

GESTÃO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL: DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE

Vladimir Caramori Borges de Souza

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas - UFAL. (vcaramori@yahoo.com)

RESUMO

Os sistemas de drenagem urbana no Brasil ainda seguem um padrão baseado apenas em eficiência hidráulica de condutos, apesar de já haver um reconhecimento de que este tipo de abordagem não resolve os problemas no longo prazo; é apenas uma ação pontual e que age sobre os efeitos. Desta forma, os sistemas de drenagem continuam sendo concebidos, dimensionados e projetados para falhar. Apesar de haver grande avanço acadêmico no desenvolvimento de técnicas e abordagens mais integradoras, com foco na bacia hidrográfica e nos impactos da urbanização sobre os processos naturais, ainda não houve apropriação desse conhecimento na prática dos técnicos municipais e tomadores de decisão. Este artigo apresenta uma contextualização da drenagem urbana no Brasil, mostrando os avanços obtidos no conhecimento do problema e os desafios para avançar, também, na aplicação de novas técnicas e metodologias. Foram analisados trabalhos acadêmicos desenvolvidos nos principais centros brasileiros de pesquisa em drenagem urbana – com foco em modelagem de sistemas de drenagem e desenvolvimento de técnicas compensatórias em drenagem urbana –, os principais instrumentos da política urbana e o conhecimento prático de análise de alguns sistemas de drenagem em particular. Observa-se que as incertezas nos parâmetros utilizados em projeto e modelagem ainda são grandes e os manuais utilizados estão defasados, com ausência de metodologias e parâmetros simples para utilização das novas técnicas e abordagens de drenagem urbana e manejo de águas pluviais.

Palavras-chave: drenagem urbana, manejo de águas pluviais, déficit em drenagem, sustentabilidade na drenagem urbana

ABSTRACT

Although traditional drainage systems (based on hydraulic efficiency) limitations are well-known, Brazilian approach is still focused on punctual analyses on the effects and not on sources of flood problems. Hence, developments that consider simplifications on both conception and design, such as constant runoff coefficient (based on projected land use) and average time interval as risk analysis, are "designed to fail". Academic research have resulted in new approaches and drainage techniques, focused on catchment's hydrological processes changes. However, such approach has not been incorporated on municipalities' praxis. This paper presents the state-of-art on Brazilian stormwater drainage, including problems, advances and challenges related to introducing sustainable techniques on urban drainage landscape. Academic papers, Master Plans directives, approaches on flood control and main public policy instruments on sanitation were analyzed. It was observed that uncertainties on parameter definition when drainage systems are designed are still great and that drainage manuals are not up-to-date. Those manuals should include new solutions (techniques, methodologies and parameters for design and evaluation) to change current limited approach to drainage systems (based only on hydraulic efficiency).

Keywords: urban drainage, stormwater management, urban drainage deficit, sustainability in stormwater management

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as questões relacionadas aos limites da abordagem tradicional da drenagem urbana foram amplamente apresentadas, conforme destacado por Pompêo (2000) e Tucci (2007); e, atualmente, o foco está nas oportunidades de mudança nos padrões da drenagem e na busca de

soluções sustentáveis, como destacam Burns *et al.* (2012). Nos centros de ensino e pesquisa no Brasil, muito se discute sobre as relações entre a impermeabilização do solo e o aumento dos alagamentos urbanos (frequência, magnitude e tempo de resposta), a relação das inundações ribeirinhas com os riscos aos quais a população está sujeita e os prejuízos à sociedade, os aspectos de degradação

dos cursos d'água, entre outras questões. Da mesma forma, as soluções que estão disponíveis, para compensação dos efeitos da urbanização e/ou convivência com os processos naturais, estão no foco do debate acadêmico brasileiro há duas décadas.

Em vários aspectos da infraestrutura urbana brasileira, tem-se clareza de que há necessidade de mudança de paradigma: substituir a gestão da oferta (estágio atual da abordagem – solução tradicional) pela gestão da demanda (visando à sustentabilidade do sistema – abordagem alternativa ou compensatória). No transporte público, por exemplo, a gestão da oferta indica que a solução para os frequentes engarrafamentos é a ampliação de vias; no abastecimento de água, a busca de novos mananciais, quando os que estão em uso se esgotam (em quantidade e/ou qualidade). A frequente analogia com o setor de transportes indica que, na drenagem pluvial, a solução é a ampliação dos condutos e aumento da eficiência hidráulica, com vistas a acelerar o escoamento.

A prática de engenharia e a própria sociedade, ainda, pouco questionam a possibilidade de gestão da demanda. Para discutir os mesmos exemplos, no transporte público, a gestão da demanda por vias pode significar uma mudança de modais de transporte, com estímulo a alternativas coletivas (eficientes e de boa qualidade), o uso de ciclovias etc.; no abastecimento de água, a redução de perdas, a racionalização de consumo, o reúso de água, a reciclagem de água, o uso de fontes não convencionais (águas de chuva), entre outras. Na drenagem urbana e *manejo de águas pluviais*, para já inserir na discussão a terminologia apresentada na Lei do Saneamento (BRASIL, 2007), a gestão da demanda significa a compensação dos efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico.

Nesse sentido, modifica-se a discussão da gestão da oferta (ou gestão dos canais) para a gestão da demanda (ou gestão da bacia hidrográfica urbana). Evidentemente, essa nova abordagem é mais complexa, porque envolve outros fatores como o planejamento do uso e ocupação do solo ou o planejamento e gestão da própria cidade. A complexidade aumenta quando são inseridos os elementos de análise ambiental e a abordagem deixa de ser apenas de *técnica de engenharia* e ganha nova dimensão com a integração do ambiente e das funções socioambientais a ele inerentes (também no contexto de uma nova engenharia relacionada à drenagem e manejo de águas pluviais urbanas).

Na academia, essas relações estão claramente identificadas, ainda que nem sempre bem

compreendidas, mas ainda temos dificuldade em incorporar essa nova abordagem à prática dos técnicos e gestores públicos. Muito se fala em integração do conhecimento, em *gestão integrada* (de bacias hidrográficas), mas as ações continuam fragmentadas, mostrando um quadro de evidente fragilidade institucional para tratamento da questão.

Os conceitos evoluíram, mas não foram incorporados na prática. Nesse contexto, esse artigo apresenta e discute os aspectos centrais na abordagem da *drenagem e manejo de águas pluviais* no Brasil, os avanços e os desafios no tratamento da questão, relacionados aos aspectos técnico-científicos, institucionais e legais. Destaca-se que o conceito da sustentabilidade em drenagem urbana e manejo de águas pluviais não está bem estabelecido, mas os limites da abordagem tradicional sim. Desta forma, este artigo traz, ao longo da discussão, aspectos que podem contribuir para a sustentabilidade (no caso de uma nova abordagem) ou que, definitivamente, a limitam (no caso da abordagem tradicional).

A drenagem urbana no Brasil

Os sistemas de drenagem urbana no Brasil sempre se basearam na busca do sistema hidráulicamente mais eficiente. Focado em uma visão higienista, a noção do saneamento (no sentido de tornar o ambiente são) representa a necessidade de “sempre drenar”, criando estruturas de micro e macrodrenagem para conduzir a água para fora das cidades.

Esta abordagem resulta no próprio conceito de sistema de drenagem urbana adotado no Brasil, presente na maioria dos manuais de drenagem urbana: conjunto de elementos destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escorrem sobre sua superfície, conduzindo-as a um destino final. Como destaca Botelho (1998), os sistemas de drenagem pluvial devem ser dimensionados com base na máxima “pegar e largar depressa”, ou seja, recolher as águas da chuva e conduzi-las rapidamente para jusante. Em uma visão simplista, o problema é apenas de calcular vazões e dimensionar os condutos e galerias para transportá-las.

O resultado dessa abordagem é um descolamento entre o planejamento das cidades e o desenvolvimento (sustentável) dos sistemas de drenagem: com raras exceções, a cidade ignorou os cursos d'água na ocupação do espaço, ocupando áreas de várzeas naturalmente alagadiças e deixou para a técnica de drenagem resolver

(hidraulicamente) os problemas de alagamentos e inundações urbanas.

Ao observar o desenho atual das cidades, quase não é possível visualizar cursos d'água; normalmente, eles estão enterrados sob as ruas. Conforme apresentado por Borsagli (2011), em uma análise da cartografia histórica de Belo Horizonte, os córregos vão sendo excluídos da paisagem progressivamente. O córrego Leitão, por exemplo, que cruza o centro da cidade, passou por várias etapas – retificação, canalização, ampliação, recobrimento –, conforme mostrado na Figura 1, tendo sido canalizado em seção aberta, no final dos anos 1920, e nos anos 1970, em seção fechada. Apesar de as obras de canalização e ampliação terem o objetivo de resolver problemas de alagamentos do córrego, os anos 1990 e 2000 foram marcados pelo retorno dos alagamentos (BORSAGLI, 2012).

A situação se repete na maioria das cidades brasileiras. Mesmo com as ampliações, os sistemas continuam falhando e os custos de novas ampliações são, progressivamente, maiores. Por exemplo, em 2006, o Governo de São Paulo inaugurou a obra de rebaixamento da calha do rio Tietê a um custo de cerca de R\$ 1,1 bilhão (FOLHA ONLINE, 2006).

O redesenho da drenagem ocorre por duas razões principais. A primeira – e, talvez, a mais relevante nas decisões – devido ao aumento permanente das vazões produzidas a montante, em função do aumento da impermeabilização do solo. A segunda, em função da degradação da qualidade da água dos rios, criando uma condição de desconforto. A canalização tem, portanto, a motivação de resolver (ainda que pontualmente no tempo e no espaço) um problema de alagamento e de esconder um estado de degradação do ambiente, cuja solução integral é mais complexa.

Alguns autores, como Chebbo *et al.* (2001) na França, Ide (1984), Neves e Tucci (2011) e Pimentel (2009) no Brasil, entre outros, apresentaram estudos para avaliação da qualidade das águas no sistema de drenagem pluvial. Nesses trabalhos, fica evidente a relação entre o sistema de drenagem de águas pluviais e os outros componentes do saneamento básico, com destaque para a presença significativa de resíduos sólidos, que exerce papel importante no mau funcionamento das redes de drenagem, e para o esgotamento sanitário, cuja mistura nos corpos d'água urbanos provoca a degradação das águas e cria um importante argumento para sua canalização.

Figura 1 - Canalização do Córrego Leitão em Belo Horizonte, no final dos anos 1920 (a) e nos anos 1970 (b)
Fonte: Arquivo Público Mineiro (a) e Arquivo Público da Cidade de Belo Horizonte (b) *apud* Borsagli (2011).



Em função do alto grau de degradação dos rios urbanos, decorrente do lançamento de esgotos e lixo, da contaminação das águas de chuva pela lavagem das superfícies e da própria canalização, há um descolamento entre o ambiente natural (rio) e a cidade. Os cursos d'água passam a ser reconhecidos como canais de esgoto (e não mais como rios) e, conseqüentemente, qualquer intervenção de recobrimento não é mais reconhecida como impactante (impacto negativo). Carvalho e Braga (2009) destacam que não observar aspectos da dinâmica natural que poderiam ser mais facilmente resolvidos pela simples observância de instrumentos legais como o Código Florestal (Lei no 4.771/1965¹) é

¹ Tratar da Lei nº 4.771/1965 e não da Lei nº 12.651/2012 justifica-se pelo fato de estarem sendo abordados, neste ponto, aspectos pretéritos que levaram à condição atual.

decorrência do reconhecimento de que as cidades são espaços de negação da natureza.

As intervenções, frequentemente, são justificadas por argumentos do tipo “Como a intervenção é no próprio leito do rio, que está degradado, não tem impacto negativo, e sim positivo” (VIEIRA; BRITO, 2008). Destaca-se, no caso, que as promessas em obras de canalização são sempre de “resolver problemas de alagamentos”, conforme a reportagem citada. Trata-se, nesse caso, de um processo de “desumanização” do corpo d’água, em uma relação clara de utilitarismo dos canais urbanos (naturais ou artificiais) com a função única de *drenar*, não havendo qualquer relação com a sociedade ou com outras funções ambientais, com o ecossistema.

Mais recentemente, a percepção dos limites da abordagem tradicional tem levado a algumas mudanças importantes referentes à adoção de medidas não estruturais e, neste sentido, Belo Horizonte tem sido uma das cidades pioneiras em um novo tratamento da drenagem urbana. De forma complementar às medidas estruturais, uma alternativa para “convivência” (ou adaptação) com o problema de alagamentos tem sido utilizada a partir da elaboração da “Carta de inundações de Belo Horizonte” (BELO HORIZONTE, 2009), com base em modelagem hidráulica e hidrológica: informar a população sobre a possibilidade de ocorrência de alagamentos em determinados pontos, como mostra Figura 2. Esse instrumento, combinado com sistemas de monitoramento e alerta permitem adaptação ao risco – um dos novos conceitos na abordagem atual da drenagem e que vem sendo incorporado em algumas cidades.

Figura 2 - Placa indicando risco, com base na “Carta de inundações de Belo Horizonte” (BELO HORIZONTE, 2009)
Fonte: autoria própria.



Também nessa nova abordagem, algumas iniciativas de intervenção merecem destaque, como o Programa DRENURBS (em Belo Horizonte), Programa Córrego Limpo (em São Paulo) e Córrego Tijucu Preto (em São Carlos). Neste último, a intervenção, fruto de um projeto piloto, resultou na revitalização de um trecho do córrego, inicialmente canalizado, criando um espaço de parque linear, com recomposição de vegetação ciliar e criando espaço de convivência com a água. O Programa DRENURBS busca a intervenção de forma a inserir um ambiente de convivência com o curso d’água, por meio de parques lineares. Dois aspectos merecem destaque no DRENURBS: o primeiro é que a diretriz principal é de mínima intervenção nos cursos d’água que ainda não sofreram processo de canalização; e o segundo é a participação da comunidade local na concepção das intervenções e na manutenção do ambiente.

Drenagem urbana sustentável: da ideia ao conceito

O meio acadêmico brasileiro muito avançou no desenvolvimento de técnicas e abordagens inovadoras para a drenagem urbana, conforme descrito no item anterior. O conceito de Técnicas Compensatórias (BAPTISTA *et al.*, 2005), já amplamente utilizado no meio acadêmico, e das abordagens LID – Low Impact Development (2012), descritos em Souza, Cruz e Tucci (2012) e WSUD – Water Sensitive Urban Design (2012) ou SuDS – Sustainable Drainage Systems (2012)), mais recentemente sendo trabalhados, passaram também a ser cobrados no meio técnico.

Na tentativa de dar sustentabilidade à drenagem urbana, o Programa 1138 dos Ministérios da Integração Nacional e das Cidades – “Drenagem Urbana e Controle da Erosão Marítima e Fluvial: manual para apresentação de propostas”² (BRASIL, 2009; 2010) – incorporou grande parte dos conceitos presentes nas abordagens LID, especialmente aqueles vinculados ao planejamento integrado da bacia e das soluções adotadas. (Figura 3a)

O programa condiciona a utilização de recursos federais para intervenção em drenagem à observação de uma série de princípios e diretrizes reconhecidos hoje como necessários à sustentabilidade dos sistemas de drenagem. Tendo como preocupação inicial a necessidade de planejamento integrado da bacia, esses princípios valorizam, entre outros, a condição natural dos cursos d’água, estimulam a

² A versão do Programa 1138 datada de 2006 era intitulada “Programa 1138 – Drenagem Urbana Sustentável: manual para apresentação de propostas”

manutenção de áreas permeáveis, recomendam soluções que evitem transferência de impactos para jusante, priorizam projetos que valorizem soluções compensatórias (da urbanização), soluções múltiplas (incluindo controle à poluição difusa), integração através de áreas verdes e espaços de lazer. Dentre as intervenções previstas, destaca-se que, quando necessária, a canalização de cursos d'água deve sempre estar associada a obras e ações que recuperem os processos naturais alterados pela urbanização (medidas compensatórias) e as intervenções recomendadas para os canais devem promover o retardo do escoamento (através da redução de declividade, aumento de rugosidade, etc.).

Observa-se, nesse caso, que a ideia de sustentabilidade está razoavelmente presente, mas não há incorporação efetiva da ideia para a formação do conceito e a mudança de paradigmas no tratamento da drenagem. De um lado, estão os manuais de drenagem tradicionais (DAEE/CETESB, 1980; BOTELHO, 1998; dentre outros), focados em aumento de eficiência hidráulica (canalização, retificação, redução de rugosidade, ampliação). Do outro, a visão dos limites dos sistemas tradicionais de drenagem, bem representada no Programa 1138, com indicação de uma nova forma de tratamento da drenagem que promova a integração das soluções com foco nos processos hidrológicos urbanos (quantidade e qualidade). Entre essas abordagens, está a prática da ação pública, em que os próprios Ministérios continuam financiando obras sem observação dos princípios/diretrizes por eles definidos, os técnicos e gestores municipais não estão atualizados para promover os novos conceitos, e a própria estrutura institucional não fornece os meios para intervenção adequada em drenagem de acordo com os novos conceitos, conforme destacado por Pompêo (2000).

A dificuldade de incorporação da ideia para mudança de paradigmas no tratamento da drenagem está muito bem ilustrada na capa do caderno do Programa 1138 (Figura 3b): internamente, uma abordagem efetivamente sustentável, mas o conceito, ilustrado na capa, mostra apenas a solução tradicional, efetivamente incorporada no tratamento da questão.

Instrumentos legais: potencialidades e dificuldades na busca da drenagem urbana sustentável

Recentemente, o Brasil passou por um interessante debate sobre o Código Florestal. Ainda

que o foco tenha sido nas áreas rurais, a discussão provocou, também, reflexão em âmbito urbano; ao analisar os instrumentos da política urbana, identificam-se diversos elementos normativos que se relacionam com a drenagem:

- Lei 12.651/2012³ (NCF) – Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (revoga a Lei nº 4.771/65 [BRASIL, 1965]): apresenta o conceito de Áreas de Preservação Permanente (APP) como uma área protegida e com a *função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas*. Em zonas rurais ou urbanas (Art. 4º da Lei), a vegetação em Área de Preservação Permanente (APP) é protegida. Dentro desta definição, estão as faixas marginais de cursos d'água, as encostas de declividade igual ou superior a 45º, as bordas dos tabuleiros ou chapadas, os topos de morros, entre outras. Destaca-se que a Lei indica que os Municípios, através de seus Planos Municipais, devem definir regras específicas de restrição, respeitando-se os limites da Lei (BRASIL, 2012).
- Lei nº 6766/1979 – Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano: assim como o NCF, define restrições ao parcelamento do solo em margens de cursos d'água e encostas. Em alguns aspectos, é mais restritivo que o NCF (declividade de encostas), em outros menos (margens dos cursos d'água). Define, também, requisitos urbanísticos dos lotes e loteamentos, entre outros aspectos que têm reflexo no comportamento hidrológico urbano, em especial no que se refere à geração do escoamento superficial. A Lei é anterior ao NCF, mas ainda com relação ao Código Florestal (Lei nº 4.771/65, revogado), já havia divergências importantes nos limites e conceitos (BRASIL, 1979);
- Resolução CONAMA 369/2006 – Dispõe sobre excepcionalidade de intervenção em APP's (também anterior ao NCF). Ainda que o NCF já aborde a questão, esta resolução condiciona a intervenção em APP (no caso de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental) à observância de alguns aspectos, entre os quais se destacam: “a inexistência de risco de agravamento de processos como

³ A Lei nº 12.651/2012 revogou o Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771/1965) e, portanto, será tratada neste artigo como Novo Código Florestal (NCF), ainda que não seja essa sua definição.

enchentes, erosão ou movimentos acidentais de massa rochosa” (BRASIL, 2006, Art. 3º, Inciso IV).

- Lei nº 11.445/2007 – Define o escopo do Saneamento Básico, com diretrizes e princípios que devem nortear as políticas públicas em saneamento. Dois aspectos merecem destaque na Lei: o primeiro, trazer a drenagem urbana para o escopo do saneamento básico, incluindo a terminologia “manejo de águas pluviais”, o que, por si só, promove completa mudança de abordagem; e o segundo, trazer como princípio a adoção da bacia hidrográfica como unidade de referência para o planejamento das ações em saneamento. Apesar de parecer óbvio, o segundo aspecto não é observado nas intervenções urbanas, resultando em soluções pontuais e fragmentadas no contexto da bacia (BRASIL, 2007).
- Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano, Códigos de Obras e Códigos de Posturas – Trazem regras de ocupação do espaço urbano, com definição das áreas de estímulo ou de restrição à ocupação. São importantes para a drenagem porque a forma como a cidade ocupa o espaço tem impacto direto sobre os processos hidrológicos (e.g., privilegiar desenvolvimentos em solos menos impermeáveis (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012; LID, 2012).
- Planos Municipais de Saneamento Básico (ou Planos Municipais por componente do saneamento) – Ainda com pouca efetividade no contexto nacional (poucas cidades brasileiras já dispõem desses instrumentos), têm potencial para uma mudança de paradigmas, especialmente em relação à drenagem e manejo de águas pluviais.

Três aspectos merecem destaque em relação aos instrumentos apresentados e a sua dificuldade de articulação com as políticas públicas. O primeiro refere-se à desconexão entre os próprios instrumentos, com definições muitas vezes contraditórias. A Lei nº 6.766/1979, o Código Florestal e os Planos Diretores, por exemplo, têm definições diferentes sobre as mesmas restrições. A segunda é a percepção majoritária de que *a cidade é um espaço de negação da natureza*, e que, portanto, alguns instrumentos não se aplicam (como o Código Florestal). O terceiro refere-se à fragilidade (técnica) das instituições que tratam da drenagem urbana e a consequente dificuldade de avanço no tratamento das águas urbanas pela simples aplicação da Lei. Conforme destacado por Pompêo (2000), ações de fortalecimento institucional (fiscalização e capacitação técnica em especial) são inexistentes.

No primeiro aspecto, ainda que o antigo Código Florestal (Lei nº 4.771/1965) já transferisse para o município a responsabilidade de definir os limites de uso das APP's em Planos Municipais (respeitando os limites da Lei), sua observação efetiva nunca ocorreu devido ao reconhecimento de que o Código Florestal só teria validade em área rural, já que as áreas urbanas dispunham de instrumento próprio (Lei nº 6.766/79). Também no NCF, as Leis Municipais devem respeitar os limites definidos para as APPs, mas define-se um novo espaço de análise: as áreas urbanas (e rurais) *consolidadas*, onde há uma brecha para intervenção em APP.

No segundo e terceiro aspectos, há que se reconhecer a dificuldade de cumprimento pleno da legislação (em especial o NCF) em áreas urbanas. As ações de revitalização em curso d'água (cujo conceito será abordado mais adiante) passam a sofrer entraves importantes em relação à lei, no que se refere à recuperação das funções originais dos cursos d'água. Há, portanto, um problema conceitual: o NCF define APP como uma área com a função de *preservar* uma série de características do ambiente natural. Ora, como também definido em outras Leis (e não precisaria de Lei para defini-lo), as APP's não estão desconectadas das bacias hidrográficas que para elas contribuem e, portanto, não é possível simplesmente *preservar* localmente sem avaliar globalmente. Um curso d'água urbano tem seu comportamento natural modificado, especialmente em relação às vazões de pico, velocidades de escoamento e qualidade da água, e sua estrutura geomorfológica original não é capaz de comportar tal alteração. Desta forma, frequentemente, são necessárias intervenções nas calhas dos rios de

Figura 3 - Capa do caderno do Programa 1138: (a) Ministério das Cidades e (b) Ministério da Integração Nacional. Fonte: Brasil, 2009; 2010.



maneira a estabilizar suas margens, como forma de segurança pública em relação ao escoamento do rio. A questão que se coloca é o limite ou a razoabilidade desta intervenção (até mesmo em relação à Lei) e o tratamento que tem sido dado a ela.

O conceito de déficit e o uso de indicadores em drenagem

Diferentemente dos outros serviços de saneamento básico, não é possível analisar a drenagem urbana⁴ por indicadores baseados em atendimento *per capita* ou cobertura de rede. Souza, Moraes e Borja (2012) discutem, conceitualmente, as questões referentes ao funcionamento (e as falhas) nos sistemas de drenagem, argumentando que todo sistema de drenagem é feito para falhar. O significado desta afirmação refere-se à concepção, projeto/dimensionamento e operação, e o argumento se baseia em:

1. O projeto e dimensionamento das redes de drenagem são realizados considerando risco de falha (assumido pelo projetista) ao utilizar o conceito de Tempo de Retorno. Consequentemente, tais sistemas deverão falhar para eventos de tempo de recorrência superiores aos de projeto;
2. Incerteza nos parâmetros urbanísticos, hidrológicos e hidráulicos, sem efetiva observância das mudanças temporais na bacia hidrográfica contribuinte:
 - a. Utilizam-se curvas IDF obtidas a partir de análise estatística de dados de chuva, com alto grau de incerteza, especialmente para áreas distantes das grandes cidades. De fato, diversas cidades brasileiras ainda utilizam as equações de Pfafstetter (1957) para calcular as chuvas de projeto e poucas são aquelas que atualizaram suas curvas IDF. Destaca-se, ainda, que considerar estacionariedade das séries que representam os processos climáticos é uma simplificação importante com alto grau de incerteza;
 - b. O Coeficiente de Escoamento Superficial (C) representa um “instante” em que está sendo avaliado o sistema de drenagem. Seu valor aumenta com o aumento da impermeabilização do solo e não consegue,

em grande parte dos casos, retratar a real característica da bacia, uma vez que seu valor depende de outras variáveis, como das características da chuva, da declividade e rugosidade da bacia etc.. Ressalta-se, ainda, que as condições de uso e ocupação reais, normalmente, apresentam maiores taxas de impermeabilização do que aquelas de projeto, uma vez que os padrões de pós-ocupação diferem do previsto nos Planos Diretores;

- c. O cálculo do tempo de concentração da bacia (tc) é feito a partir de equações empíricas. Essas equações uniformizam o valor de tc a partir de alguns parâmetros que não retratam a maioria das situações urbanas (declividades, obstruções, rugosidades etc.). Nesse caso, destaca-se a equação de Kirpich, que foi desenvolvida para bacias rurais, mas que é comumente utilizada nas áreas urbanas⁵;
 - d. Os cenários de projeto são baseados em Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano (quando existentes), mas não há garantia efetiva de observação das restrições de uso e ocupação do solo. Verifica-se, frequentemente, impermeabilização quase total do espaço.
3. Interferências com outros sistemas urbanos:
 - a. Os sistemas de drenagem são dimensionados para transportar água de chuva, mas o que se observa é a presença significativa de esgotos, sedimentos e resíduos sólidos (alguns de grandes dimensões), cujo resultado é a obstrução ou o aumento da rugosidade das redes⁶;
 - b. Há grande interferência com outros elementos da infraestrutura urbana e de patologias das redes que modificam as condições de escoamento locais: presença de pilares, estrangulamentos de seção, cruzamentos com outras redes (água, esgotos, eletricidade etc.) que reduzem a capacidade de escoamento das galerias, conforme apresentado por Aguiar (2012).

Para discutir o conceito de *déficit* em drenagem e, posteriormente, os indicadores que podem apoiar a análise desses sistemas, acrescentam-se:

⁴ Neste artigo, serão usados apenas os nomes populares dos serviços de saneamento e não aqueles definidos na Lei nº 11.445/2007: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

⁵ Silveira (2001) apresenta um estudo sobre equações de tempo de concentração em áreas urbanas.

⁶ Neves e Tucci (2011) apresentam uma caracterização dos resíduos sólidos encontrados na rede de drenagem em Porto Alegre e a sua relação com os resíduos da varrição das ruas.

1. os alagamentos urbanos são gerados ou ampliados pela impermeabilização, tendo, portanto, relação direta com a cidade. Modificam-se, permanentemente, com a dinâmica da cidade, ou seja, com o aumento da ocupação urbana, das taxas de impermeabilização, com a rugosidade da superfície, com as características dos canais de drenagem etc.
2. nem sempre quem gera o alagamento sofre seus efeitos, uma vez que o aumento das vazões tem impacto à jusante de sua geração. Da mesma forma, nem sempre quem sofre com os alagamentos teve responsabilidade direta sobre a ampliação do escoamento superficial;
3. o processo de ampliação da cheia natural, provocado pela urbanização, pode ser controlado no próprio local de geração, através de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto e de medidas compensatórias dos efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico;
4. o espaço natural tem pontos (também naturais) de alagamentos e sua ocupação é garantia de falhas futuras no sistema de drenagem;
5. a abordagem tradicional, com base na eficiência hidráulica de redes, transfere impactos para jusante;
6. as informações necessárias para análise da drenagem, mas raramente disponíveis de forma satisfatória, envolvem dados sobre a infraestrutura urbana (cadastró urbano e de redes), dados hidrológicos e ambientais, instrumentos normativos, instrumentos de planejamento, entre outros;
7. as relações com outros elementos (pavimentação de vias, esgotos, sedimentos e resíduos) são fundamentais para o funcionamento dos sistemas de drenagem pluvial. Frequentemente, há falha local (alagamento) em função da obstrução das entradas na galeria (bocas de lobo) ou mesmo pela sua inexistência;
8. pela fragilidade institucional, tenta-se resolver os problemas pela edição de instrumentos legais e normativos mais restritivos, mas cuja eficácia é discutível se a avaliação técnica não permite a avaliação do sistema;
9. ações de convivência com as cheias (mapas de inundação, sistemas de monitoramento e alerta em tempo real, entre outros) não têm impacto sobre o funcionamento dos sistemas de drenagem (hidráulico), mas fazem parte dele e mudam a relação da população com a ocorrência de eventos extremos.

A dificuldade de representação da drenagem em índices e indicadores fica evidente quando são analisados os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) ou do IBGE referentes à prestação dos serviços de saneamento, pois não há informação sobre drenagem urbana ou, quando existente, essa informação não consegue retratar a dimensão do problema. Nesse sentido, Souza, Moraes e Borja (2012) discutem a abordagem conceitual sobre o *déficit* em drenagem urbana, mostrando a necessidade de ampliar a discussão para incorporar vários aspectos ao conceito: *déficit* de informação, *déficit* qualitativo (em relação à interferências com outras componentes do saneamento), *déficit* técnico-institucional (em relação à fragilidade das instituições para tratar a drenagem urbana), *déficit* de cobertura de rede, *déficit* na concepção da drenagem (em relação ao uso exclusivo de técnicas tradicionais), entre outros.

Algumas alternativas metodológicas de representação da drenagem urbana, tanto do ponto de vista da quantidade (volumes, vazões, frequência etc.) quanto de qualidade dos cursos d'água urbanos (poluição, degradação, cargas etc.), foram apresentadas por Holz *et al.* (2011), Pompêo *et al.* (2011), Giuntoli (2008), entre outros. Nesses trabalhos, buscou-se a obtenção de indicadores que representem o sistema como um todo e não apenas os pontos de falha, como uma forma de dar subsídios aos técnicos e gestores na tomada de decisão em relação às intervenções mais relevantes nos sistemas de drenagem.

Holz *et al.* (2011), por exemplo, apresentam uma metodologia de mapeamento do Índice de Risco de Alagamento, com base na frequência e magnitude de alagamentos observados na bacia, na população afetada (com base na densidade populacional) e no potencial de geração de escoamento superficial na bacia, considerando os parâmetros hidrológicos. Giuntoli (2008), também, trabalhou um mapa de risco de inundações, associando indicadores de exposição (presença de população em local de ocorrência de processos de alagamento), vulnerabilidade (estado de adaptação à ocorrência de eventos extremos) e ameaça (ocorrência de eventos extremos), mas incluiu um processo participativo de alimentação da informação, com base na percepção do usuário em relação ao risco. A metodologia de Pompêo *et al.* (2011), por outro lado, apresenta um protocolo de parâmetros e indicadores que permite avaliar o estado do curso d'água e o potencial de intervenção para sua revitalização.

Esses trabalhos mostram o potencial do uso de indicadores para avançar nos dois aspectos aqui apresentados: o conceito de *déficit* (que envolve uma série de elementos de caracterização da bacia, do sistema de drenagem e da própria falha no funcionamento dos sistemas de drenagem) e a indicação de prioridades de análise e intervenção nos pontos de falha, pela hierarquização do sistema em relação às suas características e ao seu funcionamento.

Em um trabalho com indicadores de desempenho para avaliar o funcionamento de sistemas de drenagem em países em desenvolvimento, Kolsky e Butler (2002) destacaram que a própria definição de *desempenho* não é simples; depende, inclusive, da identificação dos objetivos do sistema de drenagem (somente drenar ou tem outras funções de composição paisagística, manutenção de processos hidrológicos etc?⁷) e da forma como a comunidade percebe a melhoria da qualidade de vida promovida pelo sistema de drenagem. Os autores destacam, ainda, que os trabalhos de campo para levantamento de dados junto à população local é um dos meios interessantes para suprir a falta de informação, mas que requer cuidado especialmente na precisão e validação da informação. Os autores destacam que os principais desafios no uso de indicadores se referem a: (1) uso de indicadores que sejam válidos e precisos (na representação da informação); (2) facilidade de obtenção e análise e; (3) devem ser úteis para os gestores e técnicos que farão uso deles.

A pesquisa brasileira em drenagem e manejo de águas pluviais urbanas

A pesquisa brasileira em drenagem urbana e manejo de águas pluviais avançou desde o início da década de 1990, aproveitando o impulso dado internacionalmente pelo conceito de Best Management Practices (BMP), no final dos anos 1980, descrito em Urbonas e Stahre (1993). O uso de técnicas compensatórias em drenagem urbana⁸ teve início efetivo a partir da década de 1970, focado no amortecimento de vazões.

No final da década de 1980, novos dispositivos foram incorporados (associando o conceito de BMP's), tais como pavimentos permeáveis, trincheiras e valos de infiltração, *wetlands*, entre outros. O foco das BMP's, entretanto, era apenas nos dispositivos,

com alguma integração urbanística local, em diferentes escalas.

A partir dos anos 2000, a abordagem evoluiu para uma consideração mais abrangente da bacia e do impacto dos padrões urbanísticos nos processos hidrológicos. A drenagem não se faz mais apenas nos dispositivos de controle, mas também no desenho urbanístico, e suas relações com o ambiente natural, e nas funções naturais dos espaços, como as depressões, os cursos d'águas etc. Essa abordagem está incorporada nos conceitos de LID, descritos em Souza, Cruz e Tucci (2012) e WSUD (2012) ou SuDS (2012)⁹.

Os estudos brasileiros em drenagem urbana seguiram as seguintes frentes:

- dispositivos experimentais (trincheiras, poços e valos de infiltração, pavimentos permeáveis, biorretenção, microrreservatórios de detenção, telhados verdes, entre outros), cujo foco era o de analisar o comportamento individual, com as variáveis controladas, de forma a obter parâmetros de dimensionamento e funcionamento, avaliar métodos de dimensionamento, ciclo de vida e desempenho, custos de construção e manutenção, entre outros.
- modelagem numérica, em escala experimental (dos dispositivos estudados) e em escala de bacias. Buscou-se o desenvolvimento de modelos (ou a calibração e ajustes em modelos existentes) que permitissem a simulação dos processos hidrológicos urbanos e o transporte hidrodinâmico do escoamento nas redes de drenagem, com e sem o uso dos dispositivos compensatórios;
- qualidade da água nos sistemas de drenagem: buscou-se o estabelecimento de polutogramas, quantificação e caracterização de resíduos em redes de drenagem, considerando produção na bacia, efeitos de escalas na variação da qualidade da água, interferências dos resíduos no funcionamento hidráulico do sistema de drenagem, entre outros;
- desenvolvimento de indicadores para avaliação da drenagem: buscou-se a identificação de parâmetros de caracterização do sistema (rede de drenagem, cursos d'água, dispositivos compensatórios etc.) que permitissem avaliar o desempenho das soluções adotadas, o estado (de degradação, de salubridade) do sistema, o risco ou vulnerabilidade em relação aos alagamentos e inundações, o potencial de

⁷ Complemento nosso.

⁸ Para maiores informações conceituais sobre o tema, consultar Baptista *et al.* (2005).

⁹ Para maiores informações conceituais sobre LID, WSUD e SuDS, consultar LID (2012), WSUD (2012) e SuDS (2012), respectivamente.

recuperação frente a eventos extremos (resiliência), entre outros.

A pesquisa em drenagem evoluiu muito no Brasil, mas tem tido dificuldades em transferir o conhecimento para a prática. Em função dos avanços obtidos no conhecimento das bacias urbanas, o discurso atual no meio acadêmico é de mudança de paradigmas na ação em drenagem urbana, substituindo a técnica de drenagem tradicional (eficiência hidráulica de redes de drenagem) por uma abordagem mais integradora, que trate, por exemplo, da integração urbanística, da participação da sociedade na concepção e manutenção do sistema, entre outras questões. As experiências práticas de uso de técnicas compensatórias no Brasil são relativamente recentes e estão fortemente focadas no amortecimento de vazões através de reservatórios de detenção. Os exemplos mais marcantes são os “piscinões” de São Paulo, que tiveram grande expansão na década de 1990, como solução para resolver alagamentos de grandes proporções.

Nesse aspecto de integração, ganhou relevância acadêmica a discussão sobre intervenções em cursos d’água urbanos, associados à renaturalização, restauração, recuperação ou revitalização¹⁰. Nessa discussão, alguns conceitos (definidos em Lei) ganham relevo, tais como as APP’s. O papel de integração urbanística da drenagem fica evidente: ela compõe a paisagem, degradando ou valorizando.

As pesquisas atuais têm duas frentes principais, considerando ações urgentes e outras de médio e longo prazo:

- estabelecer parâmetros para uso de algumas técnicas compensatórias já estudadas (incluindo metodologias de dimensionamento, rotinas de manutenção, entre outras), e estudar outras para o mesmo fim;
- estabelecer formas de minimizar o estado atual de degradação das bacias urbanas com o conhecimento e as ferramentas atualmente disponíveis.

Observa-se, por exemplo, que o conhecimento para dimensionar e simular bacias de detenção já está bem estabelecido, assim como a importância das áreas livres para a redução da velocidade do escoamento. Entretanto, os efeitos de escala e de combinação de soluções individuais ainda carecem de exploração. Definir vazões de restrição para lançamento na drenagem (Porto Alegre, 2006, por

exemplo), parece contribuir para minimizar alagamentos, mas a própria definição precisa de revisão a partir de monitoramento e simulação de novas bacias sem ocupação, como apresentado por Burns *et al.* (2012).

No caso de Porto Alegre, além dos reservatórios de controle em escala regional (em relação à cidade), a municipalidade lançou mão de Decreto Municipal (PORTO ALEGRE, 2006) que limita o lançamento de vazões na rede de drenagem, como uma forma de obrigar o empreendedor a controlar o excedente de vazões geradas em seu espaço. Nesse caso específico, a restrição está associada a uma “vazão de pré-ocupação”, cujo conceito em si é vago e gera discussão, uma vez que “pré-ocupação” é uma condição não claramente estabelecida e abre margem para grande variação nos parâmetros de análise do escoamento. A solução adotada tem sido o estabelecimento de um limite fixo para as vazões lançadas.

Uma das questões que se coloca ao uso de reservatórios de detenção (controle de vazão de pico) de forma sistemática é que o seu efeito pode resolver um problema local, mas ampliar um problema em escalas maiores pela sua possibilidade de fazer coincidir picos de hidrogramas. Apesar de esse fato ser conceitualmente bem conhecido, não há estudos sistemáticos em escala de bacia para avaliar sua dimensão, e os reservatórios continuam sendo usados/recomendados, incondicionalmente, na tentativa de resolver problemas de alagamentos.

Nos últimos 20 anos, a pesquisa brasileira em drenagem se expandiu. Até meados dos anos 1990, esteve focada em três centros de pesquisa – IPH/UFRGS, EHR/UFMG e Poli/USP. Ganhou grande impulso com o programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, cujos principais resultados estão em Righetto (2009), e com a continuidade do projeto “Manejo de águas pluviais em meio urbano” – MAPLU2. Se, inicialmente, cada grupo desenvolvia seus trabalhos de pesquisa isoladamente, esses projetos permitiram a formação de uma rede que reúne as principais instituições de pesquisa em drenagem urbana no Brasil.

O projeto MAPLU2, desenvolvido entre 16 instituições (UFMG, UFAL, UFRGS, UFSM, UFSC, UERJ, UFRJ, FAU/USP, POLI/USP, EESC/USP, UFG, UnB, UFC, UFPE, UFRN, UFSCar), possibilita o compartilhamento do conhecimento para desenvolver esforços conjuntos de P&D, com objetivos que contemplam conhecimento e modelagem de processos e identificação de impactos (monitoramento e modelagem), desenvolvimento de

¹⁰ Para aprofundamento nesses conceitos, ver Costa (2008).

tecnologia de manejo e de instrumentos de gestão de águas pluviais, considerando os principais aspectos discutidos neste artigo.

A rede contempla contextos urbanos e climáticos típicos de todas as regiões geográficas brasileiras, à exceção da Região Norte, e tem o apoio financeiro da FINEP através da Chamada Pública MCT/MCIDADES / FINEP / Ação Transversal / SANEAMENTO AMBIENTAL e HABITAÇÃO - 7/2009. Tem como objetivo geral:

desenvolver soluções urbanísticas e ambientalmente adequadas de manejo de águas pluviais para a redução do impacto sobre

o hidrograma de enchentes, com especial atenção para a qualidade da água, o controle de vetores e a gestão de resíduos sólidos, em bacias experimentais urbanas (NASCIMENTO, 2012, p. 4).

No contexto do projeto, e considerando as principais frentes de pesquisa definidas acima, os trabalhos de pesquisa no Brasil podem ser agrupados segundo os centros de pesquisa conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais elementos pesquisados no Projeto MAPLU2

Foco da pesquisa	Elementos estudados	Abordagem
Monitoramento e modelagem quali-quantitativos	<ul style="list-style-type: none"> • Bacias experimentais urbanas • Modelagem quali-quantitativa 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação de bacias experimentais urbanas, com monitoramento de processos de quantidade e qualidade da água; Desenvolvimento, parametrização e aplicação de modelos a bacias urbanas para simulação dos processos de transformação chuva-vazão e mapeamento de alagamentos; • Desenvolvimento, parametrização e aplicação de modelos a dispositivos de técnicas compensatórias, em escala experimental e de bacia.
Técnicas compensatórias	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos de infiltração (trincheiras, poços, pavimentos permeáveis), retenção/detenção, telhados verdes, biorretenção 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento e adaptação de técnicas compensatórias, em escala experimental, considerando elementos de integração urbanística; • Obtenção de parâmetros para dimensionamento e análise • Avaliação de funcionamento, vida útil, custos de instalação e manutenção
Instrumentos de Gestão	<ul style="list-style-type: none"> • Análise dos instrumentos disponíveis para gestão de bacias; • Manuais de uso de técnicas compensatórias • Indicadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise dos instrumentos da política urbana que tem interferência na drenagem e a necessidade de ajustes, especialmente os Planos Municipais; • Desenvolvimento de manuais para uso de técnicas compensatórias, a partir dos parâmetros obtidos nos estudos específicos • Formação de equipe multidisciplinar para desenvolvimento de indicadores para uso em drenagem urbana que permitam avaliar o funcionamento do sistema e criar mecanismos de adaptação frente à ocorrência de eventos extremos.

Fonte: elaboração própria.

Desafios na gestão da drenagem urbana no Brasil

A percepção dos limites das soluções tradicionais é um dos passos mais importantes para avançar na gestão da drenagem urbana, mas não suficiente. A pesquisa brasileira tem avançado na adaptação e no desenvolvimento de soluções de drenagem mais integradas de um ponto de vista global: integração urbanística, com visão integral da bacia hidrográfica (efeitos nos processos hidrológicos e nas interações entre as soluções em diferentes escalas), o curso d'água como elemento urbano (e não canal de drenagem ou esgoto), os efeitos de quantidade e qualidade da água, entre outras questões. Entretanto, uma série de aspectos precisa avançar, podendo ser destacados:

- Transformar resultado de pesquisa em prática: o meio técnico-institucional também já percebeu os limites das soluções tradicionais, mas a ausência de manuais com as novas alternativas apresentando parâmetros e metodologias que possam ser facilmente incorporados dificulta sua aplicação;
- Fortalecimento técnico-institucional: para o tratamento adequado da drenagem (da concepção à intervenção), é necessário dar suporte aos órgãos municipais responsáveis pela drenagem pluvial, considerando:
 - base de informação: redes de monitoramento hidrológico e de qualidade da água, cadastro de redes etc.;
 - capacitação técnica para atuar dentro de uma nova concepção da drenagem urbana, com perfil multidisciplinar (projetistas, fiscais, executores, gestores);
 - desenvolvimento de uma base de informação para gestão, acessível e funcional: mapas de indicadores com prioridades de intervenção, mapas de risco, entre outros;
 - envolvimento da sociedade nos processos de concepção das soluções em drenagem, uma vez que esse sistema tem relação direta com o cidadão, seja em função dos problemas que provoca, seja em função do impacto visual;
- A incorporação de novas técnicas exige avaliação do seu funcionamento em longo prazo, desenvolvimento de rotinas de manutenção e monitoramento, avaliação de custos globais, entre outros. Essa questão é dificultada pela intermitência das pesquisas sobre as novas soluções no Brasil, geralmente vinculadas a um projeto com vigência de 2 a 3 anos ou a um trabalho de mestrado ou doutorado, sendo abandonadas após sua conclusão;
- As pesquisas acadêmicas têm pouca visibilidade e, raramente, são avaliadas em escala real: é importante criar unidades demonstrativas em escala real de utilização. Nessas unidades, podem ser avaliados aspectos que o dispositivo experimental não permite, como a relação diária com o público, aspectos de manutenção, integração urbanística, aceitabilidade das soluções, entre outros;
- A concepção, projeto e dimensionamento de estruturas de drenagem (convencionais e compensatórias) estão associados a incertezas (já descritas acima) que resultam, frequentemente, no desconhecimento efetivo do funcionamento dos sistemas. O monitoramento e modelagem em áreas urbanas são necessários para intervenção adequada;
- Ainda que se fale em soluções integradas, o tratamento da drenagem ainda ocorre de forma fragmentada, focada apenas nos aspectos quantitativos (volumes e vazões máximas). É necessário integrar, efetivamente, os aspectos urbanos, analisar as questões de qualidade da água (reconhecendo que a drenagem contribui, de maneira significativa, para a degradação das águas urbanas), a percepção da sociedade em relação às soluções de drenagem (atualmente, a percepção é de que os canais urbanos são esgotos a céu aberto e não rios), entre outros aspectos;
- Integração efetiva do conhecimento: os espaços de debate em associações técnico-científicas ainda são fragmentados. Para ilustrar, enquanto a ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental) discute as questões de qualidade da água, a ABRH (Associação Brasileira de Recursos Hídricos) discute as questões de quantidade. Apesar de a drenagem pluvial ser um elemento integrador, dificilmente há interação no debate, que deveria, também,

incluir arquitetos urbanistas, sociólogos, biólogos, entre outros profissionais.

CONCLUSÕES

O Brasil avançou nos últimos anos nas reflexões sobre sustentabilidade dos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, especialmente no meio acadêmico – de pesquisas em soluções técnicas e abordagens integradas ao planejamento urbano – e no contexto legal, com incorporação da drenagem no âmbito do saneamento básico. Entretanto, há uma grande dificuldade em traduzir o conhecimento acadêmico em prática de atuação na drenagem.

Devem-se considerar as oportunidades de avanço no tratamento da drenagem, com destaque para:

1. aproveitar o aprendizado de outros países no tratamento da drenagem, mas observando as peculiaridades brasileiras (em alguns aspectos regionais, entre os estados/municípios). Não é possível transferir as tecnologias e abordagens diretamente, sem a necessária adaptação;
2. os instrumentos da política urbana (em especial a Lei nº 11.445/2007, os Planos Municipais de Desenvolvimento Urbano e de Saneamento e o Programa 1138), que exigem a integração do conhecimento. A Lei nº 11.445 traz os quatro componentes do saneamento para o mesmo espaço de discussão, mas mostra também a importância de integrar outras áreas de conhecimento na discussão, em especial o urbanismo, presentes em diversos outros instrumentos;
3. os programas de governo, em especial o PAC (Programa de Aceleração do Crescimento), que favoreceram os investimentos em saneamento básico, ainda que com um viés (no caso da drenagem) no tratamento tradicional, sem mesmo observância de princípios e diretrizes definidas no âmbito dos Ministérios da Integração Nacional e das Cidades (BRASIL, 2009, 2010).

Há muitas lacunas a serem preenchidas para uma efetiva mudança de paradigmas no tratamento da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, seja do ponto de vista do avanço no conhecimento acadêmico-científico, seja do ponto de vista técnico-institucional. Destacam-se:

1. necessidade de ampliar o conhecimento sobre as relações das cidades com as águas

urbanas: monitoramento e modelagem para minimizar incertezas nos processos hidrológicos urbanos e nos parâmetros usados em projetos;

2. aumento do conhecimento sobre as relações de quantidade e qualidade nas águas urbanas e o próprio desenvolvimento do uso e ocupação do solo;
3. relações (e percepções) da sociedade com as soluções adotadas em drenagem urbana, em especial na questão da revitalização dos cursos d'água e/ou o tratamento de "cursos d'água urbanos", em substituição ao conceito de "canais urbanos" (relacionados apenas com drenagem e esgoto);
4. a integração dos instrumentos da política urbana, em especial os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano, os Planos Municipais de Saneamento Básico e as diversas Leis que interagem com as águas urbanas;
5. fortalecimento técnico-institucional, com atualização dos profissionais e gestores dos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais para as soluções com foco na sustentabilidade (e não apenas na eficiência hidráulica de redes de drenagem).
6. as possibilidades de intervenção em cursos d'água urbanos e a relação com a legislação (especialmente as APPs). É possível restaurar um curso d'água em área urbana consolidada? Quais são os limites deste tipo de intervenção?

Esse artigo não esgota o assunto, mas apresenta alguns aspectos que merecem reflexão em busca de sistemas de drenagem que sejam mais integrados ao ambiente urbano. Alguns elementos que não foram tratados, mas estão no foco de discussão são: modelos de transferência de risco hidrológico (modelos de seguros), adaptação e resiliência das cidades à ocorrência de eventos extremos, medidas de monitoramento em tempo real e alerta (como formas de adaptação ao risco), entre outras.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. E. *Estudos das características técnicas e operacionais das galerias de águas pluviais como subsídios para gestão patrimonial e estabelecimento de diretrizes para projetos de sistemas de drenagem urbana*. 2012. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-

Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2012.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BELO HORIZONTE. *Carta de Inundações de Belo Horizonte: identificação de áreas potencialmente susceptíveis*. Secretaria Municipal de Políticas Públicas: Superintendência de Desenvolvimento da Capital, 2009.

BORSAGLI, A. O Vale do Córrego do Leitão em Belo Horizonte: contribuições da cartografia para a compreensão da sua ocupação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA HISTÓRICA, 1., 2011, Paraty. *Anais...* Paraty: UFMG, 2011.

_____. A Avenida do Contorno: um exemplo das sucessivas modificações no traçado urbano de Belo Horizonte. *Curral Del Rey.com*, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://curraldelrei.blogspot.com.br/2010/09/avenida-do-contorno-um-exemplo-das.html>. Acesso em: 14 ago. 2012.

BOTELHO, M. H. C. *Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades*. 2.ed. São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda., 1998.

BRASIL. *Programa 1138 – Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial: Manual para apresentação de proposta*. Secretaria de Infraestrutura Hídrica: Ministério da Integração Nacional, 2009.

_____. *Programa 1138 – Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial: Manual para apresentação de propostas*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental: Ministério das Cidades, 2010.

_____. Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965. *Diário Oficial da União*, em 16 de setembro de 1965.

_____. Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. *Diário Oficial da União*, em 20 de dezembro de 1979.

_____. Resolução CONAMA 369 de 28 de março de 2006. *Diário Oficial da União*, em 29 de março de 2006.

_____. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. *Diário Oficial da União*, em 8 de janeiro de 2007 e retificado em 11 de janeiro de 2007.

_____. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. *Diário Oficial da União*, em 28 de maio de 2012.

BURNS, M. J. et al. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landscape and Urban Planning*. v. 105, p. 230-240, 2012.

CARVALHO, P. F.; BRAGA, R. *Da negação à reafirmação da natureza na cidade: o conceito de “renaturalização” como suporte à política urbana*. Grupo de Pesquisa Análise e Planejamento Territorial – GPAPT/UNESP, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/gpapt/gpapt.htm>. Acesso em: 10 nov. 2009.

CHEBBO, G. et al. Production and transport of urban wet weather pollution in combined sewer systems: the “Marais” experimental urban catchment in Paris. *Urban Water*. v. 3, Issues 1-2. p. 3-15, 2001.

COSTA, S. D. *Estudo da viabilidade de revitalização de curso d'água em área urbana: estudo de caso no Rio Córrego Grande em Florianópolis, Santa Catarina*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DAEE/CETESB. *Drenagem Urbana*. Manual de Projeto. 2ª Ed. São Paulo, 1980.

FOLHA ONLINE. Alckmin inaugura obra de rebaixamento da calha do Tietê. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 19/mar.2006. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u119538.shtml>. Acesso em: 17 ago. 2012.

GIUNTOLI, I. *Sistema Web-GIS participativo associado a indicadores de gestão descentralizada de risco de inundações*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008.

HOLZ, J.; PIMENTEL, I. M. C.; SOUZA, V. C. B. A method for rating flood-prone areas. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN

DRAINAGE, 12., 2011, Porto Alegre. *Proceedings...* Porto Alegre: IWA/ABRH, 2011.

IDE, C. N. *Qualidade da drenagem pluvial urbana*. 1984. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

KOLSKY, P.; BUTLER, D. Performance indicators for urban storm drainage in developing countries. *Urban Water*, v. 4, p. 137-144, 2002.

LID. *Low Impact Development Center*. Disponível em: <http://www.lowimpactdevelopment.org/>. Acesso em: 15 ago. 2012.

NASCIMENTO, N. O. (coord.). MAPLU2: Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano – Relatório Técnico Parcial n. 1. Chamadas Públicas MCT/FINEP/Ação Transversal Saneamento Ambiental e Habitação 07/2009 e 06/2010, Convênio n.o 01.10.0701.00. 2012.

NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M.. Composição de resíduos de varrição e resíduos carreados pela rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica urbana. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, v. 16, p. 331-336, 2011.

PFAFSTETTER, J. L. H. *Chuvvas Intensas no Brasil*. DNOS. Rio de Janeiro: DNOS, 1957.

PIMENTEL, I. M. C. *Avaliação quali-quantitativa do riacho Reginaldo e seus afluentes*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Pós-Graduação Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar., 2000.

POMPÊO, C. A.; RIGOTTI, J. A.; FREITAS FILHO, M. D. Urban stream condition assessment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 12., 2011, Porto Alegre. *Proceedings...* Porto Alegre: IWA/ABRH, 2011.

PORTO ALEGRE. Decreto N ° 15.371, de 17 de novembro de 2006. Regulamenta o controle da drenagem urbana. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2006.

RIGHETTO, A. M. (Coord.). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2001.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

SOUZA, V. C. B; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. Contribuição para a definição de déficit em drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS SERVIÇOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO, 16., 2012, Maringá. *Anais...* Maringá: ASSEMAE, 2012.

SUDS. *Sustainable Drainage Systems*. 2012. Disponível em: <http://www.ciria.com/suds/>. Acesso em: 15 ago. 2012.

TUCCI, C. E. M. *Inundações urbanas*. Porto Alegre: ABRH/Rhama, 2007. 389p.

URBONAS, B.; STAHERE, P., 1993. *Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 447p.

VIEIRA, A.; BRITO, G. Pista concretada vai cobrir rio da Centenário. *A Tarde*, Salvador, 18 jul. 2008. Disponível em: <http://atarde.uol.com.br/noticias/917383>. Acesso em: 17 ago.2012.

WSUD. *Water Sensitive Urban Design*. 2012. Disponível em: <http://wsud.melbournewater.com.au/>. Acesso em: 15 ago. 2012.