy.com.br

REFERÊNCIAS

AMARAL, Karen Juliana do. **Manual de utilização do Método Colorado Urban Hydrograph Procedure – CUHP**. Projeto de conclusão de curso, Ponta Grossa, 1998.

ANDRADE FILHO, Alceu G.; SANTOS JÚNIOR, Elcio R. dos; SZÉLIGA, Marcos R. **Investigação de viabilidade de implantação de rede telemétrica de observação em bacias urbanas de Ponta Grossa**. Ponta Grossa, 1999.

CETESB, São Paulo. **Drenagem urbana: manual de projeto**. 3. ed. São Paulo: CETESB, 1986.

CRUZ, Marcos Aurélio S.; ARAÚJO, Paulo R.; SOUZA, Vlademir B. **Estruturas de controle do escoamento urbano na microdrenagem**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999.

CRUZ, Marcus Aurélio S.; TUCCI, Carlos E.M.; SILVEIRA, André L. **Controle de escoamento com detenção em lotes urbanos**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 1998.

FENDRICH, Roberto. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. Curitiba: Ed. Champagnat, 1998.

FENDRICH, Roberto; OBLADEN, Nicolau L.; AISSE, Miguel M.; GARCIAS, Carlos. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Editora Champagnat, 1997.

GODOY, Luiz Carlos; MELO, Mário Sérgio de. **Geologia, geomorfologia e riscos geológicos na bacia do Arroio Olarias**. Ponta Grossa: 1997.

PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antonio C. Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco L. Sibut. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda,

68

1995.

SCHUELER, T. R. Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs. 1987.

TUCCI, Carlos E.M.; PORTO, Rubem L.L.; BARROS, Mário T. de. **Drenagem urbana.** Porto Alegre: Ed.da UFRGS – ABRH, 1995.

URBONAS, B.; STAHERE, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p, 1993.