

SIMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE CONTROLE EM PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA

Adolfo O. N. Villanueva e Carlos E. M. Tucci
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
adolfo@iph.ufrgs.br tucci@iph.ufrgs.br

Introdução

O desenvolvimento da infra-estrutura urbana tem sido realizada de forma inadequada, o que tem provocado impactos significativos na qualidade de vida da população. A drenagem urbana tem sido um dos principais veículos de deterioração deste ambiente, devido à própria concepção do sistema de drenagem pluvial e a ações externas, como a produção de resíduos sólidos e os padrões de ocupação urbana. Além disso, as soluções adotadas, no âmbito de engenharia, para a drenagem urbana as vezes têm produzido mais danos do que benefícios ao ambiente.

Para desenvolver soluções adequadas e viáveis, dentro da realidade sócio-econômica das cidades, são necessárias ferramentas de apoio que permitam uma avaliação adequada dos diferentes impactos envolvidos.

Os principais elementos envolvidos no gerenciamento da drenagem urbana, que são em geral interdependentes são:

- Condicionantes de ocupação urbana, definidos geralmente no Plano Diretor das cidades;
- Sistema de Esgotamento e Tratamento Sanitário;
- Mananciais de abastecimento de água;
- Avaliação e controle da vazão líquida no sistema de drenagem existente e/ou projetado;
- A produção de sedimentos e material sólido, seu transporte na rede e o controle do mesmo;
- Qualidade da água devido à drenagem urbana; e a redução do impacto poluente no sistema hidrológico de jusante, tanto na água subterrânea como na superficial;
- Avaliação econômica das alternativas de controle.

Os três primeiros itens representam as externalidades do sistema de drenagem que de alguma forma interagem com as ações na drenagem. Os demais estão intrinsecamente ligados ao planejamento da mesma.

Embora este trabalho esteja orientado a análise quantitativa da drenagem urbana, deve-se ressaltar que a *solução* para os problemas de drenagem urbana passam necessariamente por contemplar todos os aspectos mencionados. Nesse sentido, é importante, ao analisar um

aspecto do problema, manter em mente a existência dos outros, dentro de um enfoque de Gerenciamento Integrado da Água em Médio Urbano (Braga, 2001).

Urbonas (1993) definiu BMP (*Best Management Practices*) como uma variedade de técnicas utilizadas para reduzir a frequência das inundações e a poluição devido à drenagem urbana. O planejamento dos dispositivos de controle do conjunto das BMPs envolve a definição de alternativas baseadas em elementos técnicos, econômicos, institucionais, sociais e políticos.

Para a tomada de decisões é necessário que os resultados das potenciais alternativas sejam avaliados. As mesmas são estabelecidas dentro de cenários definidos pela ocupação do espaço urbano e pelo risco de projeto. Os cenários de ocupação do espaço urbano são definidos à partir de padrões de uso do solo e da projeção de tendência futura dentro de horizontes de 10, 20 ou 30 anos. O risco é escolhido com base na capacidade de investimento e dos prejuízos potenciais.

Os componentes principais na avaliação envolvem:

- Controle quantitativo dos impactos existentes;
- Controle da qualidade da água pluvial;
- Controle dos resíduos sólidos.

Neste trabalho são apresentados somente os modelos utilizados para o gerenciamento quantitativo dos impactos.

Metodologia de um PDDRU

A elaboração de um plano diretor de drenagem urbana envolve uma série de etapas (Tucci, 2001). As principais envolvem: política, desenvolvimento do Plano, produtos gerados e programas. A política define os princípios, objetivos e estratégias do Plano. O desenvolvimento do Plano envolve a definição das medidas não-estruturais e estruturais. As medidas não-estruturais são ações preventivas desenvolvidas através da legislação e que visam impedir os impactos ainda inexistentes de ocupação sobre a drenagem. As medidas estruturais são aquelas que visam resolver os impactos já existentes na drenagem. Os produtos são as propostas de legislação o Plano de Ação das medidas estruturais e o manual de drenagem urbana. Os programas são os estudos e desenvolvimento de médio prazo que complementam o Plano.

A metodologia a seguir descrita envolve o estudo de alternativas das medidas estruturais. Na figura 1 é apresentado um resumo da metodologia utilizada em alguns Planos Diretor de Drenagem (IPH, 2000 e IPH, 2001).

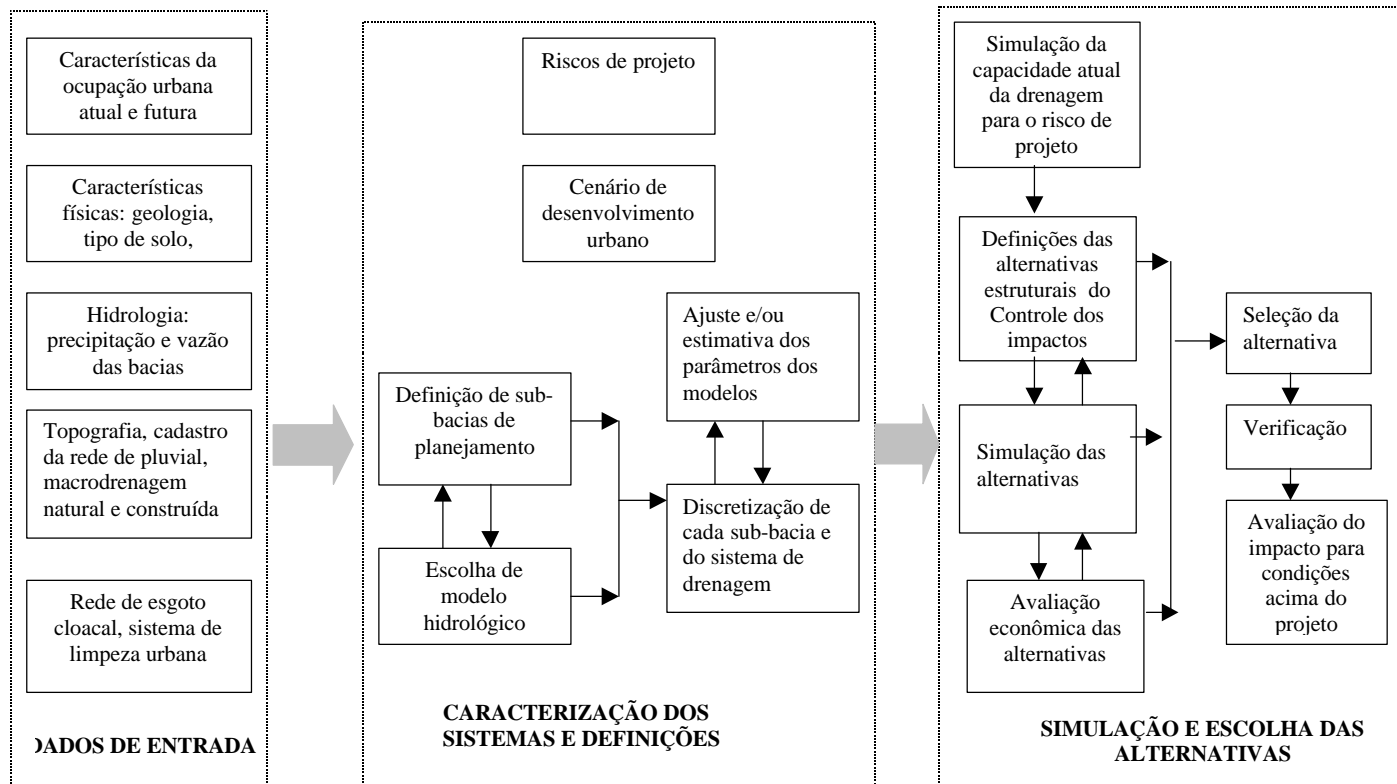


Figura 1 Etapas metodológica para o Plano Diretor de Drenagem Urbana

Dados de Entrada: O conjunto de dados de entrada necessários aos estudos de alternativas estruturais do Plano são: (a) *Características urbanas atuais características físicas:* como geologia, tipo de solo e topografia; (c) Hidrologia: dados de precipitação para o estabelecimento da curva de Intensidade-Duração-freqüência e eventos com precipitação e vazão para ajuste dos modelos hidrológicos; (d) topografia, preferencialmente em escala 1:2.000, cadastro da rede pluvial construída: seção do conduto ou galeria, posicionamento em planta e cota do topo ou fundo da galeria e condições da galeria quanto a assorimento ou obstruções; seções naturais representativas dos rios da área urbana de interesse; (e) localização da rede cloacal, se existe, informações sobre o sistema de coleta de lixo e limpeza urbana.

Caracterização dos Sistemas e Definições: Este módulo envolve as definições de projeto relacionados com: (a) os cenários de análise: atual e futuro; (b) risco de projeto: tempo de retorno escolhido para o projeto; (c) sub-divisão das bacias cidades onde serão realizados os Planos e a sub-divisão interna das mesmas para simulação; (d) ajuste do modelo ou definição dos parâmetros de simulação (maiores detalhes no item seguinte).

Os cenários de análise quantitativos de uma bacia urbana:

Cenário atual (capacidade do sistema existente): este é o cenário em que o sistema existente é analisado para enchentes com o risco de planejamento, fundamentalmente para os cenários de ocupação atual e curto prazo; e eventualmente com a futura ocupação do Plano Diretor urbano;

Cenário futuro (estudo de alternativas de controle): neste cenário são pesquisadas as condições combinadas de controle do sistema para os horizontes de planejamento, com base nas medidas de controle e de aumento de capacidade de escoamento.

Simulação e escolha das alternativas: As etapas desta análise envolvem:

Capacidade de escoamento existente: análise das condições de escoamento na rede, determinando a capacidade de escoamento em cada seção definida para a rede de drenagem discretizada na bacia. Nesta fase, já é possível identificar os locais críticos devido a variabilidade da capacidade de escoamento que geralmente ocorre nas áreas urbanas. É comum existirem seções com menor capacidade de escoamento a jusante do que montante de um trecho.

Simulação das condições atuais de urbanização e futura da rede de escoamento pluvial para os cenários atuais e futuros. Nesta simulação é possível identificar as seções ou trechos críticos onde a capacidade existente não permite escoar a vazão simulada. Geralmente esta simulação é realizada com um modelo a superfície

livre, desprezando-se os processos que ocorre sob-pressão.

Definição das alternativas de controle: formulação das possíveis medidas de controle através do seguinte: (a) identificação em campo dos possíveis locais para reservatórios de detenção; (b) avaliação dos volumes disponíveis em função das cotas; (c) trechos que podem ser ampliados e seus condicionantes.

Para determinar a combinação ótima o planejador poderá verificar as alternativas disponíveis: (a) redução do escoamento superficial através de medidas na fonte (geralmente para futuros cenários); (b) detenções em locais em que existem áreas disponíveis ou mesmo em locais enterrados quando as abertas não forem possíveis; (c) ampliação da capacidade de escoamento do sistema.

Simulação das alternativas: simulação das alternativas selecionadas, verificando a sua eficiência para os diferentes cenários. São definidos vários *lay-out* com as modificações físicas que controlem as inundações existentes. A melhor solução econômica é a que produz o menor custo de implantação. Isto pode ser realizado através de tentativa, variando algumas combinações ou através de um modelo de otimização em combinação com um modelo hidrológico.

Avaliação econômica das alternativas : levantamento dos custos de implementação das alternativas e escolha da alternativa de projeto e plano de ação para implementação das medidas

Verificação do projeto com modelo hidrodinâmico que considera o escoamento sob-pressão.

Verificação para condições do risco maior que o adotado no projeto: Considerando que tenha sido escolhido, por exemplo, o tempo de retorno de 10 anos para o projeto, é necessário que o Plano avalie os impactos que ocorrerá na drenagem para riscos maiores que 10 anos, propondo medidas preventivas para os diferentes locais mais críticos.

Características dos modelos

O modelos utilizados em bacias urbanas geralmente possuem dois módulos: (a) *módulo bacia:* que calcula a partir da precipitação a vazão resultante que entram nas galerias e canais; (b) *módulo de rios, canais, galerias e reservatórios:* que transporta o escoamento através de canais, galerias e detenções.

Geralmente os algoritmos utilizados variam com o grau de detalhamento com que se deseja representar a bacia e suas características, e com os efeitos do escoamento que devem ser levados em consideração. Dois tipos de modelos podem ser utilizados:

(a) *modelo hidrológico:* neste caso pode somente possuir o módulo bacia ou também o módulo canal (galeria). O módulo bacia é representado por

funções hidrológicas de determinação do escoamento que chega nos condutos da macrodrenagem através de algoritmos como: perdas iniciais, infiltração e a propagação do escoamento superficial. Alguns exemplos de modelos que tratam somente deste módulo são IPH II (Tucci et al., 1981); SCS (SCS, 1975). O modelo IPHS1 (Tucci et al. 1988) inclui algoritmos de bacia e de canal.

No módulo galeria o fluxo é transportado por equações do tipo armazenamento como Muskingum ou modificações deste como Muskingum-Cunge. Nas detenções é utilizado o método de Puls.

Este tipo de modelo identifica os locais de inundação por vazões superiores a capacidade de escoamento, ou pelas cotas, com auxílio de curvas chave das seções.

(b) *modelos hidrológicos-hidráulicos*: Geralmente este tipo de modelo é utilizado somente existem condições de remanso e escoamento sob pressão, produzindo inundações em diferentes pontos, que necessitam de soluções específicas, ou quando a interação na rede é muito grande. Neste caso o módulo galeria é representado pelas equações dinâmicas (Saint Venant) para superfície livre ou para escoamento sob pressão com a sua adaptação com fenda de Preissmann. Este modelo também é utilizado na verificação de projeto e para avaliar do impacto para riscos superiores ao de projeto.

Elementos da simulação

Características das simulações: A simulação de alternativas é uma das principais etapas na elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana. As simulações a serem realizadas abrangem situações como:

- diferentes fenômenos, como transformações chuva-vazão e escoamento em canais;
- no escoamento em canais podem aparecer diferentes regimes de escoamento: livre, sob pressão, sub-crítico, super-crítico; assim como combinações e transições entre eles;
- simulação de estruturas especiais como reservatórios de detenção ou casas de bombas;
- diferentes cenários de ocupação da bacia, referidos à urbanização presente e futura; ou diferentes padrões de ocupação da bacia.

A essa variedade de condições se somam outros condicionantes:

- a necessidade de representar interações na rede de condutos (e. g. efeitos de remanso);
- os parâmetros dos métodos devem poder ser estimados com base em características físicas da bacia ou da rede de drenagem, seja por ausência de dados para ajuste ou para simular situações futuras;
- como os PDDRUs geralmente só analisam a macrodrenagem, os projetos de detalhe e de microdrenagem são desenvolvidos em

separado. Há, portanto, necessidade de que os parâmetros e critérios adotados nesses projetos sejam coerentes com os utilizados no plano. Isso implica em métodos e critérios acessíveis e de fácil generalização, contemplando até sua inclusão em produtos tais como manuais de drenagem.

- para poder generalizar os critérios, parâmetros e metodologias utilizados, é conveniente evitar o uso de metodologias específicas de softwares, sobre as quais não é fácil achar referências, exemplos ou outros tipos de auxílio para a aplicação (os métodos não deveriam ser software-dependentes).
- o volume de simulações a serem realizadas é muito grande. Considerando a rede de macrodrenagem a partir dos condutos de 1 m de diâmetro ou equivalentes, o tamanho médio das “bacias elementares” fica entre 0,5 e 1 km². As metodologias adotadas não devem ser excessivamente trabalhosas, particularmente quanto à determinação de seus parâmetros.

Na escolha das metodologias de simulação e de estimativa de parâmetros é fundamental respeitar as condições de aplicabilidade de cada uma de elas, tanto em termos gerais como nas condições específicas de utilização. A maioria das técnicas comuns de simulação *chuva-vazão*, e de parâmetros dessa transformação, tem sido desenvolvidos para áreas rurais. O uso dessas técnicas deve ser evitado, ou utilizadas quando possam ser introduzidas correções para levar em conta condições de bacias urbanas. Por exemplo, à fórmula de Kirpich para tempo de concentração deve ser aplicada com as correções devido a urbanização (Tucci, 1993).

O uso de parâmetros da literatura não constitui uma validação, embora com frequência seja inevitável por falta de dados de chuva, e particularmente de vazão. Uma alternativa seria calibrar os modelos para alguma bacia semelhante, e realizar a transposição de parâmetros. Tanto nesse caso, como na usual de ausência de quaisquer dados, deve-se usar a calibração qualitativa (Cunge, 1980). Essa técnica consiste em comparar os resultados das simulações com a localização e grandeza aparente dos alagamentos que ocorrem na bacia, assim como outros fenômenos tais como condições de escoamento em canais abertos, água saindo de poços de visita ou bocas de lobo, etc.. Esse procedimento é mais fácil de usar com tormentas de baixa recorrência, 1 ou 2 anos, já que essas são lembradas com mais facilidade pela população. Outra alternativa são as cheias históricas de grande impacto e são melhor identificadas pela população, desde que se disponha dos registros de chuva.

As informações da prefeitura sobre problemas causados pelos alagamentos são muito valiosas nesse sentido; usualmente os profissionais da área de drenagem pluvial é capaz de fazer um mapeamento pelo menos razoável dos locais e frequência dos alagamentos. Outra fonte interessante de informações são as autoridades de trânsito, já que a circulação de veículos é afetada pelos

alagamentos.

Chuva de projeto: O método mais comum é o dos blocos alternados, a partir de curvas intensidade-duração-freqüência. As outras alternativas são o hietograma triangular do SCS, muito semelhante ao anterior, ou métodos baseados na distribuição temporal das chuvas da região em estudo, como Huff ou Pilgrim e Cordery.

Quanto à duração da chuva, deve-se adotar como referência o tempo de concentração de toda a bacia, e não das sub-bacias em que ela foi dividida. Uma duração entre 1,5 e 2 vezes o tempo de concentração é aconselhável. Cabe lembrar que as medidas de controle como reservatórios de detenção são usualmente previstas; e para seu cálculo o volume escoado é tão importante quanto a vazão de pico. Mesmo no cálculo de medidas em pequena escala (e. g. reservatórios de lote), deve, no mínimo, ser feita uma verificação para chuvas de longa duração.

Deve-se destacar que utilizando a chuva de projeto e um modelo *chuva-vazão* (situação usual por falta de dados de vazão), o risco da vazão obtida não é necessariamente o mesmo da precipitação. Portanto, o risco relacionado é o da precipitação e não da vazão.

Chuva efetiva: A transformação *chuva-vazão* tem duas componentes, a determinação da precipitação efetiva (parcela da chuva que se transforma em escoamento); e a propagação dessa água até a entrada na rede de macrodrenagem. Para a representação do primeiro fenômeno as alternativas mais freqüentes são:

- método da curva número do SCS (CN): é um parâmetro extensamente tabulado, o que facilita a estimativa, e podem ser construídas relações com a área impermeável
- curva de infiltração (Horton, Philips, etc.), combinada com estimativas da área impermeável

O coeficiente de escoamento, embora comum e muito tabelado, tem o inconveniente de não levar em conta a variação temporal da chuva, e não é adequado para cálculo de volumes. Além disso, o coeficiente de escoamento (e o método racional) são aplicáveis a áreas pequenas; embora as bacias elementares utilizadas na elaboração do plano sejam da ordem de 0,5 a 1 km², as bacias sobre as quais se trabalha são maiores.

As metodologias de separação de escoamento tomam como referência, para determinação dos parâmetros, o tipo de solo. Em áreas urbanizadas ou em processo de urbanização, a camada superior do solo é removida, coberta ou muito alterada. Portanto, deve-se ter muito cuidado ao utilizar mapas de solos, que normalmente descrevem somente a situação natural de pré-urbanização. Neste caso a estimativa da área impermeável é fundamental.

Campana e Tucci (1999) apresentaram uma curva que relaciona a

densidade habitacional e a área impermeável de uma bacia com base em dados de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre. Esta curva permite estudar cenários futuros de ocupação urbana, já que a densidade habitacional é utilizada como indicativo de Planejamento Urbano.

Escoamento Superficial: Uma vez calculado quanto da chuva se transforma em escoamento, essa água deve ser propagada até sua entrada na rede de macrodrenagem. Existem na literatura diversos métodos para esse cálculo. Os métodos podem depender da disponibilidade de dados como Clark, Nash, Onda Cinemática, entre outros métodos conceituais lineares e não-lineares (Tucci, 1998) e; os métodos baseados no hidrograma sintético (lineares).

Os hidrogramas unitários sintéticos, como Snyder ou o triangular do SCS foram desenvolvidos em geral para áreas rurais, condição muito diferente da aplicação em uma área urbana. SCS (1975) adaptou para áreas urbanas. A regionalização de parâmetros destes modelos tem sido apresentada para vários locais, destacando-se Diaz e Tucci (1989) que regionalizaram o HU para bacias urbanas brasileiras.

Métodos como Clark e Nash são mais adequados, já que seus parâmetros podem ser estimados levando em conta as características da área simulada. Germano et al (1998) regionalizou os parâmetros do modelo Clark utilizado no IPH-II para bacias urbanas brasileiras.

O uso da onda cinemática dependem de um detalhamento muito grande do sistema físico que nem sempre é possível estabelecer. Além disso, a representatividade dependem das reais condições do escoamento e da escala de aplicação. Por exemplo, uma sarjeta poderia ser considerada como um canal triangular; mas na realidade costuma ter carros estacionados, assim como sacolas de lixo e outros objetos semelhantes, que fazem com que o escoamento pareça mais uma cascata de reservatórios que um canal. Por outro lado, quando a unidade de representação é um quarteirão ou mais, a definição da “rugosidade” ou a “declividade” de um conjunto de telhado, pátios, gramados, etc. considerados em conjunto requer um ajuste com dados observados.

Escoamento na rede de macrodrenagem: No escoamento de uma rede de macrodrenagem e das alternativas de controle, a interação (tanto física como operacional) entre as componentes da rede é fundamental. O desenvolvimento de alternativas eficientes de solução, e a *garantia* de seu adequado funcionamento dependem de levar em conta as interações existentes. Geralmente existem duas classes de modelos como citado anteriormente: modelos hidrológicos e hidrodinâmicos. O primeiro tipo de modelo é utilizado para a fase de estudo de alternativas e o segundo para verificação da alternativa escolhida e para cenários superiores ao de projeto. Alguns dos principais aspectos relacionados com os modelos de escoamento são destacados a seguir:

- Com o objetivo de representar mais fielmente o funcionamento da rede de drenagem, os modelos de rede usualmente limitam à

entrada do escoamento superficial nos condutos da rede, em função da capacidade do conduto e das condições de escoamento, tal qual acontece na realidade. A maioria dos modelos armazena o escoamento excedente, usualmente no ponto em que este chega à rede, para eventualmente liberá-lo depois, a medida que as condições nos condutos permitem o escoamento. A água que escoar para fora da rede por excesso de pressão é tratada de maneira semelhante, usualmente sendo acumulada no ponto de saída.

Na realidade essa é só uma das possibilidades, existem vários comportamentos possíveis. A água poderia escoar pelas ruas até algum outro ponto, e entrar na rede ou se acumular, ou continuar escoando para jusante, dependendo da topografia e das condições nos condutos em cada ponto, em cada instante de tempo.

Esse problema não é crítico nas simulações de projeto, já que a rede deve ser capaz de absorver em cada ponto a água que chega. Já nas simulações para calibração, quantitativa ou qualitativa, e simulações de diagnóstico em geral, é importante não confundir os pontos de insuficiência da rede com pontos onde acontecerá alagamento.

- a suposição implícita de que todo o escoamento gerado na bacia chega até a rede de macrodrenagem, ou seja, a microdrenagem funciona perfeitamente. Este tipo de consideração poder resultar em locais críticos que não registram alagamentos. Isso não é um erro, a insuficiência da rede realmente acontece, mas está sendo mascarada pelos condicionantes da microdrenagem.

Os casos mencionados acima mostram que a análise da simulação não pode se limitar aos resultados do modelo da rede de drenagem. É indispensável contemplar na análise ao comportamento da água na superfície da bacia, até ela chegar à macrodrenagem, e que a água faria em caso de não conseguir entrar na rede

Análise de alternativas: Na procura de alternativas de solução é fundamental a análise integrada da bacia. Isso permite levar em conta interações entre as componentes da rede de macrodrenagem e facilita a otimização da solução. As limitações das medidas de controle em uma região podem ser compensadas em outra, ou medidas de controle caras em uma região podem ser descartadas em favor de medidas mais baratas em outra região.

O critério da não ampliação da cheia natural para as medidas de controle é o princípio fundamental de um PDDU. No entanto, como no Brasil e na maioria de América Latina estes planos são desenvolvidos *a posteriori* da ocupação urbana a ampliação já ocorreu em grande parte da rede e somente em novos empreendimentos imobiliários é possível estabelecer o controle através de legislação municipal. Desta forma, na análise de alternativa o controle passa a ser de não transferir para jusante os condicionantes já existente, utilizando-se a capacidade instalada de drenagem, que de alguma forma é superior a capacidade

da bacia natural. Portanto, no estudo de alternativa o mais importante é a avaliação do conjunto de uma bacia onde as soluções internas evitam as inundações internas e mantém a vazão de projeto menor ou igual as condições existentes ao projeto.

Medidas de controle na fonte: Na definição das medidas de controle e avaliação de seus impactos, um caso que merece atenção especial é o das medidas de controle na fonte aplicadas a escala de lote, como micro-reservatórios de detenção ou superfícies de infiltração. As questões que devem dificultar essa avaliação são: (a) incerteza quanto a sua implantação e operação e manutenção; (b) qual seu impacto real sobre o escoamento, e qual a sustentabilidade temporal desse impacto.

A efetiva implementação de medidas de controle em escala de lote depende da instalação e adequado funcionamento de um número muito alto de componentes individuais. Esses componentes freqüentemente dependem dos moradores, e não do poder público, que fica limitado a exigir a instalação, e fiscalizar o funcionamento. Por comparação, no caso de medidas de controle que operam em escalas maiores (reservatórios em loteamentos, bairros, etc.) a implantação depende de decisões administrativas do poder público, elas são mais claramente individualizadas, e a responsabilidade pela sua operação e manutenção é bem definida.

À incerteza sobre a implementação e funcionamento deve-se somar a incerteza com relação ao impacto efetivo das medidas de controle na fonte. Em outras palavras, se elas forem adequadamente implementadas e operadas, como quantificar seu impacto real sobre a geração de escoamento. Não existe um monitoramento adequado avaliando este impacto a nível de bacia hidrográfica. Parece pouco provável que se consiga anular completamente o impacto da urbanização, já que dificilmente o controle na fonte consiga atingir 100 % da superfície da bacia (por exemplo, ruas e passeios). Além disso, algumas medidas, como as orientadas à infiltração podem ser bastante vulneráveis ao tempo.

As dúvidas mencionadas não devem impedir a adoção desse tipo de medidas. Sugerem, em cambio, dois enfoques: (a) não depender exclusivamente dessas medidas para gerenciamento da drenagem urbana; e (b) iniciar programas de monitoramento de médio e longo prazo, para obter dados que permitam adotar esse tipo de enfoque nas situações adequadas.

Reservatórios de detenção: Por se tratar de planejamento, não são apresentados elementos de projeto executivo das estruturas propostas. No caso dos reservatórios de detenção, isso não significa que ao definir a localização e estimar o volume necessário é suficiente, exceto quando as informações não permitem outra coisa, ou o estudo é muito preliminar. Além da estimativa do volume necessário, é necessário verificar a viabilidade do funcionamento. Isso significa verificar especialmente as condições de entrada e saída do reservatório, as cotas

de operação, e as estruturas hidráulicas. Pode acontecer a situação em que um reservatório tenha um volume adequado, mas não exista uma estrutura hidráulica que consiga o efeito desejado de amortecimento do hidrograma; ou exista o volume e as estruturas hidráulicas, mas as cotas não permitam o funcionamento adequado.

Dimensionamento de condutos e canais: A prática usual no Brasil é utilizar um coeficiente de rugosidade de Manning de 0,013 para o cálculo dos condutos e galerias. Esse valor é adequado para tubos de concreto novos, mas não é representativo das reais condições de funcionamento de condutos reais. Depois de poucos anos de funcionamento, as condições do tubo e das juntas começam a se deteriorar, e, mesmo em redes com boas condições de manutenção, é inevitável a presença de sedimentos e outros materiais que aumentam a resistência ao escoamento. Em função disso, um n de Manning de 0,015 ou 0,016 é bem mais adequado para simular as condições de funcionamento da rede de drenagem durante sua vida útil.

Outra questão a ser destacada é que, contra o recomendado em todos os manuais de drenagem urbano, as perdas de carga singulares (poços de visita, curvas, etc.) são costumeiramente ignoradas. Na simulação de uma rede de macrodrenagem isso pode ser justificado em função da escala de trabalho, mas deve ser compensado usando técnicas como comprimento equivalente, ou aumentando o n de Manning a valores da ordem de 0,02. Em cálculos de maior grau de detalhe, ou em projetos localizados as perdas singulares devem ser obrigatoriamente contempladas, e a linha de energia verificada.

Outra questão importante é que nem sempre é possível ou eficiente adotar o critério de escoamento a superfície livre.

Um fenômeno importante, quando são analisadas situações no qual o escoamento passa a ser sob pressão, é a diminuição na condutância hidráulica. Isto ocorre quando a água atinge o topo de um conduto, especialmente em condutos retangulares. Na figura 2 são apresentadas, como exemplo, curvas de K/K_{max} (condutância hidráulica dividida pela condutância hidráulica máxima do conduto), em função do tirante. Pode-se observar que um conduto circular começa a perder condutância quando a água passa de 94 % do diâmetro do conduto, e chega a perder 7 % de sua máxima capacidade. Num conduto retangular, a perda teoricamente não acontece até que a água atinge o topo do conduto, mas é bem maior, um conduto de 1 m X 1 m perde 17 % da sua capacidade, e um de 3 m de largura e 1 m de altura perde mais de 25 % de sua capacidade. Essa perda de condutância pode ser calculada, para um conduto retangular, pela equação:

$$\frac{K_{\text{pressão}}}{K_{\text{max}}} = \left[2 \left(\frac{B/H + 1}{B/H + 2} \right) \right]^{2/3}$$

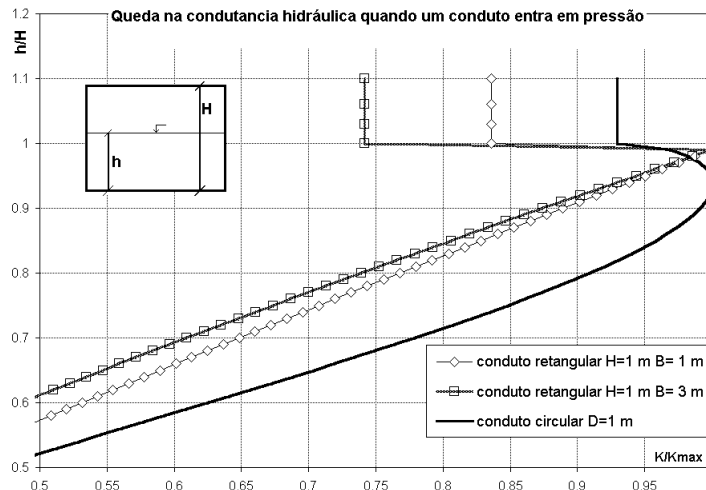


Figura 1: Queda na condutância hidráulica quando um conduto entra em pressão (fontexxxxxxx)

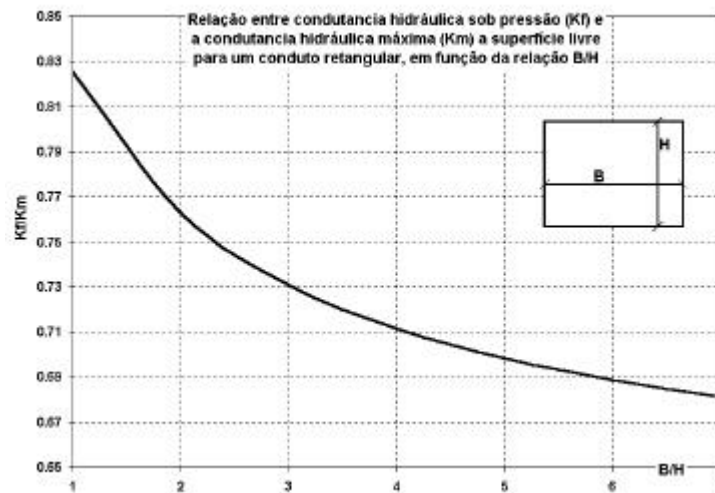


Figura 2: Relação entre a condutância hidráulica sob pressão e a condutância hidráulica máxima a superfície livre para um conduto retangular, em função das profundidades

Avaliação econômica de alternativas

Um dos principais elementos envolvidos na comparação de alternativas é o custo de implementação de cada uma de elas. Como se trata da etapa de planejamento, não são elaborados projetos detalhados das componentes de cada alternativa. As estimativas de custos devem então ser elaboradas a partir de definições esquemáticas das soluções. No caso das ampliações, duas são as situações mais frequentes: (a) é

possível definir no plano qual vai ser o traçado e as características (tamanho e forma do conduto) da ampliação; (b) pode-se *avaliar* que a ampliação é viável, mas a escolha de um traçado e de características requer trabalhos fora do escopo de planejamento.

No primeiro caso, o custo pode ser estimado mediante um cálculo que leve em conta as condições específicas de construção da ampliação; ou pode se adotar um custo por unidade de comprimento, a partir de tabelas, geralmente disponíveis nas prefeituras, de custo médio de construção em função do tamanho e tipo de conduto.

Na situação em que não é possível (ou *justificado*) definir o traçado e características da ampliação, uma possibilidade é elaborar, a partir da tabela de custo por unidade de comprimento, uma curva de custo em função da capacidade K (condutância hidráulica) adicional necessária. Na figura 4 é apresentada uma dessas curvas, utilizada no PDDRU de Caxias do Sul (IPH, 2001). Com essa metodologia, o trabalho na simulação de alternativas é simples, já que a ampliação é definida a partir do aumento da capacidade do conduto existente. Alguns condicionantes adicionais para a ampliação, como níveis de água máximos para evitar efeitos de remanso, ou condicionantes específicos em certos trechos ou locais, também podem, e na medida do possível devem, ser contemplados.

Na escolha de qual metodologia de cálculo de custo utilizar, deve ser levada em conta a importância da obra considerada dentro do plano, e seu peso no custo total.

Uma questão adicional que deve ser levada em conta na avaliação dos custos de cada alternativa é a transferência de impactos para jusante do sistema que está sendo estudado. Solucionar os problemas causados por essa transferência gera custos, que devem ser somados aos custos gerados dentro do sistema objeto do planejamento.

Estratégias para controle da qualidade da água

Uma das grandes dificuldades na avaliação e controle da qualidade da água no PDDU envolve a inexistência de rede de condutos cloacais, tornando provisório ou definitivo um sistema misto onde escoam esgoto cloacal e pluvial.

Considerando os seguintes cenários:

Existe sistema separador absoluto: Infelizmente pouco encontrado no Brasil, mas deveria ser a meta de todas as cidades. Neste caso, a estratégia dos sistemas de detenção são de possuir dois condicionantes de volumes: (a) o primeiro compartimento retém o volume da primeira parte da precipitação (~ 25 mm de chuva efetiva) por um período de pelo menos 24 horas na detenção. Esta parcela da precipitação contém 90% da carga do esgoto pluvial. A retenção por este período reduz a carga em pelo 60%; (b) o segundo compartimento é utilizado para controlar o restante do volume, sem preocupações com a qualidade e podem esvaziar rapidamente. Estes

compartimentos podem ser dimensionados de acordo com extravazor da detenção.

Não existe separados absoluto neste trecho da rede, mas o sistema de esgoto será construído: Neste cenário não é possível utilizar a detenção *on-line* na rede de drenagem, ou seja o esgoto cloacal não pode entrar na rede devido a contaminação. A detenção deve ser projetada *off-line*, recebendo água somente quando a rede pluvial não tem capacidade de transportar o escoamento. Nesta situação, tanto o esgoto cloacal como a primeira parte do pluvial escoam para jusante. Neste cenário o controle ocorre somente sobre a quantidade.

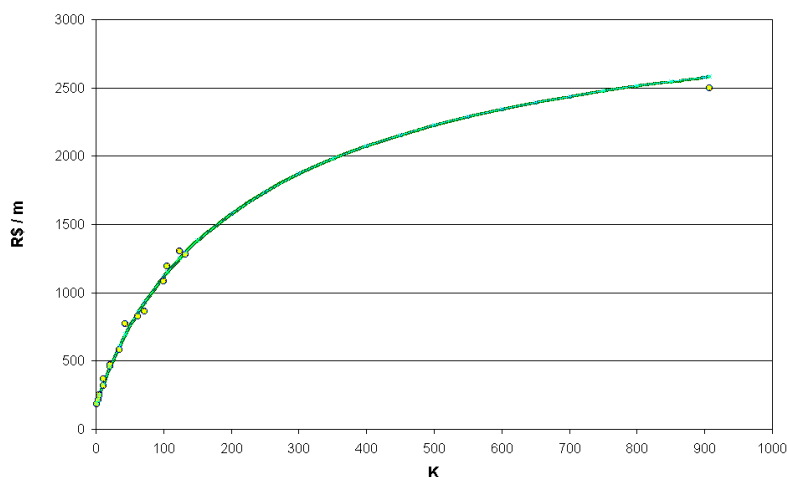


Figura 4: Curva custo médio de construção em função da condutância hidráulica (fonte:)

Não existe separador absoluto e a rede deve continuar mista: Neste cenário, que ocorre em algumas cidades de porte, dificilmente haverá recursos para transformar imediatamente o sistema. Desta forma a opção é a seguinte: (a) interceptar o esgoto cloacal e parte da primeira parte da precipitação efetiva que escoam no sistema existente antes de chegar ao sistema de macrodrenagem e enviar para a ETE (Estação de Tratamento de Esgoto); (b) o volume excedente, que possui melhor qualidade, é amortecido por detenções abertas na macrodrenagem.

Nesta alternativa poderão existir redes secundárias e mesmo primárias que inundam. Neste caso, a solução acima pode ser estendida para montante ou utilizados reservatórios enterrados. As limitações dos reservatórios enterrados para a nossa realidade são:

(a) dificuldade de manutenção; (b) custos geralmente sete vezes maiores que os reservatórios abertos.

Conclusão

O Plano Diretor de Drenagem Urbana ainda é uma prática pouco utilizada no Brasil, apesar da grande quantidade dos problemas e da tendência antiquada dos projetos executados na maioria das cidades. A mudança das práticas de projeto e gerenciamento depende do aumento de conhecimento das ferramentas e procedimentos viáveis dentro da realidade de países em desenvolvimento como o Brasil. Neste trabalho, foram apresentados de forma sintética um pouco da experiência obtida nos estudos de Planos de Diretores de algumas cidades. O aprimoramento e a transferência de conhecimento é essencial para que práticas sustentáveis sejam implementadas nas cidades brasileiras.

O desenvolvimento de um Plano nas suas diferentes etapas requer uma visão ampla da cidade e não somente da drenagem urbana. O planejador e o gerente de um projeto necessitam possuir uma visão interdisciplinar e não somente de engenharia de drenagem. Infelizmente a visão disciplinar tem sido a grande culpada da drenagem ineficiente que existe na quase totalidade das cidades do país.

O planejador deve ter em mente que preservar o ambiente dentro da cidade é possível, a alteração com canalização é um sacrilégio quando podem existir soluções sustentáveis. *Não é necessário construir um canal ou conduto para ser engenheiro, seguramente o melhor profissional será aquele que puder evitar estas obras.*

No planejamento existem várias ferramentas de simulação que cada mais se sofisticam no estudo das melhores soluções. O uso de modelos matemáticos de simulação nas diferentes fases de um plano permite obter soluções robustas, mas o mau uso destas ferramentas pode também levar a resultados absurdos com a falsa imagem de resultados confiáveis. O resultado mais confiável será sempre aquele baseado em dados observados. De nada adianta comprar ou obter um *software* para simulação se o usuário não conhecer as suas potencialidades, limitações e metodologia. Nenhum modelo será capaz de apresentar alternativas e obter resultados confiáveis se não houver conhecimento e experiência no seu usuário.

Referências