



Efeitos da urbanização e soluções sustentáveis para o sistema de drenagem

Priscila Pini Pereira¹ Alexandre Hitoshi Ito²

18 novembro 2017

Resumo – O crescimento urbano traz consequências aos ambientes naturais e modificados. O aumento de áreas impermeabilizadas pode ocasionar eventos de inundações e alagamentos, geralmente, devido à incapacidade dos sistemas de drenagem de conduzir todo o escoamento superficial oriundo das precipitações. Novas medidas têm sido adotadas para solucionar esses problemas, não com o intuito de aumentar a capacidade do sistema de drenagem, e sim com a intenção de amortecer parte do escoamento superficial e impedir que sua totalidade chegue simultaneamente às bocas-de-lobo e galerias pluviais. Essas medidas recebem diferentes nomenclaturas, como sistemas sustentáveis de drenagem urbana, desenvolvimento de baixo impacto (LID), medidas compensatórias, dentre outras. A presente pesquisa bibliográfica tem o objetivo de apresentar os principais efeitos da urbanização sob o sistema de drenagem urbana, as leis que norteiam a gestão das águas urbanas no Brasil e as principais medidas compensatórias que permitem a infiltração e/ou retenção de parte da água precipitada. Alguns desses sistemas são: pavimentos permeáveis, bacias de retenção e infiltração, telhados verdes, valas de infiltração, dentre outros.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Medidas compensatórias de drenagem urbana. Escoamento superficial. Inundações urbanas.

1. INTRODUÇÃO

Algumas práticas de saneamento básico sempre estiveram presentes nos aglomerados humanos, como a coleta de água para consumo em trechos do corpo hídrico à montante de locais onde era realizado o despejo de dejetos. A população se instalava nas proximidades dos rios, para utilizarem-nos como fonte de alimento, dessedentação e via de transporte. Porém a percepção da importância de ações sanitárias somente aflorou de forma significativa quando a

agricultura e a criação animal passaram a ser atividades cotidianas do homem, que abandonou o nomadismo e se tornou sedentário (BRASIL, 2015).

Baptista, Nascimento e Barraud (2005) afirmam que a implantação das cidades junto aos cursos d'água desempenhava também um papel militar, pois favorecia a defesa do sítio urbano. Dessa forma, algumas cidades como Paris foram implantadas em ilhas, ou em elevações junto a meandros ou penínsulas, como Lyon. Em contrapartida às vantagens de estar nas proximidades dos cursos

¹ priscilapereira@utfpr.edu.br, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Apucarana, Apucarana, Paraná, Brasil.

² alexandreito2@gmail.com, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.



d'águas, era frequente a ocorrência de inundações, principalmente onde habitavam a população ribeirinha. Os habitantes entendiam as inundações como “um preço a se pagar” pelas vantagens de se estar nas proximidades de corpos hídricos.

A urbanização crescente e desordenada, sem planejamento da infraestrutura necessária à drenagem urbana, foi realidade para a maioria das metrópoles brasileiras. Dessa forma, foi inevitável que junto com a urbanização, ocorresse o aumento de áreas impermeáveis em detrimento da redução de áreas para escoamento e infiltração da água de chuva (TUCCI, 2002; BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005; CANHOLI, 2005).

Durante o desenvolvimento urbano de algumas das principais cidades brasileiras, foram criadas ainda vias de fundo de vale, por meio da retificação e canalização de vários córregos, o que permitiu a construção de vias marginais sobre os antigos meandros. Assim, as várzeas que antes estavam sujeitas a alagamentos foram suprimidas, provocando, além da aceleração dos escoamentos, o aumento considerável dos picos de vazão e das inundações (CANHOLI, 2005).

Canholi (2005) cita ainda que essas vias de fundo de vale atraíram, ao longo do tempo, intensa ocupação, principalmente comercial. Com o aumento da população fez-se necessária a ampliação dos sistemas de drenagem existentes nestes locais, porém os altos custos envolvidos na implantação de obras hidráulicas de grande porte ou na desapropriação de áreas ribeirinhas impossibilitou a maioria das obras. Diante deste cenário, o estudo e aplicação de novas soluções estruturais para a adequação de sistemas existentes ganharam grande impulso.

Segundo Jacobson (2011), estudos sobre os impactos da urbanização se intensificaram na década de 1960, quando as áreas urbanas em cidades americanas e europeias começaram a expandir-se no período pós-guerra. Surgiram então algumas hipóteses: o escoamento superficial aumenta como resultado da urbanização e é proporcional à área que se torna

impermeável; a impermeabilização altera a taxa em que a água se infiltra no solo, diminuindo a recarga de água subterrânea, e diminui eventos de chuva de baixa intensidade (LEOPOLD, 1968 apud JACOBSON, 2011). Estudos ao longo das próximas décadas tendem a confirmar essa teoria convencional hidrológica.

As soluções propostas para adequação de sistemas de drenagem existentes são chamadas por muitos autores de técnicas compensatórias ou sistemas sustentáveis de drenagem urbana e seus principais objetivos são: promover o retardamento dos escoamentos, de forma a aumentar os tempos de concentração e reduzir as vazões máximas; amortecer os picos e reduzir os volumes de enchentes por meio de retenção em reservatórios; conter, tanto quanto possível, o escoamento no local da precipitação, pela melhoria nas condições de infiltração ou em tanques de contenção; e melhorar a qualidade da água coletada antes que seja disposta em um corpo hídrico. Esses são os principais objetivos da moderna drenagem urbana (TUCCI, 2002; CANHOLI, 2005; TUCCI, 2007; BRAUD et al., 2013; QIN; LI; FU, 2013).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 O conceito higienista

As práticas higienistas surgiram com o desenvolvimento das ciências e a descoberta de que diversas doenças podiam ser transmitidas pelo contato com águas servidas. Desta forma, as cidades passaram a evacuar rapidamente as águas pluviais e servidas para longe do contato humano, por meio de condutos, preferencialmente subterrâneos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005; CANHOLI, 2005; POLETO, 2011; BONTEMPO et al., 2012).

Os conceitos higienistas foram trazidos da Europa no século XIX. O movimento sanitário surgiu ao longo da década de 1840, como reação ao quadro caótico de insalubridade existente nas grandes cidades da Inglaterra e se disseminou pela Europa e pelos Estados Unidos. No Brasil, este conceito foi



introduzido por Oswaldo Cruz, no início do século XX, na capital federal da época, o Rio de Janeiro. Os resultados alcançados foram inquestionáveis em relação à saúde pública, no controle de epidemias, doenças infecciosas e na redução do índice de mortalidade infantil. Porém sua concepção atual precisa absorver a dimensão ambiental surgida nas últimas décadas (BONTEMPO et al., 2012).

Também no início do século XX, começou a prevalecer o sistema separador absoluto ou unitário, em que a drenagem pluvial é feita separadamente da rede de coleta de esgoto. Esta prática é utilizada até hoje no país, pois apresenta diversas vantagens em relação ao sistema combinado, como a construção de condutos menores e o tratamento de um volume menor nas estações de tratamento de esgoto. Esse sistema foi muito difundido no Brasil graças à atuação do engenheiro Francisco Saturnino Rodrigues de Brito (POLETO, 2011).

Uma das principais práticas higienistas é a canalização dos rios, com objetivo de afastar águas que carregam lixo, mau cheiro e poluição para locais distantes da cidade, especialmente das áreas centrais (BONTEMPO et al., 2012). Por vezes o objetivo é o de combater enchentes e inundações, porém pode produzir efeito contrário, pois a retificação dos cursos d'água direciona e conduz de forma mais intensa o excesso de água a jusante, devido à redução das curvas naturais (meandros) e consequente aumento da velocidade da água (TUCCI, 2007).

O custo de soluções de drenagem baseada em canalizações, seja de rios, ou condutos e galerias para drenagem secundária, chega a ser, em alguns casos, cerca de dez vezes maior que o custo de soluções que controlam na fonte a ampliação da vazão devido à urbanização (IPH, 2005).

Cruz e Tucci (2008) citam que os países desenvolvidos, desde a década de 70, perceberam que a canalização de rios era economicamente insustentável, e passaram a investir no amortecimento de escoamento, evitando a transferência de impactos à jusante. Esses países passaram a aplicar conceitos

de desenvolvimento sustentável com o uso e ocupação do solo que priorizassem a drenagem natural das águas e a infiltração.

Devido a estas práticas, nos países desenvolvidos os problemas relacionados às inundações estão em boa parte sanados, portanto a ênfase se encontra no controle da qualidade da água coletada (CANHOLI, 2005; TUCCI, 2007; TUCCI, 2008).

Segundo Bontempo et al. (2012), no Brasil os princípios higienistas ainda são a realidade para a maioria dos projetos de drenagem, que contemplam obras de engenharia com altos custos, ao invés de investimentos em técnicas compensatórias.

2.2 Gestão das águas urbanas

Na busca de melhorias nos serviços de saneamento básico, em 5 de janeiro de 2007, foi sancionada a Lei Federal nº 11.445, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Para os efeitos desta Lei, considera-se que saneamento básico é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais para abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

A Lei Federal nº 11.445/2007, ou Lei do Saneamento básico, descreve os serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas como: o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

A partir da criação desta Lei, inicia-se uma nova e desafiadora fase do saneamento no Brasil, onde o maior protagonista é o município, na condição de titular dos serviços de saneamento básico. Também no ano de 2007, foi criado o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), o qual promove a retomada dos investimentos para a execução de grandes obras de infraestrutura social, urbana, logística e energética do país, incluindo obras de saneamento básico



(BRASIL, 2013).

A Lei ainda prevê a elaboração dos Planos de Saneamento Básico para cada município, os quais devem ser compreendidos como uma ferramenta estratégica de planejamento para regulamentação dos serviços de saneamento básico, para o embasamento da tomada de decisões técnicas dos gestores quanto a este assunto.

O Plano de Saneamento é um instrumento também para obtenção de recursos financeiros. A liberação desses recursos está condicionada: ao alcance de índices mínimos de desempenho do prestador na gestão técnica, econômica e financeira dos serviços, e de eficiência e eficácia dos serviços, ao longo da vida útil do empreendimento; e de adequada operação e manutenção dos empreendimentos anteriormente financiados (BRASIL, 2013).

A Lei Federal nº 11.445/2007 prevê ainda a adoção da bacia hidrográfica como unidade de referência para planejamento de suas ações, esteja ela inserida em um ou vários municípios. Trata-se de um grande avanço, pois, anteriormente à criação da Lei, diversos autores como Canholi (2005) e Tucci (2007) já questionavam o planejamento urbano considerando apenas a área do município, independente do mesmo estar inserido em uma ou mais bacias hidrográficas, ou de vários municípios estarem inseridos em uma mesma bacia.

A bacia hidrográfica deve ser o domínio físico de avaliação dos impactos resultantes de novos empreendimentos, visto que a água não respeita limites políticos (IPH, 2005).

O gerenciamento do espaço urbano engloba, dentre outros, os serviços de drenagem urbana. O principal instrumento para este gerenciamento são os Planos Diretores de Urbanização (PDUs) ou de Uso do Solo Urbano. No Brasil, a Lei Federal Nº 10.257 de 2001, conhecida como Estatuto da Cidade, prevê a criação de PDU para todas as cidades com mais de vinte mil habitantes

O planejamento da drenagem urbana é recente no Brasil, por exemplo, com os Planos Diretores de

Drenagem Urbana (PDDrU). Cruz e Tucci (2008) descrevem este plano como parte de um diagnóstico do comportamento da drenagem urbana em cada unidade de análise, a bacia hidrográfica. O plano deve conter cenários de ocupação atual e futuro e propor medidas estruturais e não-estruturais de controle do escoamento como forma de eliminar os problemas detectados.

Alguns itens que devem constar nos PDDrU são: caracterização do desenvolvimento de um local; planejamento da drenagem urbana em etapas; vazões e volumes máximos para várias probabilidades de ocorrência (tempos de retorno); verificação da possibilidade de utilização de reservatório para amortecimento de cheias (critérios de dimensionamento, tamanhos, localização, condições de escoamento); medidas para melhorar a qualidade da água; e regulamentações pertinentes (IPH, 2005).

Os objetivos do Plano Diretor de Drenagem Urbana são, segundo Tucci (2002), criar mecanismos de gestão das águas pluviais e de rios na área urbana visando melhorias das condições de saúde e meio ambiente da cidade e evitar perdas econômicas.

Segundo IPH (2005), os principais produtos do Plano Diretor de Drenagem Urbana são: a regulamentação dos novos empreendimentos; planos de controle estrutural e não-estrutural para os impactos existentes nas bacias urbanas da cidade; e Manual de Drenagem Urbana.

A regulamentação consiste de um decreto municipal que estabeleça os critérios básicos para o desenvolvimento da drenagem urbana em novos empreendimentos na cidade. Desta forma, pretende-se evitar que sistemas de drenagem inadequados gerem impactos como o aumento da vazão de escoamento superficial devido à implantação de edificações e parcelamento do solo (IPH, 2005).

O Plano de Controle estabelece as alternativas de controle de cada bacia da cidade, reduzindo o risco de ocorrência de inundação. Por fim, o Manual de Drenagem representa o documento que orienta a execução de projetos de drenagem na cidade, ou seja,



um manual para orientar os profissionais que planejam e projetam a drenagem urbana, bem como as diretrizes para a ocupação de áreas ribeirinhas. O Manual orienta, mas não obriga a utilização dos critérios estabelecidos. Os únicos elementos limitantes são os da legislação pertinente. Cabe ao projetista desenvolver seus projetos dentro do conhecimento existente sobre o assunto (IPH, 2005).

Ainda assim este Manual se apresenta de grande importância para consulta de dados como equações de intensidade de chuvas, variáveis hidrológicas locais, elementos hidráulicos, dentre outros.

2.3 Impactos da urbanização no sistema de drenagem urbana

Diversos são os impactos da urbanização nas características das águas pluviais e no sistema de drenagem urbana. Alguns desses impactos podem ser citados como: alterações na qualidade das águas pluviais; redução na vazão de água subterrânea; aumento da velocidade da água; e ainda efeitos indiretos decorrentes da urbanização.

2.3.1 Qualidade das águas pluviais

As águas pluviais eram supostas relativamente limpas até recentemente, porém, elas podem apresentar cargas de poluição bastante expressivas (MOURA; BAPTISTA; BARRAUD, 2009).

O escoamento superficial acaba por “lavar” as ruas durante seu percurso, o que deteriora a qualidade tanto da água superficial, que carrega sedimentos até os corpos hídricos, quanto da água subterrânea, já que parte desta água pode infiltrar e contaminar os aquíferos. A qualidade da água pluvial pode não ser melhor que a do efluente de um tratamento secundário e a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial pode ser superior à encontrada no esgoto in natura, principalmente no início da chuva (IPH, 2005).

As ligações clandestinas de esgoto na rede pluvial contribuem para a poluição dos corpos hídricos. A carência de saneamento básico e de fiscalizações pode

transformar os córregos urbanos em condutores de esgoto a céu aberto, devido às ligações diretas de esgoto bruto nos corpos hídricos. Desta forma, além dos danos que acarretam ao tráfego, às residências e aos comércios, as inundações podem tornar-se vetores de doenças decorrentes do contato com a água contaminada, como a leptospirose, febre tifoide e hepatite (CANHOLI, 2005). Isso porque a carga orgânica presente nos esgotos acelera a proliferação de vetores, transmissores de doenças, e geralmente causa mau cheiro em todo o entorno dos fundos de vale.

Durante o desenvolvimento urbano, o aumento da produção de sedimentos da bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, dentre outros. A movimentação de volumes de terra pode deixar o solo exposto à erosão, aumentando a produção de sedimentos a serem carreados pelo vento e pela chuva. A deposição destes sedimentos em condutos e canais reduz a capacidade de escoamento, podendo aumentar a frequência de enchentes e os sedimentos transportados trazem consigo uma carga de poluentes que reduz a qualidade da água (TUCCI; COLLISCHONN, 2000).

2.3.2 Redução na vazão de água subterrânea

A infiltração de água no solo promove a recarga de água subterrânea, que está localizada em poros do solo e fraturas na rocha. Desconsiderando a água doce na forma de gelo, a água subterrânea corresponde a 99% da água doce do planeta, além do que seu uso é de especial interesse porque, em geral, exige menos tratamento antes do consumo do que a água superficial, em função de uma qualidade inicial melhor. Em regiões áridas e semiáridas, a água subterrânea pode ser o único recurso disponível para consumo (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Além da recarga subterrânea, a água no solo é importante para o crescimento da vegetação, pois é do solo que as raízes retiram a água necessária ao processo de transpiração. Trata-se também de um



reservatório que abastece as vias fluviais e zonas úmidas em períodos de estiagem.

2.3.3 Aumento da velocidade da água

Outro impacto hidrológico, consequência da urbanização, é o aumento da velocidade da água, quando da construção de sistemas de micro drenagem urbana, composta geralmente de sarjetas, bocas de lobo, condutores e galerias pluviais. A água passa a escoar em condutos ou superfícies lisas ao invés de superfícies naturalmente rugosas, como solos naturais. Isso faz com que o escoamento de toda a bacia chegue rapidamente aos corpos receptores.

Segundo Tucci (2007), quando são construídos condutos e canais e as superfícies são impermeabilizadas, pode ocorrer o aumento das vazões máximas em até sete vezes, além do aumento da sua frequência devido ao aumento do escoamento.

O aumento na velocidade da água, em que energia potencial é convertida em energia cinética, pode ainda causar erosão nos pontos de descarga e nos trechos à jusante do rio ou córrego (KNIGHTON, 1999 apud JACOBSON, 2011). Daí a necessidade de dissipadores de energia construídos nos pontos de descarga de águas pluviais, pois eles reduzem a velocidade da água e evitam erosão e modificações nas margens e no leito dos rios.

A erosão pode alterar a forma de um canal e de sua mata ciliar e, conseqüentemente, aumentar a magnitude nas inundações (WHITE e GREER, 2006 apud JACOBSON, 2011).

O aumento da velocidade do escoamento ocasiona a erosão do solo em alguns trechos do rio e posterior assoreamento em sessões onde há redução da velocidade (TUCCI, 2007).

2.3.4 Efeitos indiretos decorrentes da urbanização

Os impactos da expansão urbana podem conduzir a efeitos indiretos na bacia hidrográfica, como mudanças na resposta local de fenômenos atmosféricos, por exemplo, as precipitações e temperaturas, ou então mudanças no regime de

escoamento de água na bacia. Embora os efeitos da urbanização sobre a resposta hidrológica da bacia sejam conhecidos, os estudos que quantificam as mudanças no regime de escoamento devido ao aumento de áreas urbanas são limitados (CHU et al., 2013).

As superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar, o que aumenta a temperatura ambiente e produz ilhas de calor em partes da cidade, geralmente nos centros urbanos onde predomina o asfalto e o concreto (IPH, 2005). O asfalto absorve mais energia que as superfícies naturais, devido a sua cor. O concreto, à medida em que sua superfície envelhece, tende a escurecer e aumentar sua absorção de radiação solar.

A superfície que absorve mais radiação solar, emite radiação térmica de volta para o ambiente, gerando calor. O aumento de temperatura também cria condições de movimento de ar ascendente, o que pode aumentar a ocorrência de precipitações, em especial chuvas convectivas, que se formam do aquecimento de massas de ar que estão em contato direto com a superfície quente (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Este tipo de precipitação apresenta elevada intensidade e curta duração, ou seja, um grande volume de precipitação chega ao sistema de drenagem em pouco tempo, o que potencializa os problemas de drenagem quando o sistema é deficiente.

Ao longo das duas últimas décadas, os estudos mais recentes sobre os impactos da urbanização têm examinado um número crescente dos processos hidrológicos e geomorfológicas dentro de bacias hidrográficas urbanas e incluiu os efeitos indiretos, além de efeitos diretos, como mudanças de tempo de retorno e vazão dos corpos hídricos (JACOBSON, 2011).

Chu et al. (2013) pesquisaram como vários graus de mudança no uso do solo podem afetar as características do escoamento, para auxiliar na proposta de diretrizes ambientais no processo de desenvolvimento urbano. Com uso de análise



estatística, os resultados obtidos mostraram que eventos de menor vazão apresentaram uma redução geral em frequência com o aumento da porcentagem de área urbana.

Por exemplo, na área estudada por Chu et al. (2013), um aumento na área urbana de mais de 330% poderia diminuir a frequência de baixa vazão ($2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) para até 96%. Em contrapartida, a frequência de eventos médios e elevados de vazão aumentou à medida que a porcentagem de área urbana aumentou. O mesmo aumento de 330% ou mais na área urbana deve aumentar a frequência de acontecimentos de vazão variando de 15 a $25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de 32% para 91%. Eventos de alta vazão (27 a $52 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) aumentaram em frequência de 45% para 133%.

A mesma pesquisa mostrou que a mudança na frequência de eventos de inundações médias a cada T anos (período de retorno) também sofre um aumento geral conforme a área urbana aumenta. Para uma inundação média de 2 anos, que correspondia a uma magnitude de $25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, é esperado um aumento na frequência de 38% a 91% para um aumento em áreas urbanas de mais de 131%. Para se ter ideia de quão comum um evento desta magnitude é, a vazão média histórica do rio Grande em Brynesville, um dos trechos da bacia estudada, é de cerca de $26 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, que é um pouco maior do que uma inundação de 2 anos. A média de inundação para 50 e 100 anos se manifesta com um aumento na frequência de 13% a 103%. A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para diferentes períodos de retorno.

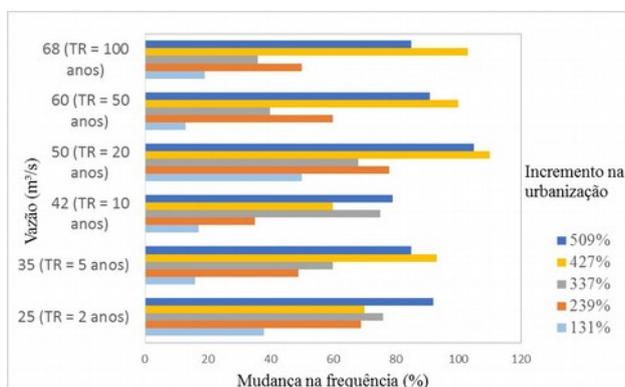


Figura 1 - Mudanças na frequência de eventos com diferentes tempos de retorno devido à variação nos graus de expansão urbana
Fonte: Adaptado de Chu et al. (2013)

Chu et al. (2013) concluem que a interpretação dos resultados obtidos exige cautela, pois a interação entre as mudanças climáticas e mudanças no uso do solo é uma projeção não linear e baseada em suposições. Porém salientam que a presença de 27 barragens na região estudada exige o monitoramento de alterações na bacia hidrográfica, pois alterações na magnitude de vazões pode resultar em eventos catastróficos, como inundações e deslizamentos de terra, além de impactos na carga de sedimentos do rio, o que pode reduzir a qualidade da água e, conseqüentemente, ameaçar o hábitat de organismos aquáticos.

2.4 Sistemas de drenagem urbana sustentáveis

Os sistemas de drenagem sustentáveis são aqueles que minimizam a perturbação aos processos naturais e sociais e os custos aos empreendedores e prestadores de serviço com manutenção e ampliação de sua infraestrutura. A filosofia consiste em minimizar a construção de sistemas artificiais que desempenhem as funções da natureza, com relação ao escoamento, infiltração e interceptação de águas (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

Tucci (2008) cita alguns exemplos de projetos sustentáveis, como: proteção dos mananciais; tratamento e reuso do esgoto; preservação do sistema natural de drenagem; ocupação em lotes menores, para conservação de maior área verde comum; ruas menos movimentadas que podem dispensar o meio-fio, integrando o asfalto a gramados ou outros sistemas naturais de vegetação para que toda a água infiltre.

Segundo Poletto (2011), o fato do Brasil ser um dos países com mais disponibilidade hídrica traz consigo uma grande responsabilidade com relação à preservação de suas bacias hidrográficas. O autor cita que é fundamental a aplicação de sistemas urbanos sustentáveis, principalmente em áreas intensamente urbanizadas, com o objetivo de favorecer o ciclo hidrológico, possibilitando a infiltração de águas pluviais e, conseqüentemente, reduzindo os processos erosivos causados pelo aumento do escoamento



superficial.

Algumas medidas para melhoria do sistema de drenagem ou para controle de inundações urbanas são chamadas medidas estruturais e não estruturais. Abordagens mais recentes incluíram o termo “Desenvolvimento de baixo impacto” (LID) para práticas que se assemelham à essas medidas.

2.4.1 Medidas estruturais e não estruturais

As medidas que visam minimizar os danos das inundações podem ser corretivas ou preventivas, e são adotadas de acordo com a situação do local onde se pretende instalar as mesmas. Elas podem ainda ser classificadas em medidas estruturais e não estruturais, em que essas se referem à implantação de obras e aquelas estão relacionadas à introdução de normas, regulamentos e programas que visem também a minimização dos danos decorrentes de inundações (CANHOLI, 2005).

No planejamento e controle dos sistemas de drenagem urbana, deve ser prevista uma combinação adequada entre medidas estruturais e não estruturais, visando critérios econômicos e ambientais. As soluções devem ser flexíveis e prever as eventuais necessidades de modificações futuras.

Entre as medidas estruturais, pode-se dizer ainda que se dividem em intensivas e extensivas. Algumas das medidas intensivas são: retardamento do fluxo com reservatórios (bacias de detenção/retenção); e ações individuais para tornar as edificações à prova de enchentes. As medidas extensivas correspondem aos pequenos armazenamentos disseminados na bacia, à recomposição de cobertura vegetal e ao controle de erosão do solo, ao longo da bacia de drenagem (CANHOLI, 2005).

A detenção de água de chuva é uma medida estrutural que pode ocorrer de diferentes formas, segundo as condições do local em questão. Pode ser realizada em cada lote, associada a pequenos reservatórios, em pavimentos e pisos permeáveis, ou então como áreas de lazer que permanecem secas nos períodos de estiagem e, nos períodos de chuva,

funcionam como grandes bacias de detenção. Outra vantagem da detenção é a melhoria da qualidade da água que infiltra, deixando de escoar superficialmente e carregar sedimentos e poluição difusa até os corpos hídricos. Um inconveniente desse “tratamento simplificado” é a redução do volume útil da bacia conforme ocorre a sedimentação, portanto devem ser realizadas limpezas periódicas e disposição dos sólidos em locais apropriado, por exemplo, aterros sanitários.

Dispositivos que realizam a contenção na fonte são, geralmente, de pequenas dimensões e localizados próximos aos locais onde os escoamentos são gerados. Por exemplo, pequenos reservatórios ligados aos condutores verticais que recebem a água coletada nos telhados e calhas. Esses reservatórios podem ter três destinações diferentes à água coletada: armazenamento temporário, liberando a água ao sistema de drenagem após o período de pico; armazenamento e utilização desta água, para rega de jardim, limpeza de calçadas e veículos, dentre outros; ou então infiltração da água no solo, com recarga do lençol freático.

Outras formas de detenção de água são: lagoas de infiltração, valas para percolação, pavimentos porosos, bacias de retenção e bacias de detenção. As lagoas de infiltração são projetadas para que haja um nível d'água permanente e volume de espera, o que facilita a infiltração pela dilatação do tempo de residência. As valas para percolação são escavadas e preenchidas com brita ou cascalho e, posteriormente, têm sua superfície reaterrada. O material granular reserva o escoamento enquanto a percolação ocorre lentamente para o subsolo (CANHOLI, 2005).

Pavimentos porosos são geralmente de concreto ou asfalto convencionais, dos quais foram retiradas as partículas mais finas. Podem ser construídos sobre camadas permeáveis, como bases de material granular, para auxiliar na passagem de água. As bacias de retenção são reservatórios que contêm um volume de água permanente para finalidades recreacionais, paisagísticas ou até para abastecimento de água. Em períodos de chuva, o nível de água se eleva. Já as bacias de detenção são áreas secas



durante as estiagens, mas projetadas para reter as águas superficiais durante e após as chuvas. A água retorna ao sistema principal por bombeamento ou válvulas controladas, após o alívio nos picos de vazão (CANHOLI, 2005).

Tucci (2007) e Canholi (2005) citam algumas medidas não estruturais, como: ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e lixo; seguro-enchente; e sistemas de alerta e previsão de inundações.

A delimitação de áreas sujeitas a inundações, em função do risco, garante um leito maior para o escoamento do rio em períodos de cheia. Zoneamento e regulamentação para construções são ferramentas do poder público que podem garantir uma área mínima permeável, e áreas que não devem ser edificadas. Quando essas soluções não forem suficientes, principalmente em locais onde já se constata problema com águas pluviais, pode-se desapropriar áreas destinando-as a praças, parques, estacionamentos e outros que possam amortecer o escoamento superficial em chuvas intensas.

Os sistemas de previsão e alerta são importantes para o isolamento das áreas de risco, podendo evitar perdas materiais, como móveis e veículos, e perdas sociais, como vítimas fatais. Os seguros-enchentes contribuem em especial nas perdas materiais, e podem ser calculados a partir da determinação dos riscos associados às cheias.

2.4.2 Desenvolvimento de baixo impacto (LID)

Para melhorar a capacidade dos sistemas de drenagem existentes, a prática tradicionalmente utilizada foi a expansão e modernização do sistema existente. No entanto, tem-se percebido que essa prática é insustentável, cara e até mesmo impraticável, particularmente em áreas densamente urbanizadas (QIN; LI; FU, 2013).

No final dos anos 90, a ciência passou a reconhecer o papel do solo e da vegetação no controle da qualidade e quantidade de águas pluviais, pois promovem a

infiltração, evapotranspiração e o contato da água com bactérias e plantas, que auxiliam no seu tratamento (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Desta forma, novas técnicas para gestão de águas pluviais avançaram, em especial a abordagem americana denominada *Low Impact Development* (Desenvolvimento de Baixo Impacto) ou LID. Siglas alternativas são SUDS para *Sustainable Urban Drainage Systems* (Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana), WSUD para *Water Sensitive Urban Design* (Projeto Inteligente de Água Urbanas) e LIUDD para *Low Impact Urban Design and Development* (Projeto e Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto), sendo este último termo mais usado na Nova Zelândia (ELLIOTT E TROWSDALE, 2007; QIN; LI; FU, 2013).

Os dispositivos LID incluem medidas estruturais, como lagoas para detenção e valas de infiltração, e medidas não-estruturais, como projetos alternativos de estradas e edifícios que minimizem a impermeabilidade e maximizem o uso de solos permeáveis e vegetação. As técnicas de LID enfatizam o controle no local em pequena escala de águas pluviais (ELLIOTT; TROWSDALE, 2007).

Poleto (2011) destaca as estruturas denominadas SUDS de maior utilização: pavimento permeável; pavimento semipermeável; reservatórios de detenção e retenção; trincheira de infiltração; vala de infiltração; poço de infiltração; micro reservatório; telhado reservatório; telhado verde; bacia subterrânea; e faixas gramadas. O autor cita ainda que tais sistemas podem ser empregados em conjunto ou separadamente, de acordo com o projeto proposto ou com as necessidades e realidades do local.

Para Souza, Cruz e Tucci (2012), a possibilidade de integração das estratégias de LID com outros setores de interesse da sociedade, por meio de planejamento da bacia e do empreendimento e aplicação de dispositivos de manejo integrado, é o grande diferencial dessas técnicas. Além do que, as práticas de LID apresentam perturbação mínima aos processos naturais.



Os mesmos autores citam que as práticas de LID já aplicadas no país têm apresentado bons resultados quanto à preservação de áreas, manutenção de processos hidrológicos, eficiência de tratamento de águas pluviais, redução de despesas em sistemas de drenagem, integração com outras atividades de interesse da sociedade e aceitação popular de medidas. Os autores citam que a adoção de algumas práticas de LID são necessárias para se atender a critérios estabelecidos em certificações ambientais para edificações.

O programa “Drenagem Urbana Sustentável”, criado pelo Ministério das Cidades em 2006, apoia municípios que utilizam técnicas LID na elaboração ou ampliação de seus sistemas de drenagem (BRASIL, 2006).

Para aumentar o incentivo ao uso de soluções de baixo impacto para controle de águas pluviais, podem ser criadas formas de taxaçoão ou punição para empreendimentos pouco efetivos nesse sentido, e bonificaçoões aos empreendimentos que forem bem-sucedidos em suas práticas.

Schlüter, Spitzer e Jefferies (2002) avaliaram o desempenho de alguns sistemas sustentáveis implantados na Escócia para melhoria da qualidade das águas pluviais: lagoas de detençaão em um condomínio habitacional, valas de infiltraçoão ao longo de uma rodovia e um estacionamento com pavimento poroso permeável. Os resultados para as lagoas de detençaão demonstraram remocaão do nitrogênio da água, com as melhores taxas durante os meses de verão; reduçoão do pH, que foi medido como 10,5 na entrada e chegou a valores mais neutros, próximos a 8, na saída; boa remocaão de sólidos suspensos; e reduçoão da turbidez da água.

As valas de infiltraçoão tiveram bom desempenho no amortecimento do escoamento da rodovia e no seu tratamento antes da descarga, com reduçoão dos sólidos suspensos e da turbidez da água. O sistema com pavimento poroso foi estudado para se conhecer o tempo de retardo gerado no escoamento, e os resultados mostraram uma diferença significativa

entre eventos de baixa e média intensidade de chuva. Para eventos de baixa intensidade o tempo ficou entre 127 e 143 minutos, em contraste com 42 a 47 minutos encontrados para quatro eventos de média intensidade (SCHLÜTER; SPITZER; JEFFERIES, 2002).

O desempenho de técnicas de LID tem sido estudado em laboratório, em projetos pilotos e em escala real no campo. Qin, Li, Fu (2013) tomaram uma área em urbanizaçoão na China para simulaçoão em modelo computacional dos efeitos de três projetos típicos de LID: valas de infiltraçoão e percolaçoão; pavimentos permeáveis e telhados verdes. Um dos objetivos foi investigar a reduçoão do volume de inundaçoão em eventos de chuvas intensas com diferentes volumes e duraçoões. O modelo US EPA *Storm Water Management Model* (SWMM) foi escolhido e as técnicas LID foram incorporadas a um sistema de drenagem convencional.

Os efeitos das técnicas LIDs sobre o volume de inundaçoão foram investigados pela comparaçoão do caso base (cenário 1), onde há apenas o sistema de drenagem convencional, com outros três cenários, onde são instaladas junto ao sistema valas, pavimento permeável e telhados verdes.

Alguns dos resultados obtidos por Qin, Li, Fu (2013) foram que a vala tem o menor impacto sobre a reduçoão de inundaçoão, embora tenha a melhor capacidade de armazenamento e a menor área de uso do solo. O pavimento permeável tem o maior impacto na reduçoão da inundaçoão na maioria dos eventos de chuva, devido à maior área de captura, embora tenha a menor capacidade de armazenamento. O telhado verde tem uma profundidade de armazenamento eficaz que é suficiente para armazenar todas as águas pluviais, na maioria dos eventos de chuva, e foi considerado o projeto mais eficaz para reduzir o volume de inundaçoão para todos os eventos de chuva de projeto considerados no estudo.

Para o bom aproveitamento das técnicas de desenvolvimento sustentável no país, é necessário que



haja adequações ao que se encontra na literatura, já que a maior parte dos estudos e aplicações foi realizada em países desenvolvidos e com clima temperado (POLETO, 2011). Isso sugere a implementação e monitoramento de estruturas no país, para conhecimento de seu desempenho e limitações para utilização.

A detenção de água de chuva na fonte, ou seja, nos lotes ou terrenos onde a precipitação incide diretamente, é muito utilizada nos EUA, onde vários Estados possuem leis bastante restritivas para o controle das enchentes em áreas a serem urbanizadas. Eles adotam o critério de manutenção das condições de pré-urbanização, onde a urbanização proposta não deve alterar o pico das vazões de cheia, resultando em impacto zero no sistema de drenagem. Para tanto, são incorporadas áreas de reservação aos projetos de paisagismo e recreação, com lagoas de detenção e quadras de esportes que são atingidas apenas pelas enchentes maiores (CANHOLI, 2005).

O termo impacto zero é questionável, pois quando se tratam de medidas estruturais, ainda que elas sejam instaladas de forma a minimizar os efeitos sobre o ambiente natural, provavelmente haverá consequências e o impacto provavelmente será diferente de zero. O impacto reduzido e minimizado nas instalações existentes já se mostra como um bom parâmetro a ser buscado para os novos empreendimentos e construções que venham a existir.

Para que esse critério seja utilizado, é necessário um levantamento das características locais, como vegetação, clima, topografia e hidrografia, para se constituir em uma base de referência. Desta forma, a ocupação do solo que ocorrer posteriormente poderá ser compensada com a implantação de medidas estruturais de baixo impacto.

Cruz, Souza e Tucci (2007) afirmam que este é um caminho para se preservar áreas especiais, avaliar o desempenho de medidas de controle, fiscalizar projetos de drenagem pluvial e estabelecer metas

hidrológicas. Os autores citam ainda que, juntamente, deve ser trabalhado um programa de capacitação geral, para que funcionários públicos, empreendedores e usuários conheçam as técnicas adotadas e a correta forma de utilização e manutenção.

Canholi (2005) conclui que o conceito de impacto zero, ou minimizado, enquanto critério para aprovação pelos órgãos competentes no Brasil, deveria ser aplicado para novas áreas a serem ocupadas, como loteamentos, condomínios e zonas industriais. Para tanto é necessário definir critérios para o dimensionamento hidráulica das bacias e conhecer a capacidade do sistema existente. Segundo o mesmo autor, podem ser estudadas também formas de compensação fiscal aos investimentos realizados pelos proprietários, visando, dentre outros, a detenção do volume pluvial e melhoria dos parâmetros de qualidade da água.

3. CONCLUSÃO

Os efeitos da urbanização sob o ciclo hidrológico ainda não são perfeitamente conhecidos, porém sabe-se que o aumento do escoamento superficial pode sobrecarregar os sistemas de drenagem urbana. A substituição de condutos e estruturas antigas por outras novas, com maior capacidade de escoamento, geralmente, não é a melhor solução.

Nova técnicas para drenagem urbana sustentável buscam o amortecimento do escoamento pluvial, a recarga de água subterrânea e melhoria da qualidade da água que chega aos cursos d'água. Essas medidas buscam interferir minimamente no ciclo hidrológico ao mesmo tempo em que não se opõem à urbanização e ocupação controlada do solo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e à Universidade Estadual de Maringá.



REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **DOU**, Brasília, 2001b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **DOU**, Brasília, 2007b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>.
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2006. **Programa Drenagem Urbana Sustentável**. Manual para apresentação de propostas. 23 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA)**: Planos municipais de saneamento básico, / org. Juliano Rodrigues Gimenez, Vania Elisabete Schneider e Sérgio Faoro Tieppo – Brasília, 2013. 366 p.
- BONTEMPO, Valdete Lima; OLIVIER, Cindy; MOREIRA, Carla Wstane de Souza; OLIVEIRA, Gabriel. Gestão de águas urbanas em Belo Horizonte: avanços e retrocessos. **REGA**, v. 9, n. 1, p. 5–16, 2012.
- CANHOLI, Aluísio. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- CHU, M. L.; KNOUFT, J. H.; GHULAM, A.; GUZMAN, J.A.; PAN, Z. Impacts of urbanization on river flow frequency: A controlled experimental modeling-based evaluation approach. **Journal of Hydrology**, v. 495, n. 1, p. 1–12, 2013.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.
- CRUZ, Marcus; SOUZA, Christopher Freire; TUCCI, Carlos. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XVII, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007.
- CRUZ, Marcus; TUCCI, Carlos. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 59–71, 2008.
- ELLIOT, A. H.; TROWSDALE, S. A. A review of models for low impact urban stormwater drainage. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, p. 394–405, 2007.
- IPH. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre: **Manual de Drenagem Urbana** – Vol. 6. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. 2002.
- JACOBSON, Carol. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 1, p. 1438–1448, 2011.
- POLETO, Cristiano. SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica. **Revista Thema**, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2011.
- QIN, H.; LI, Z.; FU, G. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. **Journal of Environmental Management**, v. 129, n.1, p. 577–585, 2013.
- SCHLÜTER, W.; SPITZER, A.; JEFFERIES, C. Performance of Three Sustainable Urban Drainage Systems in East Scotland. In: Global Solutions for Urban Drainage, 9, 2002, Portland. **Anais...** Portland: ASCE, 2002.
- SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9–18, 2012.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gerenciamento da drenagem urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5–27, 2002.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gestão integrada das águas urbanas. **REGA**, v. 5, n. 2, p. 71–81, 2008.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; COLLISCHONN, Walter. **Drenagem urbana e controle de erosão**. Arroio dilúvio: um futuro possível, UFRGS, 2000. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/arroiodiluvio/a-bacia-hidrografica/artigos/SED.PDF/view>>.



Effects of urbanization and sustainable solutions to the drainage system

Priscila Pini Pereira³ Alexandre Hitoshi Ito⁴

18 novembro 2017

Abstract – Urban growth brings consequences to natural and modified environments. The increase of waterproofed areas can cause flood events and flooding, usually due to the inability of drainage systems to drive all surface runoff from precipitation. New measures have been adopted to solve these problems, not with the intention of increasing the capacity of the drainage system, but with the intention of dampening part of the surface runoff and preventing its totality reaching simultaneously to the pluvial galleries. These measures receive different nomenclatures such as sustainable urban drainage systems (SUDS), low impact development (LID), compensatory measures etc. The present bibliographic research aims to present the main effects of urbanization under the urban drainage system, the laws governing urban water management in Brazil and the main compensatory measures that allow the infiltration and / or detention of part of the precipitated water. Some of these systems are permeable pavements, detention and retention basins, infiltration wells, green roofs, infiltration ditches, among others.

Keywords: Urban drainage. Sustainable urban drainage systems. Surface runoff. Urban floods.

Correspondência:

Priscila Pini Pereira

Rua Marçílio Dias, 635 - Jardim Paraiso, Apucarana, Paraná, Brasil, CEP: 86812-460

Recebido: 17/09/2017

Aprovado: 18/11/2017

Como citar: PEREIRA, Priscila Pini; ITO, Alexandre Hitoshi. Efeitos da urbanização e soluções sustentáveis para o sistema de drenagem. *Syn. scy. UTFPR*, Pato Branco, v. 12, n. 1, p. 183–195. 2017. ISSN 2316-4689 (Eletrônico). Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/synscy>>. Acesso em: DD mmm. AAAA.

DOI: "registro apenas quando a revista for depositada no portal do PERI"



Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença **Creative Commons** Atribuição 4.0 Internacional.

³ priscilapereira@utfpr.edu.br, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Apucarana, Apucarana, Paraná, Brasil.
⁴ alexandreito2@gmail.com, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.