

IX-010 - MEDIDAS DE CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM ÁREAS URBANAS: ASPECTOS LEGAIS E TÉCNICOS PARA SEU EMPREGO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Julio Fracarolli Canholi⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e pelo Politecnico di Torino. Mestrando em Recursos Hídricos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Mario Thadeu Leme de Barros⁽²⁾

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3 nº 380 - CEP 05508-010 - São Paulo - SP - e-mail: julio.canholi@usp.br

RESUMO

Os novos empreendimentos em construção na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) ao não mitigar os impactos nos sistemas de drenagem repassam seus custos para a sociedade, a qual acaba por pagar grandes quantias em obras que se tornam rapidamente obsoletas devido ao aumento da impermeabilização da bacia. Em muitas cidades ao redor mundo, buscou-se contrabalancear os efeitos da urbanização através da implantação de medidas de controle na fonte encorajadas por regulamentações, leis ou decretos. Em muitos casos, a introdução deste tipo de solução levou a resultados adversos, não só devido a escolha do dispositivo, como também devido às normas dispostas nas regulamentações existentes. Foi realizado um estudo de caso para um grande empreendimento da RMSP, utilizando o software SWMM. O estudo avaliou quatro diferentes cenários de ocupação com análise de resultados na fonte, local e os impactos na bacia do empreendimento e na bacia de ordem superior. Entre os cenários foram avaliadas situações com a instalação de microrreservatórios e jardins de chuva. Os resultados mostraram que, utilizando a lei das piscininhas, foi possível abater o pico de cheia em 20% para as áreas diretamente controladas, e entre 11% e 9% para o empreendimento e sua bacia. Na bacia de ordem superior foi observado uma piora em 0,4% no pico. Alterando a localização dos microrreservatórios foi possível dobrar sua eficiência. Os resultados para os jardins de chuva foram piores para os eventos pouco frequentes, porém, estes dispositivos conseguem diminuir em 64% o número de eventos com geração de escoamento superficial para as áreas controladas, eventos ligados fortemente à qualidade das águas. Concluiu-se que a lei vigente (Lei municipal 41.814/02 e lei estadual 12.526/07) hoje na RMSP atende apenas parcialmente seu objetivo de controle de cheias. Considerando que esta lei apresenta boa oportunidade para aumentar a eficácia do sistema de drenagem, seu conteúdo deve ser revisto, à luz dos resultados obtidos nesta pesquisa. Além disso é uma lei que permite controlar a poluição difusa, fator de degradação dos rios urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Regulamentação de águas urbanas, controle na fonte, planejamento e gestão da drenagem urbana.

INTRODUÇÃO

Os novos empreendimentos habitacionais, comerciais e industriais, construídos ou em construção na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tem gerado aumento na impermeabilização do solo das suas bacias hidrográficas. O aumento da impermeabilização, e o conseqüente aumento nos aportes de vazões no sistema público de drenagem, são responsáveis, em grande parte, pelo aumento da ocorrência de inundações e pela alteração da vida útil dos dispositivos de drenagem. Soma-se a este problema a instalação de sistemas de microdrenagem convencionais, que tendem a amplificar os picos de vazões devido à redução no tempo de concentração da bacia. Ao não mitigar esse impacto, repassam seus custos para a sociedade, a qual acaba por pagar grandes quantias em obras que se tornam rapidamente obsoletas devido ao aumento da ocupação e do uso do solo da bacia. Desta maneira, o empreendedor privado deve se responsabilizar pela geração do escoamento superficial produzido em seu empreendimento, investindo para a sua manutenção, em níveis aceitáveis.

Em muitas cidades ao redor mundo, buscou-se contrabalancear os efeitos da urbanização através da implantação de medidas de controle na fonte. Essas medidas usualmente são encorajadas a partir de

regulamentações como, por exemplo, restrições de descargas máximas, ou manutenção das descargas aos níveis de pré-urbanização.

As autoridades envolvidas na gestão da drenagem urbana usam instrumentos legais de dois grupos distintos: instrumentos voluntários, que incluem subsídios técnico-econômicos, e instrumentos compulsórios como taxa de drenagem, ou mesmo dispositivos regulatórios e decretos para o controle e disciplinamento do aumento do escoamento superficial. Legisladores, na tentativa de acelerar ao máximo possível a implantação de dispositivos de controle, desenvolveram limites para o escoamento superficial da bacia a partir de diferentes abordagens (Petrucchi, 2011):

- adoção de uma taxa de máximo escoamento específico admissível ou volume de retenção;
- desenvolvimento de uma fórmula para o cálculo da vazão de pré-desenvolvimento a qual deverá ser mantida após a urbanização da bacia.

As tabelas 1 e 2 apresentam exemplos dessas abordagens.

Tabela 1 – Exemplo de Regulamentações do Reino Unido (Faulkner, 1999)

Região	Período de Retorno (anos)	Vazão Admissível
Anglia/Thames	1 a 100	igual a de pré -desenvolvimento
South	1 a 100	7 l/s.ha
Southeast/Northeast	1 a 100	igual a de 1 ano de pré-desenvolvimento
Wales/Central	1 a 25	6 l/s.ha

Tabela 2 – Exemplo de Regulamentações do Brasil

Cidade	Equação de Volume (m³)	Volume Equivalente (mm)	Volume Equivalente /Chuva (TR 10 d=1hr)
São Paulo e Rio de Janeiro	$V=0,15.Ai.IP.t$	9	15-16%
Guarulhos	$V=0,006.Ai-0,4$	5	10%
Belo Horizonte	$V=0,03.Ai$	30	63%
Porto Alegre	$V=4,25.(Ai/At).A$	44	86%

O controle do escoamento na fonte não possui até hoje uma quadro de conceitos e teorias bastante consolidado que direcione sua aplicação (Petrucchi, 2011). Na verdade, isto decorre do fato de não existirem ainda resultados consistentes com relação ao efeito do uso de controle na fonte na bacia como um todo, o que inviabiliza a construção de objetivos globais e a escolha de uma política de implantação de controle na fonte correspondente a estes objetivos. Assim, foram adotadas soluções em escala local com a idéia implícita de que, se as medidas de controle na fonte são efetivas localmente, seus efeitos positivos também se estendem a toda a bacia (Faulkner, 1999). Na maioria dos casos, o controle do escoamento na fonte é feito a partir da introdução de microrreservatórios no lote, ou de pequenas bacias de retenção nos empreendimentos. Em muitos casos, a introdução deste tipo de solução levou a resultados adversos, não só devido a escolha do dispositivo, como também devido às normas dispostas nas regulamentações existentes. Os problemas com relação a estes métodos relacionam-se com vários aspectos, sendo os mais importantes:

Métodos de Estimação de Vazão Utilizados – as análises se baseiam na adoção de métodos empíricos. Segundo Fennessey et al. (2001) muitas vezes esses métodos superestimam a vazão de pré-desenvolvimento.

Tempos de Retorno Utilizados e Duração da Chuva - Os tempos de retorno geralmente utilizados nas leis e decretos variam de 2 a 100 anos. Os períodos utilizados representam apenas uma pequena fração da precipitação anual, perto dos 3%, o que resulta na falta de manejo dos outros 97% (chuvas com tempo de retorno inferiores a 2 anos, eventos estes relacionados à qualidade das águas urbanas devido ao carregamento da poluição difusa). Conforme Guo e Urbonas (1996), 95% dos eventos geradores de escoamento superficial são de recorrência inferior a dois anos. Mays (2001) ressalta ainda que para o funcionamento integrado e

sustentável de um plano de manejo de águas pluviais, devem ser incluídos os eventos de alta e baixa frequências.

Os efeitos da urbanização são menos significativos para tempos de retorno maiores, devido ao fato que estes eventos têm maior probabilidade de ocorrência durante as estações úmidas do ano, quando o solo encontra-se parcialmente saturado. A construção de dispositivos em lotes para o atendimento de eventos tão raros pode ser ineficiente do ponto de vista hidrológico, além de extremamente antieconômico, uma vez que ocupam grandes áreas e são pouco utilizados (Faulkner, 1999).

Fennessey et al. (2001) observou que em muitos locais urbanizados sob a tutela de diferentes decretos foi registrado um aumento no número de casos de inundação para chuvas frequentes. Uma das conclusões do autor é que boa parte dos decretos ignora os eventos de baixos tempos de recorrência, fazendo com que os efeitos da urbanização sejam propagados a jusante, sem controle, para chuvas com recorrências de até 5 anos. Uma forma de reverter as inconveniências relacionadas a este aspecto é elaborar regras que propiciem o controle para o todo o espectro de eventos (Wulliman e Urbonas, 2007).

Localização do Dispositivo na Bacia e Interação com o Sistema de Drenagem - a interação das descargas provenientes das áreas urbanizadas (controladas pelos dispositivos) e aquelas provenientes das áreas não ocupadas (não controladas) podem acarretar na concomitância dos picos das contribuições em determinados pontos da bacia, entre bacias vizinhas ou de ordem diferentes. Ademais, nas diferentes partes da bacia a transição de escala da drenagem do lote para a bacia como um todo apresenta comportamento diferente, ou seja, algumas áreas contribuem mais fortemente para a produção do pico que outras.

Paralelamente, diversos conceitos baseados na manutenção ao máximo das características hidrológicas locais, a visão da água como recurso e a valorização da água no ambiente urbano, vem sendo desenvolvidos. Entre eles podemos citar a Urbanização de Baixo Impacto (LID) e os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS), que se utilizam de métodos de reservação e infiltração, junto com medidas de planejamento, para atingir estes objetivos.

Do exposto, foram realizadas simulações hidrológicas para uma bacia na RMSP com o objetivo de avaliar o impacto da instalação de microrreservatórios, conforme a lei, ou dispositivos de infiltração. A bacia localiza-se no município de São Caetano do Sul, região metropolitana de São Paulo, onde recentemente a área industrial de uma antiga cerâmica foi reurbanizada dando lugar a um novo bairro com áreas comerciais e residenciais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Partindo das premissas anteriormente expostas, realizou-se um estudo de caso utilizando uma bacia hidrográfica modelo, baseado na avaliação de diferentes cenários, de forma que fosse possível a comparação quantitativa do escoamento superficial gerado na bacia e transferido para jusante, com a utilização de microrreservatórios e de medidas de infiltração, tendo como base a “lei das piscininhas” do Município de São Paulo (Lei municipal 41.814/02, que posteriormente serviu de base para a lei estadual 12.526/07). Assim, são avaliados os seguintes cenários visando avaliar os fatores intervenientes:

- Cenário de pré-desenvolvimento (1);
- Cenário desenvolvido sem utilização de medidas de mitigação(2);
- Cenário desenvolvido com medidas de uso corrente para a mitigação de eventos de cheia (reservatórios de retenção/detenção) (3);
- Cenário desenvolvido utilizando os novos conceitos de urbanização de baixo impacto (Jardins de Chuva) (4).

Os cenários foram desenvolvidos com a utilização do software Storm Water Management Model (SWMM) da EPA (Environmental Protection Agency). O SWMM é capaz de determinar a quantidade de escoamento gerado em cada sub-bacia, sua vazão, profundidade do escoamento e qualidade da água. A simulação hidrológica é realizada considerando que as sub-bacias se comportam como reservatórios não lineares representados pela equação de Manning e da Continuidade. Segundo Elliot e Trowsdale (2005) o SWMM é um dos modelos mais adaptados para a simulação de estruturas de LID e SUDS. Segundo o autor o modelo, apesar de complexo e da

necessidade de inúmeros parâmetros de entrada, apresenta discretização temporal na escala do minuto, com possibilidade de geração de hidrogramas em áreas inferiores a 0,01 km².

O modelo hidrológico estabelecido para as simulações foi o do Soil Conservation Service (SCS). Para as simulações discretas foram utilizadas chuvas de projeto determinadas a partir da equação de chuva de São Paulo, enquanto que as simulações contínuas foram realizadas com uma série de precipitação de 12 anos de observação do posto São José, na bacia de interesse.

A área escolhida para o estudo de caso situa-se no município de São Caetano do Sul, inserida na bacia do Ribeirão dos Meninos em seu trecho inferior. O local escolhido teve o modo de uso de seu solo alterado recentemente. A valorização dos terrenos na região e a demanda por habitações fizeram com que a área hoje fosse ocupada por um condomínio de prédios e instalações comerciais. Esta área possui cerca de 0,32 km². Devido à alteração do uso de solo, constitui-se em um exemplo real e bastante interessante para aplicação e verificação das metodologias e regulamentações apresentadas. Desse modo, pode-se avaliar a eficácia dessas medidas de controle.

Este empreendimento encontra-se inserido em duas bacias distintas, estando parte de sua área em uma bacia de 0,55 Km², que drena para o Ribeirão dos Meninos, e outra, em uma bacia de 1,0 km², que drena paralelamente à primeira. Assim, foi avaliada a eficácia dos dispositivos para as áreas controladas, ou seja, as áreas privadas definidas por lei para receber estes dispositivos (áreas privadas impermeáveis das bacias E1, E2, E3 e E4), a eficácia para todo o empreendimento, constituído por áreas públicas e privadas (análise conjunta das bacias E1, E2, E3 e E4, denominada “Empreendimento”), e a eficácia levando em consideração a bacia com as contribuições de montante (Bacias 1 e 2). A figura 1 apresenta um esquema da bacia simulada.

Segundo a legislação vigente, quando somados os volumes a serem disponibilizados, de acordo com as áreas impermeáveis em cada lote, o empreendimento deveria contar com um sistema de microrreservatórios de volume total de 1688 m³. Os dispositivos de descarga dos reservatórios foram dimensionados de forma a maximizar a eficácia para as chuvas de TR 10 anos e duração 1 hora, objetivo da lei para a cidade e para o estado de São Paulo.

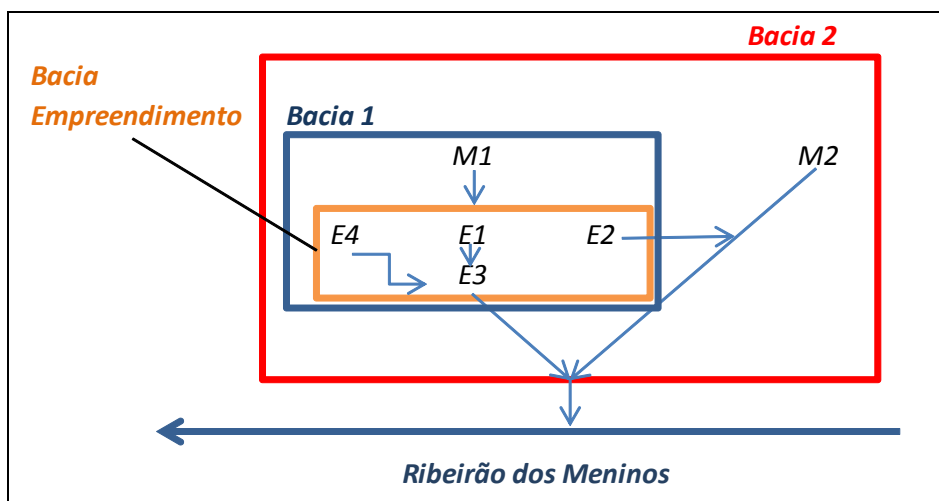


Figura 1: Esquema da Bacia de Simulação.

RESULTADOS

Microrreservatórios

Para as áreas impermeáveis controladas em geral, as eficácias no abatimento dos picos de cheia ficaram em torno de 18 a 20% para as chuvas de TR 10 anos e duração 1 hora, objetivo da lei das piscininhas para a cidade de São Paulo. A figura 2 apresenta o resultado para os TR's de 2, 5 e 10 anos, para uma das áreas impermeáveis controladas por microrreservatório, no caso a bacia E2. A tabela 1 apresenta os resultados e a eficácia para estas áreas.

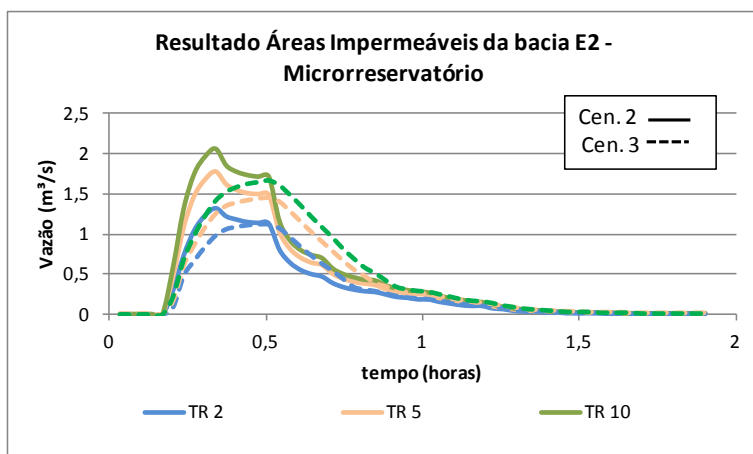


Figura 2: Resultado para áreas controladas da bacia E2.

Tabela 1: Resultados e Eficácia para as áreas controladas por microrreservatórios na bacia E2

Resultado para a Bacia E2			
Tempo de Retorno (anos)	Cenário 2 (m³/s)	Cenário 3 (m³/s)	Eficiência (%)
2	1,31	1,12	14,5%
5	1,77	1,45	18,1%
10	2,07	1,66	19,8%

Quando considerado o exutório da bacia Empreendimento, ou seja, considerando a contribuição também das áreas públicas permeáveis e impermeáveis (sistema viário, praças e parques), a eficácia fica entorno de 11,4%. A figura 3 apresenta o resultado para os TR's de 2, 5 e 10 anos. Ademais, o uso de microrreservatórios conforme a lei não alcançou as vazões que eram veiculadas com a ocupação anterior ao empreendimento.

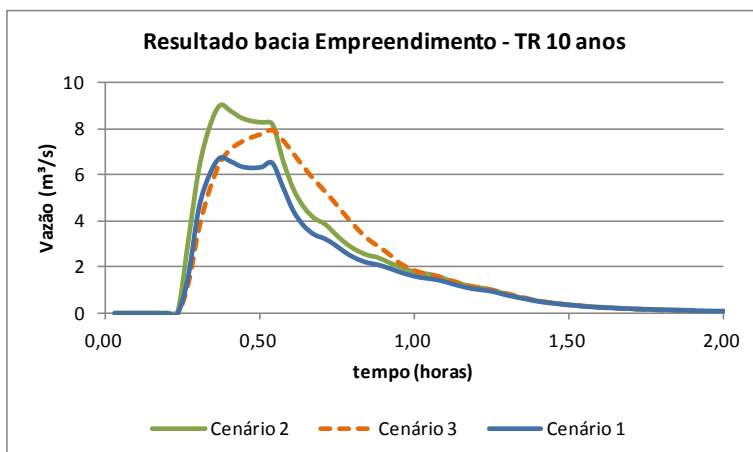


Figura 3: Resultado para a Bacia Empreendimento.

Para a Bacia 1, a eficácia na redução do pico de cheia foi de apenas 9,4%, enquanto que para a Bacia 2, com toda a bacia contribuinte o resultado teve uma piora discreta de -0,4%, ou seja, houve um leve aumento no vazão descarregada pela bacia no Ribeirão dos Meninos quando comparado com a situação sem microrreservatório. A figura 4 apresenta o resultado para a Bacia 1. Embora a utilização dos microrreservatórios consiga abater parte do pico, eles não são capazes de impedir uma piora na situação da bacia em comparação ao cenário anterior ao empreendimento.

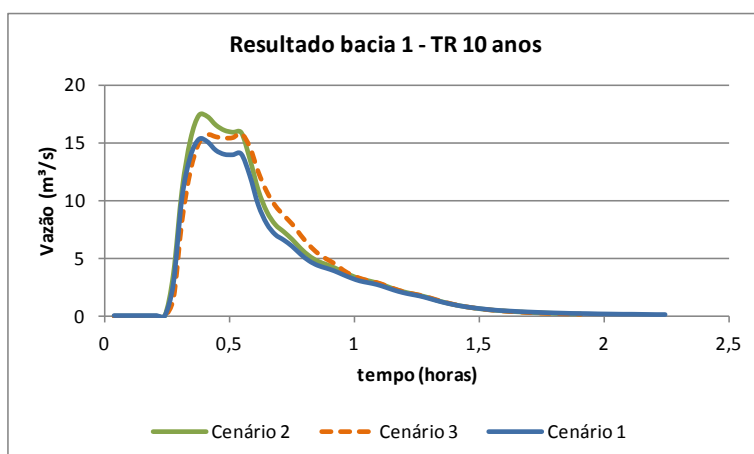


Figura 4: Resultado para a Bacia 1.

Os resultados para os microrreservatórios são bastante tímidos, mesmo para as áreas controladas e para a bacia Empreendimento, que apresenta área superior a 60% sob controle dos microrreservatórios. Estes resultados são reflexos do pequeno volume requerido para disponibilização, fixados pela legislação vigente.

Por outro lado, o posicionamento da reservação pode provocar perda de eficácia no abatimento de picos de cheia. A título de comparação, foi realizada uma simulação alocando o mesmo volume no ponto de melhor eficácia da bacia Empreendimento (no caso a sub-bacia E2), mas englobando as áreas públicas e privadas. O resultado foi um aumento na eficácia no abatimento dos picos de cheia da Bacia Empreendimento de 11,4% para 21,6%. Para a Bacia 1 apresentou uma melhora de 9,4% para 10,7%, enquanto que a Bacia 2 saiu de -0,4% para 2%. A figura 5 apresenta este resultado no exutório da bacia Empreendimento.

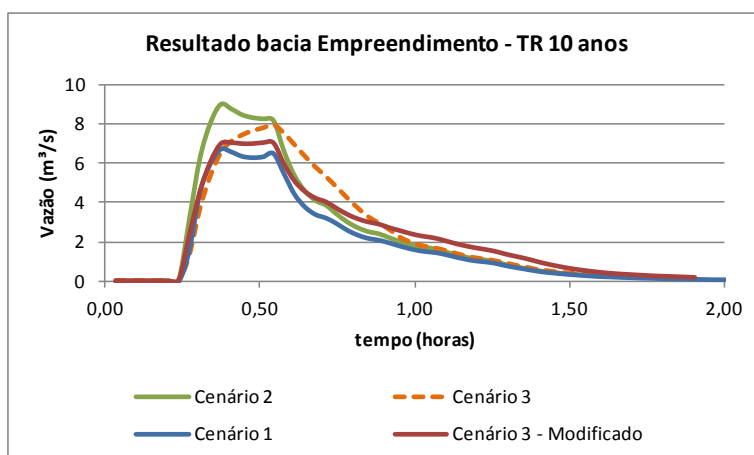


Figura 5: Resultado para a Bacia 1 com o controle de áreas públicas e privadas.

Jardins de Chuva

Este tipo de dispositivo é formado por um leito vegetado de pequena profundidade que promove os processos físicos e biológicos como infiltração, retenção, adsorção, assimilação, evapotranspiração e filtração. Desta maneira, o escoamento superficial que escoar pelas áreas impermeáveis do empreendimento deve passar pelo jardim. Estes elementos tem tempo de retenção mais longos, em torno de 24 horas, o que leva a um pior desempenho frente a eventos mais intensos em comparação a um microrreservatório, para um mesmo volume.

Os jardins de chuva, por não contarem com orifícios de descarga, apresentam resultados bastante modestos quando analisados sob a ótica dos eventos de chuvas mais intensos, ou seja, de tempos de recorrência superiores a 2 anos. Os resultados para as áreas diretamente conectadas a estes dispositivos giram em torno de 2,8% de eficácia no abatimento do pico para chuvas de TR 10 anos. Para a Bacia 1 o resultado foi de 8,4%. Uma explicação para este resultado seria a redução na velocidade do escoamento, que passa por esses jardins, defasando e amortecendo hidrogramas.

A melhor contribuição desses sistemas é observada quando analisa-se a série de 12 anos do posto São José. Nela é possível observar o benefício que o uso desta técnica traz frente aos eventos de alta frequência, com tempos de recorrência inferiores a 2 anos. Com o uso destes dispositivos é possível atingir uma redução de 62,5% no número de dias com geração de escoamento superficial. A figura 6 a seguir apresenta este resultado.

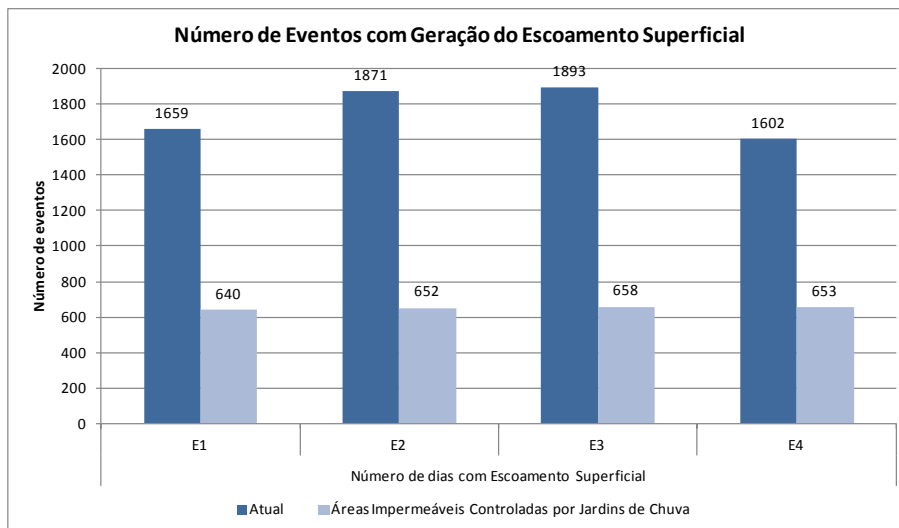


Figura 6: Resultado para as áreas impermeáveis controladas por jardim de chuva.

Segundo Emerson et al. (2005), Booth e Jackson (1997) e Hunt e Tillinghast (2011) a avaliação dos dias com escoamento superficial fornece um indicador para a qualidade das águas. Quanto menos dias com escoamento superficial, menores os problemas de erosão e desbarrancamento de margens em canais naturais e, menor quantidade de poluição difusa carregada para o corpo d'água receptor. Embora seja notável a melhoria que pode ser alcançada com a utilização desses dispositivos, segundo Urbonas (2009), para a cidade de São Paulo, o volume mínimo necessário para o controle seria de 20 mm, uma vez que este é o volume que abrange o 80º percentil dos eventos de chuva, denominado como *Water Quality Capture Volume (WQCV)* ou, em tradução livre, Volume de Captura para Qualidade da Água. Seguindo esta premissa do autor, na cidade de São Paulo, a “lei das piscininhas” vigente é tanto incompatível com o controle de quantidade como parcialmente incompatível com o controle de qualidade, o que deveria ensejar uma revisão de ordem técnica tanto para os objetivos da lei, quanto para o volume a ser retido para infiltração ou tratamento.

CONCLUSÕES

Do exposto é possível concluir que a “lei das piscininhas” hoje utilizada na cidade e no estado de São Paulo deve ser revista para atingir plenamente os seus objetivos de controle de cheias. Embora a utilização dos microrreservatórios possibilite um abatimento nos picos de cheia para as áreas controladas, ou seja, na fonte, os resultados não se difundem por toda a bacia devido ao seguintes fatores:

- O volume de reservação requerido é muito pequeno, equivalente a 15% da chuva de TR 10 anos, o que não permite um abatimento substancial do pico e também uma defasagem entre os hidrogramas das áreas controladas e não controladas;
- A defasagem entre hidrogramas fica bastante prejudicada quando após uma urbanização apenas parte das áreas impermeáveis, no caso as privadas, são controladas enquanto que as públicas não são. Como consequência, uma parte dos impactos causados pela urbanização nas condições hidrológicas antecedentes da bacia é integralmente transferida à jusante;
- O volume de reservação, embora seja importante para garantir o abatimento dos picos localmente pelo armazenamento, não é o único responsável pela eficácia do sistema. A introdução de reservatórios em uma bacia, além da possibilidade do abatimento localizado, pode influir remotamente na composição dos picos das diversas sub-bacias em pontos a jusante devido a defasagem de seus diversos tempos de concentração, o que pode levar à redução da somatória destes picos. Este ponto fica bem evidenciado na análise do Cenário 3 modificado. No limite, quando

analisa-se esses resultados pelo lado econômico, a solução por microrreservatórios será sempre mais cara que outra que busque encontrar um local que atenda de melhor maneira a bacia;

Outra análise necessária é o zoneamento das áreas mais indicadas a receberem os reservatórios. Este zoneamento pode ser feito a partir dos planos de drenagem municipais ou então a partir de estudos hidráulicos e hidrológicos abrangentes, realizados como contrapartida ao licenciamento dos novos empreendimentos.

Por outro lado, a “lei das piscininhas” apresenta uma grande oportunidade de controle da poluição difusa e do manejo correto das tormentas de período de retorno inferior a 2 anos, que representam 97% do espectro de chuva, em média. Caso a lei seja revista, poderiam ser utilizados dispositivos de infiltração, com ganhos inerentes que poderiam complementar os esforços já empreendidos para o controle de cheias na RMSP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOOTH, D. B.; JACKSON, C. R. Urbanization of Aquatic Systems: Degradation Thresholds, Stormwater Detection and the Limits of Mitigation. *Journal of the American Water Resources Association*, 33, n. 5, Outubro 1997.
2. ELLIOT, A. H.; TROWSDALE, S. A. A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environmental Modeling and Software*, Auckland, Dezembro 2005. 9.
3. EMERSON, C. H.; WELTY, C.; TRAVER, R. G. Watershed-scale evaluation of a system of storm water detention basins. *Journal of Hydrologic Engineering*, junho 2005. 237-242.
4. FAULKNER, B. The control of surface water runoff from new development: is UK national policy in need of review? *Urban Water*, 1999. 207-215.
5. FENNESSEY, L. A. J. et al. Changes in Runoff due to stormwater management pond regulation. *Journal of hydrologic engineering*, julho/agosto 2001. 317-327.
6. GUO, J.; URBONAS, B. Maximazed Detention Volume Determined by Runoff Capture Ratio. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 1996. 33-39.
7. HUNT, W. F.; TILLINGHAST, E. D. Relating stormwater control measures (SCM) design standards to stream erosion in piedmont North Carolina: case studies in Raleigh and Chapel Hill, North Carolina. *International Conference on Urban Drainage*. Porto Alegre: [s.n.]. 2011.
8. MAYS, L. W. Stormwater collection systems handbook. 1º. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2001.
9. PETRUCCI, G.; DEROUBAIX, J.-F.; TASSIN, B. Stormwater source control regulation: a hydrological comparison of alternative policies. *International Conference on Urban Drainage*. Porto Alegre: [s.n.]. 2011.
10. WULLIMAN, J.; URBONAS, B. Peak flow control for a full spectrum of design storms. *NOVATECH*. [S.l.]: [s.n.]. 2007. p. 1115-1122.