

# Reaga

## Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil

Carlos E. M. Tucci

**RESUMO:** O desenvolvimento urbano tem levado as cidades da América Latina a um cenário de deteriorização da qualidade de vida e do impacto ambiental. Este processo ocorre devido a falta de controle do espaço urbano que produz efeito direto sobre a infra-estrutura de água: abastecimento, esgotamento sanitário, drenagem urbana e inundações ribeirinhas e resíduos sólidos.

As inundações urbanas são resultado do uso de solo de risco e/ou da ampliação das cheias na drenagem urbana devido a impermeabilização do solo. Praticamente não existe política de gestão destes problemas no Brasil e em muitos países da América Latina, e, quando existe, é equivocada. O artigo destaca os problemas, as políticas inadequadas e desenvolve os elementos fundamentais para uma política sustentável de gerenciamento das inundações baseada em mecanismos legais e econômicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gerenciamento, inundação, urbana.

**ABSTRACT:** Urban development of Latin American cities has been an unsustainable trend leading to deterioration of quality of life and increased environmental impact. This process is due to the lack of control on the urban land use which has a direct impact on urban waters facilities such as: water supply, waste control, urban drainage and flood plains and total solids.

Urban floods have been the result of flood plain occupation and/or increased impermeable surfaces and canalization of natural rivers. No management policy exists for these problems in Brazil and many Latin American countries, and when it does exist it is not appropriate. This paper presents the problems and unsound policies, and develops sustainable flood management policies based on legal and economic mechanisms.

**KEY-WORDS:** Management, floods, urban.

### ÁGUAS URBANAS

O desenvolvimento urbano nos países em desenvolvimento tem sido realizado de forma insustentável com deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente. Este processo é ainda mais significativo na América Latina onde 77% da população é urbana (48% a nível mundial). Existem 44 cidades na América Latina com população superior a 1 milhão de habitantes (de um total de 389 cidades do mundo, UNITED, 2003). O crescimento das cidades, que ocorreu principalmente depois da década de 70 nos países em desenvolvimento, tem sido realizado sem um planejamento adequado da ocupação do espaço. A urbanização é espontânea, o planejamento urbano é realizado apenas para a parte da cidade ocupada pela população de média e alta renda, enquanto que para as áreas de baixa renda e de periferia o processo se dá

de forma irregular ou clandestina. Isto é decorrência de vários fatores, entre os quais: (a) o valor da propriedade comerciável não é suficiente para implementar a infra-estrutura exigida ou esperada; (b) a população que migra para as cidades geralmente é de baixa renda e ocupa as áreas de risco de inundação ou de deslizamento, desprezada pelo restante da população; (c) déficit de emprego, renda e de moradia é alto em toda a América Latina; (d) as propriedades do Estado (município, Estado ou Federação) são invadidas como forma de pressão social e política; (e) legislações equivocadas de controle do espaço urbano; (e) incapacidade do município de planejar e investir no desenvolvimento do espaço seguro e adequado como base do desenvolvimento urbano; (f) crise econômica nos países e no Estado.

O município consegue apenas controlar as áreas de médio e alto valor econômico com regulamentação do uso do solo, onde estabelece a cidade formal. Mesmo neste ambiente de controle do espaço urbano o desenvolvimento da infra-estrutura é realizado de forma setorial, ou seja, considera apenas o sombreamento dos edifícios e o tráfego no planejamento urbano, sem avaliar o impacto da infra-estrutura de água, o que tem levado aos seguintes impactos: (a) a falta de tratamento de esgoto: grande parte das cidades da região, não possuem tratamento de esgoto e lançam os efluentes na rede de esgotamento pluvial, que escoam pelos rios urbanos (maioria das cidades brasileiras); (b) outras cidades optaram por fazer as redes de esgotamento sanitário (muitas vezes sem tratamento), mas não realizaram o esgotamento pluvial, sofrendo frequentes inundações com o aumento da impermeabilização (exemplos de partes de Santiago, Barranquilla); (c) ocupação do leito de inundação ribeirinha, sofrendo frequentes inundações; (d) impermeabilização e canalização dos rios urbanos com aumento da vazão de cheia (até sete vezes) e sua frequência e prejuízos devido a inundação; (e) aumento da carga de resíduos sólidos e da qualidade da água pluvial sobre os rios próximos das áreas urbanas.

Mesmo dentro do âmbito das áreas urbanas, existe uma visão limitada do que é a gestão integrada deste recurso e grande parte dos problemas destacados acima foram gerados por um ou mais dos aspectos destacados a seguir:

- *falta de conhecimento generalizado sobre o assunto*: da população e dos profissionais de diferentes áreas que não possuem informações adequadas sobre os problemas e suas causas. As decisões resultam em custos altos, onde algumas empresas se apoiam para aumentar seus lucros. Por exemplo, o uso de canalização para drenagem é uma prática generalizada no Brasil, mesmo representando custos muito altos e geralmente tendem a aumentar o problema que pretendiam resolver. A própria população, quando possui algum problema de inundação, solicita a execução de um canal para o controle da inundação. Com o canal a inun-

dação é transferida para jusante afetando outra parte da população. As empresas de engenharia lucram de forma significativa pois estas obras podem chegar a uma ordem de magnitude 10 vezes superior ao controle local;

- *concepção inadequada dos profissionais de engenharia para o planejamento e controle dos sistemas*: Uma parcela importante dos engenheiros que atuam no meio urbano, estão desatualizados quanto a visão ambiental e geralmente buscam soluções estruturais, que alteram o ambiente, com excesso de áreas impermeáveis e consequente aumento de temperatura, inundações, poluição, entre outros;
- *visão setorializada do planejamento urbano*: O planejamento e o desenvolvimento das áreas urbanas é realizado sem incorporar os aspectos relacionados com os diferentes componentes da infra-estrutura de água. Uma parte importante dos profissionais que atuam nesta área possui uma visão setorial limitada, identificando o saneamento como o abastecimento de água e esgotamento sanitário, quando o problema é mais complexo e amplo, onde não se pode desprezar os componentes de inundações e drenagem urbana, resíduos sólidos e saúde;
- *falta de capacidade gerencial*: os municípios não possuem estrutura para o planejamento e gerenciamento adequado dos diferentes aspectos da água no meio urbano.

A tabela 1 apresenta uma comparação dos cenários de desenvolvimento dos aspectos da água no meio urbano entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos o abastecimento de água e o tratamento de esgoto e controle quantitativo da drenagem urbana estão de forma geral resolvidos através de mecanismos de investimentos e legislação. Na drenagem urbana e nas inundações ribeirinhas foi priorizado o controle através de medidas não-estruturais (legais) que obrigam a população a controlar na fonte os impactos devido a urbanização. O principal problema nos países desenvolvidos é o controle da poluição difusa devido às águas pluviais urbanas e rurais.

TABELA 1  
 Comparação dos aspectos da água no meio urbano (adaptado de Tucci, 2003).

Infra-estrutura urbana	Países desenvolvidos	Brasil
<i>Abastecimento de água</i>	Resolvido, cobertura total	Grande parte atendida, tendência de redução da disponibilidade devido a contaminação, grande quantidade de perdas na rede
<i>Esgotamento Sanitário</i>	Grande cobertura na coleta e tratamento dos efluentes	Falta de rede e estações de tratamento; as que existem não conseguem coletar esgoto como projetado;
<i>Resíduo Sólido</i>	Sistema de coleta e disposição adequado; Medidas de controle na fonte quanto ao resíduo na drenagem, baixa produção de lixo urbano	Sistema de coleta limitado a cidade formal, disposição limitada; sem medidas de controle na drenagem e alta produção de lixo urbano
<i>Drenagem Urbana</i>	Controlado os aspectos quantitativos; Desenvolvimento de investimentos para controle dos aspectos de qualidade da água	Grandes inundações devido a ampliação de inundações; Controle que agrava as inundações através de canalização; Aspectos de qualidade da água nem mesmo foram identificados.
<i>Inundações Ribeirinhas</i>	Medidas de controle não-estruturais como seguro e zoneamento de inundação	Grandes prejuízos por falta de política de controle

De outro lado o controle nos países em desenvolvimento ainda está no estágio do tratamento de esgoto. Em alguns países, como o Brasil, o abastecimento de água que poderia estar resolvido, devido à grande cobertura de abastecimento, volta a ser um problema devido a forte contaminação dos mananciais pela expansão urbana e falta de tratamento de esgoto. Devido ao aumento do volume de esgoto não tratado e limitada capacidade de diluição, resultam mananciais contaminados pela própria população o que se denominou de *ciclo de contaminação urbana* (Tucci, 2003). Um exemplo deste cenário é a cidade de São Paulo que se encontra no rio Tietê e tem demanda total de abastecimento da ordem de 64 m<sup>3</sup>/s, sendo que mais da metade da água é importada (33 m<sup>3</sup>/s) da bacia do rio Piracicaba (cabeceiras na serra da Cantareira). Isto ocorre porque os mananciais na vizinhança das cidades estão contaminados pelos esgotos da própria cidade depositados sem tratamento. Atualmente a cidade tem passado todos os anos por períodos de racionamento que devem se agravar com o passar do tempo.

Inundações ribeirinhas, drenagem urbana e resíduos sólidos são processos sem política de gestão nos países em desenvolvimento. A combinação de todos estes fazem com que os rios e aquíferos urbanos estejam contaminados, a população sofra frequentes inundações

com consequências diretas sobre a saúde, além da deteriorização ambiental.

## INUNDAÇÕES URBANAS

A inundação urbana   uma ocorrência tão antiga quanto as cidades. A inunda o ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido a falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros. Até recentemente as inundações eram consideradas como processos naturais já que ao inundar as margens dos rios o homem não tem interferência sobre o processo, apenas sofre o efeito por ocupar um lugar de risco. Quando a precipitação   intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume esco a para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso do volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios. Estes eventos ocorrem de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais. Este tipo de inundação é denominado de **inundação ribeirinha**.

Na segunda metade do século passado, com o acelerado desenvolvimento das cidades e a

densificação urbana, rios urbanos passaram a inundar com maior frequência. Este processo ocorre devido ao aumento das áreas impermeáveis e a canalização que acelera o escoamento através de condutos e canais. A quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pelo ravinamento natural. Esta inundação é **devido à urbanização ou à drenagem urbana**.

Estes dois efeitos podem ocorrer isoladamente ou combinados, mas geralmente as inundações ribeirinhas ocorrem em bacias de grande e médio e porte ( $> 500 \text{ km}^2$ ) no seu trecho onde a declividade é baixa e a seção de escoamento pequena, enquanto que as inundações na drenagem urbana ocorrem em pequenas bacias urbanizadas ( $1 - 100 \text{ km}^2$ , a exceção são grandes cidades como São Paulo).

Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população no primeiro caso e da impermeabilização e canalização da rede de drenagem no segundo. A inundação ribeirinha tem sido registrada com a história do desenvolvimento humano. A inundação devido à urbanização tem sido mais frequente nos últimos 30 anos, com o aumento significativo da impermeabilização das cidades e a tendência dos engenheiros de drenarem o escoamento pluvial o mais rápido possível das áreas urbanizadas (visão ultrapassada, mas mantida nos países em desenvolvimento).

## IMPACTOS

O ciclo hidrológico sofre fortes alterações nas áreas urbanas devido principalmente a alteração da superfície e a canalização do escoamento, aumento de poluição devido a contaminação do ar, das superfícies urbanas e do material sólido disposto pela população.

Leopold (1968) mostrou que o aumento da vazão média de cheia chega a valores de 6 vezes ao das condições naturais. Tucci (1996) demonstrou este resultado para uma bacia urbana de  $42 \text{ km}^2$  com 60% de áreas impermeáveis em Curitiba. Campana e Tucci (1994) estabeleceram uma relação bem definida entre áreas im-

permeáveis e densidade habitacional para macro-bacias urbanas ( $> 2 \text{ km}^2$ ) com dados de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre onde

$$AI = 0,49 \text{ DH} \quad (1)$$

onde AI é a área impermeável (%) e; DH é a densidade habitacional em hab/ha (habitante por hectare). Esta equação é válida até  $120 \text{ hab/ha}$ , quando a curva tende a ser assintótica ao valor de 65%. Esta equação indica que uma pessoa tende a impermeabilizar da ordem de  $49 \text{ m}^2$ . Além do evidente aumento das vazões máximas, também ocorre aumento do volume de escoamento superficial, redução do escoamento subterrâneo e da evapotranspiração.

O impacto sobre a qualidade da água é resultado do seguinte: (a) poluição existente no ar que precipita junto com a água; (b) lavagem das superfícies urbanas contaminadas com diferentes componentes orgânicos e metais; (c) resíduos sólidos representados por sedimentos erodidos pelo aumento da vazão (velocidade do escoamento) e lixo urbano depositado ou transportado para a drenagem; (d) esgoto cloacal que não é coletado e escoado através da drenagem. A carga de contaminação dos três primeiros itens pode ser superior a carga resultante do esgoto cloacal sem tratamento.

No desenvolvimento urbano são observados alguns estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana, que são os seguintes: (a) *No estágio inicial*: quando ocorre modificação da cobertura da bacia pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a produção de sedimentos. Exemplos desta situação são: enquanto um loteamento é implementado o solo fica desprotegido; da mesma forma na construção de grandes áreas ou quando os lotes são construídos ocorre também grande movimentação de terra, que é transportada pelo escoamento superficial. Nesta fase existe predominância dos sedimentos e pequena produção de lixo; (b) *No estágio intermediário*: parte da população está estabelecida, ainda existe importante movimentação de terra devido a novas construções e a produção de lixo da população se soma ao processo de produção de sedimentos; (c) *No estágio final*:

nesta fase praticamente todas as superfícies urbanas estão consolidadas e apenas resulta produção de lixo urbano, com menor parcela de sedimentos de algumas áreas de construção ou sem cobertura consolidada.

Neste último caso, os sólidos totais que chegam a drenagem são devido ao seguinte: (a) Frequência e cobertura da coleta de lixo; (b) Frequência da limpeza das ruas; (c) Forma de disposição do lixo pela população; (d) Frequência da precipitação. A produção de lixo média *coletada* no Brasil é da ordem 0,74 kg/hab/dia para um intervalo de 0,5 a 0,8 kg/hab/dia (MONTEIRO, 2001), mas não existem informações sobre a *quantidade de lixo que fica retida na drenagem*. Em San José, Califórnia o lixo que *chega na drenagem* foi estimado em 4 lb /pessoa/ano. Após a limpeza das ruas resulta 1,8 lb/pessoa/ano na rede (Larger et al, 1977). Em países em desenvolvimento a quantidade de lixo que chega a drenagem é maior devido a eficiência dos municípios nos itens acima e a educação da população. Segundo Armitage e Rooseboom (1996), na África do Sul, estimaram que 18% do lixo existente nas ruas chegam a drenagem. ALLISON et al. (1998) na Austrália estimaram que as áreas urbanas podem contribuir da ordem de 20 a 40 kg/ha/ano. Armitage e Rooseboom (2000), comparando todos os resultados obtidos na África do Sul, Austrália e Nova Zelândia, concluíram que as taxas de lavagem de lixo parecem variar de 0,53 kg/ha/ano para áreas residenciais em Auckland para 96 kg/ha/ano em Springs. Os autores concluíram que o problema é 100 vezes pior na África do Sul do que na Austrália e na Nova Zelândia. A vegetação parece não ser um problema na África do Sul como é na Austrália.

A quantidade de material suspenso na drenagem pluvial apresenta uma carga muito alta considerando a vazão envolvida. Esse volume é mais significativo no início das enchentes. Os primeiros 25 mm de escoamento superficial geralmente transportam grande parte da carga poluente de origem pluvial (Schueller, 1987). Os poluentes que ocorrem na área urbana variam muito, desde compostos orgânicos a metais altamente tóxicos. Alguns poluentes são colocados para diferentes funções no ambiente urbano como o chumbo proveniente das emissões dos automóveis e óleos de va-

zamento ou de caminhões, ônibus e automóveis são resultados de atividades dentro do ambiente urbano. A fuligem é resultante das emissões de gases dentro do ambiente urbano dos veículos, das indústrias, queima de resíduos que se depositam na superfície e são lavados pela chuva. A água, resultante desta lavagem chega aos rios contaminada.

Os principais poluentes encontrados no escoamento superficial urbano são: sedimentos, nutrientes, substâncias que consomem oxigênio, metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, bactérias e vírus patogênicos.

A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana. Os principais indicadores da qualidade da água são os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais.

## POLÍTICA ATUAL DE CONTROLE

A tendência da urbanização é de ocorrer no sentido de jusante para montante, na macro-drenagem urbana, devido às características de relevo. Quando um loteamento é projetado, os municípios exigem apenas que o projeto de esgotos pluviais seja eficiente no sentido de drenar a água do loteamento. Quando o poder público não controla essa urbanização ou não amplia a capacidade da macro-drenagem, a ocorrência das enchentes aumenta, com perdas sociais e econômicas. Normalmente, o impacto do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia não é avaliado pelo projetista ou exigido pelo município. A combinação do impacto dos diferentes loteamentos produz aumento da ocorrência de enchentes a jusante. Esse processo ocorre através da sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macro-drenagem (riachos e canais) que atravessa as cidades. As áreas mais afetadas, devido à construção das novas habitações a montante, são as mais antigas, localizadas a jusante (figura 1).

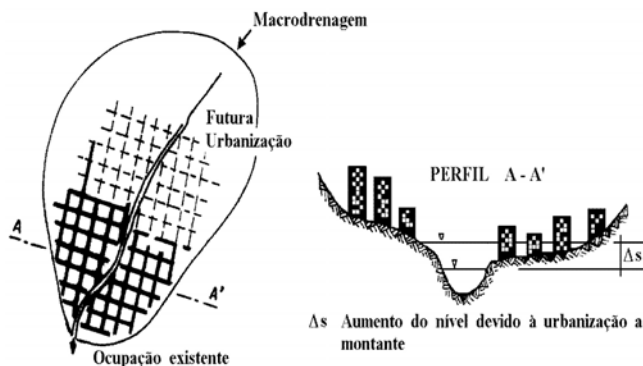
Depois que o espaço está todo ocupado, as soluções disponíveis são extremamente caras, tais como canalizações, diques com bombamentos, reversões e barragens, entre outras.

O poder público passa a investir uma parte significativa do seu orçamento para proteger uma parcela da cidade que sofre devido à imprevisibilidade da ocupação do solo.

Na macrodrenagem a tendência de controle da drenagem urbana é através da canalização dos trechos críticos. Este tipo de solução segue a visão particular de um trecho da bacia, sem que as consequências sejam previstas para o restante da mesma ou dentro de diferentes horizontes de ocupação urbana. A

canalização dos pontos críticos acaba apenas transferindo a inundação de um lugar para outro na bacia. Este processo, em geral, ocorre na seguinte sequência: (1) a bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação a jusante, aparecendo, no leito natural, os locais de inundação devido a estrangulamentos naturais ao longo do seu curso (figura 2); (2): as primeiras canalizações são executadas a jusante, com base na urbanização atual; com isso, o hidrograma a

**FIGURA 1**  
Tendência da ocupação e impacto.



**FIGURA 2**  
Estágio do desenvolvimento da drenagem

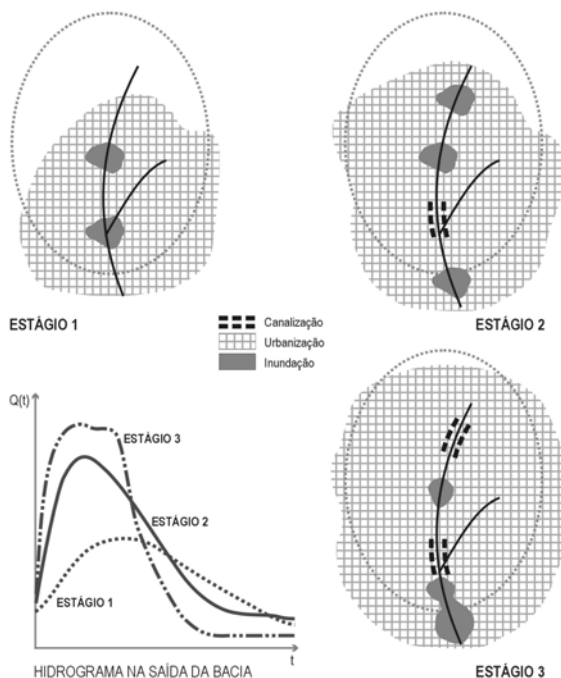






FIGURA 3  
Política de controle  
e o impacto quantitativo  
da drenagem urbana  
(Suderhsa, 2002)

jusante aumenta, mas é ainda contido pelas áreas que inundam a montante (fazem o efeito de um reservatório) e porque a bacia não está totalmente densificada. (figura 2); (3): com a maior densificação, a pressão pública faz com que os administradores continuem o processo de canalização para montante. Quando o processo se completa, ou mesmo antes, as inundações retornam a jusante, devido ao aumento da vazão máxima em função da urbanização e canalização a montante. Neste estágio, são necessárias mais obras para ampliar todas as seções e a canalização simplesmente *transfere a inundação para jusante* (figura 2). Já não existem espaços laterais para ampliar os canais a jusante, e as soluções convergem para o aprofundamento do canal que envolvem custos altos.

Este processo é prejudicial aos interesses públicos e representa um prejuízo extremamente alto para toda a sociedade ao longo do tempo. A sociedade perde duas vezes ao pagar por obra ineficiente e pelo aumento das inundações.

Na figura 3 pode-se observar o conjunto dos processos que se origina no uso do solo e culminação com a aceleração do escoamento na drenagem.

Os outros impactos relacionados com a qualidade da água pluvial, contaminação dos aquíferos e os resíduos sólidos na drenagem não existe nem mesmo agenda para buscar seu controle ao longo do tempo. Observa-se que a população, decisores e mesmo profissionais da área de saneamento desconhecem estes problemas.

A gestão municipal é realizada de forma totalmente setorial sem a menor integração entre os diferentes componentes da água no meio urbano. Geralmente existe um departamento ligado ao planejamento urbano, transporte, água e esgotamento sanitário, limpeza urbana. O Plano Diretor Urbano, obrigatório no Brasil depois da constituição de 1988, tem sido elaborado com base em padrões desatualizados que contemplam apenas a densificação urbana baseada no sombreamento e tráfego.

Este cenário apresenta a política de grande parte da região e os impactos quantitativos

vos resultantes. Os impactos sobre a qualidade da água não são considerados já que nem mesmo a coleta e tratamento do esgoto possuem cobertura adequada. Na grande maioria das cidades o esgoto cloacal escoar pelo sistema de esgoto pluvial que é descarregado in natura nos rios.

A gestão municipal de todos os componentes tem sido realizada desintegrada com muito pouco foco no conjunto da cidade, atuando sempre sobre problemas pontuais e nunca desenvolvendo um planejamento preventivo e indutivo. A visão profissional é pouco integradora e muito limitada, infelizmente os profissionais que atuam na área são muito limitados na visão de conjunto dos problemas da cidade.

## GERENCIAMENTO INTEGRADO

### A visão

A visão moderna envolve o Planejamento integrado da água na cidade e incorporada ao

Plano de Desenvolvimento Urbano (figura 3) onde os componentes de manancial, esgotamento sanitário, resíduo sólido, drenagem urbana e inundação ribeirinha são vistos dentro de um mesmo conjunto e relacionados com a causa principal que é a ocupação do solo urbano. Esta visão integrada dentro do espaço gerencial urbano também deve estar ligado ao Planejamento integrado da bacia, onde a cidade faz parte como concentração de pessoas e de usos de recursos naturais (Marsalek et al, 2001). Esta interligação é realizada no espaço através da bacia hidrográfica. No âmbito administrativo e legal pode ser realizado pelo comitê e agência de bacia (tendência de construção institucional) e pelas legislações municipais, estaduais e federais (figura 4).

A atuação preventiva no desenvolvimento urbano reduz o custo da solução dos problemas relacionados com a água. Ou seja, planejando a cidade com áreas de ocupação e controle da fonte da drenagem, a distribuição do



**FIGURA 4**  
Visão integrada  
do planejamento  
dos aspectos da água  
no ambiente urbano



espaço de risco e o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento e esgotamento os custos serão muito menores do que quando ocorrem as crises onde o remédio passa por custos inviáveis para o município.

O desenvolvimento do planejamento das áreas urbanas envolve principalmente: planejamento do desenvolvimento urbano; transporte; abastecimento de água e saneamento; drenagem urbana e controle de inundações; resíduo sólido; controle ambiental. O planejamento urbano deve considerar os aspectos relacionados com a água, no uso do solo e na definição das tendências dos vetores de expansão da cidade.

Existe uma forte inter-relação entre os componentes da água no ambiente urbano. Quando planejados dentro de cada uma de suas disciplinas, em planos setoriais, certamente resultarão em prejuízos para a sociedade. Na figura 3 pode-se observar a representação do planejamento integrado dos setores essenciais relacionados com os água no meio urbano.

Algumas destas inter-relações são as seguintes: (a) o abastecimento de água é realizado a partir de mananciais que podem ser contaminados pelo esgoto cloacal, pluvial ou por depósitos de resíduos sólidos; (b) a solução do controle da drenagem urbana depende da existência de rede de esgoto cloacal e suas características; (c) a limpeza das ruas, a coleta e disposição de resíduos sólidos interfere na quantidade e na qualidade da água dos pluviais.

A maior dificuldade para a implementação do planejamento integrado decorre da limitada capacidade institucional dos municípios para enfrentar problemas tão complexos e interdisciplinares e a forma setorial como a gestão municipal é organizada.

### **Aspectos Institucionais**

A estrutura institucional é a base do gerenciamento dos recursos hídricos urbanos e da sua política de controle. A definição institucional depende dos espaços de atribuição da organização do país, sua inter-relação tanto legal como de gestão quanto a água, uso do solo e meio ambiente. Para estabelecer o mecanismo de gerenciamento destes elementos é necessário definir os espaços geográficos relacionados com o problema.

### ***Espaço geográfico de gerenciamento***

O impacto dos efluentes de esgotamento sanitário e da drenagem urbana pode ser analisado dentro de dois contextos espaciais diferentes, discutidos a seguir: (a) Impactos que extrapolam o município, ampliando as enchentes e contaminando a jusante os sistemas hídricos como rios, lagos e reservatórios. Esta contaminação é denominada poluição pontual e difusa urbana. Este tipo de impacto é a resultante das ações dentro da cidade, que são transferidas para o restante da bacia. Para o seu controle podem ser estabelecidos padrões a serem atingidos e geralmente são regulados por legislação ambiental e de recursos hídricos, federal ou estadual; (b) Impacto dentro das cidades: estes impactos são disseminados dentro da cidade, que atingem a sua própria população. O controle neste caso é estabelecido através de medidas desenvolvidas dentro do município através de legislação municipal e ações estruturais específicas.

A experiência americana no processo tem sido aplicada através de um programa nacional desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency) que obriga a todas as cidades com mais de 100 mil habitantes a estabelecer um programa de BMP (Best Management Practices). Recentemente iniciou-se a segunda fase do programa para cidades com população inferior à mencionada (Roesner e Traina, 1994). As BMPs envolvem o controle da qualidade e quantidade por parte do município através de medidas estruturais e não-estruturais. O município deve demonstrar que está avançando e buscar atingir estes objetivos através de um Plano. Este processo contribui para reduzir a poluição difusa dos rios da vizinhança das cidades. A penalidade que pode ser imposta é a ação judicial da EPA contra o município.

A experiência francesa envolve o gerenciamento dos impactos e controles através do comitê de bacia, que é o Fórum básico para a tomada de decisão. As metas nas quais os municípios e outros atores devem ser atingidos são decididas no comitê.

### ***Legislações***

As legislações que envolvem as águas urbanas estão relacionadas com recursos hídricos,

uso do solo e licenciamento ambiental. A seguir é apresentada uma análise dentro do cenário brasileiro onde existem os níveis Federal, Estadual e Municipal.

(a) *quanto aos Recursos Hídricos*: A constituição Federal define o domínio dos rios e a legislação de recursos hídricos a nível federal e estabelece os princípios básicos da gestão através de bacias hidrográficas. As bacias podem ser de domínio estadual ou federal.

A lei federal (lei n. 9.433 de janeiro de 1997) estabelece como uma das outorgas (artigo 12 inciso III) os lançamentos em corpo de água de esgotos e demais resíduos. Algumas legislações estaduais de recursos hídricos estabelecem critérios para a outorga do uso da água, mas não legislam sobre a outorga relativa ao despejo de efluentes de drenagem. A legislação ambiental estabelece normas e padrões de qualidade da água dos rios através de classes, mas não define restrições com relação aos efluentes urbanos lançados nos rios. A ação dos órgãos estaduais de controle ambiental é limitada devido a falta de capacidade dos municípios em investir neste controle. Portanto, não existe exigência e não existe pressão para investimentos no setor.

Dentro deste contexto o escoamento pluviométrico resultante das cidades pode ser objeto de outorga à partir da lei 9.433, regulamentando o inciso III do artigo 12. Como estes procedimentos ainda não estão sendo cobrados pelos Estados, não existe no momento uma pressão direta para a redução dos impactos resultantes da urbanização.

(b) *Quanto ao uso do solo*: Na Constituição Federal, artigo 30, é definido que o uso do solo é municipal. Porém, os Estados e a União podem estabelecer normas para o disciplinamento do uso do solo visando a proteção ambiental, controle da poluição, saúde pública e da segurança. Desta forma, observa-se que no caso da drenagem urbana que envolve o meio ambiente e o controle da poluição a matéria é de competência concorrente entre Município, Estado e Federação. A tendência é dos municípios introduzirem diretrizes de macrozoneamento urbano nos Planos Diretores urbanos, incentivados pelos Estados.

Observa-se que no zoneamento relativo ao uso do solo não tem sido contemplado pelos

municípios o aspecto de águas urbanas como esgotamento sanitário, resíduo sólido, drenagem e inundações. O que tem sido observado são legislações restritivas quanto à proteção de mananciais e ocupação de áreas ambientais. A legislação muito restritiva somente produz reações negativas e desobediência. Portanto, não atingem os objetivos de controle ambiental. Isto ocorre na forma de invasão das áreas, loteamentos irregulares, entre outros. Um exemplo feliz foi o introduzido pelo município de Estrela (RS) Brasil, onde foi realizado o zoneamento de inundação (Rezende e Tucci, 1979). O município permitiu (através de lei municipal) a troca de áreas de inundação (proibida para uso) por solo criado ou índice de aproveitamento urbano acima do previsto no Plano Diretor nas áreas mais valorizadas da cidade. Ao introduzir restrições do uso do solo é necessário que a legislação dê alternativa econômica ao proprietário da terra ou o município deve comprar a propriedade. Numa sociedade democrática o impedimento do uso do espaço privado para o bem público deve ser compensado pelo público beneficiado, caso contrário torna-se um confisco. Atualmente as legislações do uso do solo se apropriam da propriedade privada e ainda exigem o pagamento de impostos pelo proprietário que não possui alternativa econômica. A consequência imediata na maioria das situações é a desobediência legal.

Observa-se que muitos municípios, no seu Plano Diretor Urbano procuram limitar a impermeabilização com a finalidade de minimizar os impactos ambientais e o aumento do escoamento. Este não é um procedimento muito eficiente, já que mesmo proporções pequenas de áreas impermeáveis podem produzir aumento significativo do escoamento (Tucci, 2000). O mais eficiente é limitar o aumento da vazão natural, utilizado pela maioria das cidades em países desenvolvidos e, no Brasil, pela cidade de Porto Alegre. No entanto, é possível induzir a medidas na fonte através deste mesmo mecanismo.

(c) *Quanto ao licenciamento ambiental*: este licenciamento estabelece os limites para construção e operação de canais de drenagem, regulado pela Lei 6938/81 e resolução CONAMA n. 237/97. Da mesma forma, a resolução

CONAMA 1/86 art 2º, VII estabelece a necessidade de licença ambiental para “obras hidráulicas para drenagem”. Observa-se que existem mecanismos legais para controle das cidades. No entanto, observa-se nas cidades que enquanto as indústrias são multadas e reduzem o seu impacto, as cidades possuem baixa cobertura de tratamento e não obedecem as legislações ambientais. É comum encontrar bacias hidrográficas onde as cidades controlam 5% da carga e as indústrias 95%. As entidades estaduais de meio ambiente não conseguem impor a legislação às cidades.

(d) *Gerenciamento de bacias urbanas compartilhadas*: grande parte das cidades possui bacia hidrográfica comum com outros municípios. Geralmente existem os seguintes cenários: um município está a montante de outro ou o rio divide os municípios. O controle institucional da drenagem que envolve mais de um município pode ser realizado através de legislação municipal adequada para cada município; ou através de legislação estadual que estabeleça os padrões a serem mantidos nos municípios de tal forma a não serem transferidos os impactos; ou uso dos dois procedimentos anteriores.

## GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL

A gestão sustentável envolve a busca de equilíbrio entre a legislação e um programa de investimento para uma determinada região (bacia, Estado, ou País) quanto a busca de sustentabilidade na gestão das inundações e dos outros componentes das águas urbanas. O processo indutor estratégico deve possuir Política de Controle, Mecanismos Legais e de Gestão e o Econômico – Financeiro.

### Política

A política de controle da drenagem urbana proposta envolve algumas definições como (PORTO ALEGRE, 2000): *Objetivos*: a obtenção da sustentabilidade ambiental e a melhoria da qualidade de vida e do meio ambiente; *Metas*: as metas qualitativas se referem a *redução das cargas poluentes* que chegam aos rios, através do controle das cargas urbanas e minimização do impacto das inundações urbanas.

*Princípios*: os principais princípios são: (a) a visão integrada do esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos dentro do ambiente urbano; (b) a distribuição dos custos para os responsáveis pelos impactos; (c) participação pública no gerenciamento integrado; (d) o controle ambiental dentro do gerenciamento das alternativas.

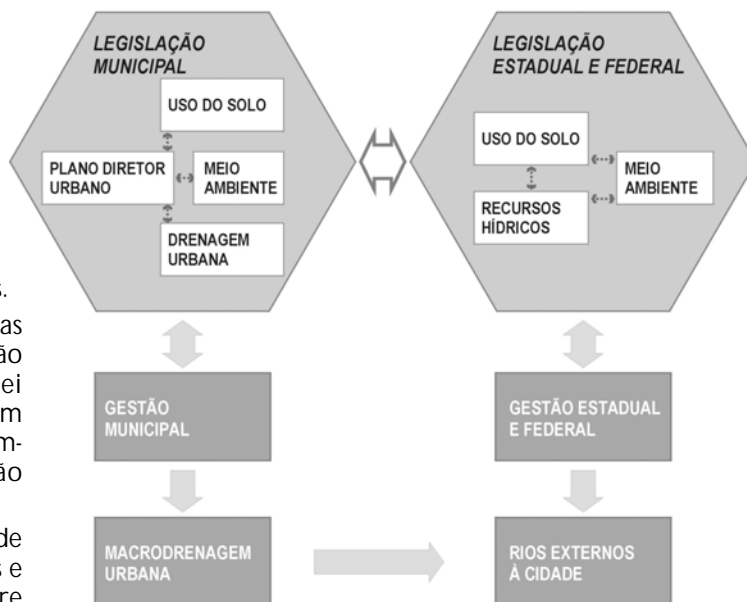
Quanto ao espaço, existem dois ambientes: externo e o interno à cidade. O externo é o ambiente onde o comitê de bacia ou Estado ou ainda a Federação controla as ações do município quanto ao controle de seus impactos (figura 4). Dentro da cidade o município é o agente que desenvolverá os Planos Integrados e sua implementação dentro da legislação. Quando existirem mais de um município de uma ou mais bacias urbanizadas o processo deverá ser acordado através do Comitê de Bacia ou gerenciado com a interveniência de entidade do Estado.

### Legislação

A legislação envolve também os referidos espaços. Existe uma grande inter-relação entre os elementos de uso do solo, controle ambiental e recursos hídricos tanto internamente na cidade como no Plano da Bacia Hidrográfica. Portanto, é proposta uma legislação para o espaço externo à cidade e dentro do Plano integrado, uma legislação para o espaço interno à cidade. O mecanismo previsto na legislação brasileira para o gerenciamento externo das cidades é o Plano de Recursos Hídricos Bacia. No entanto, dificilmente no referido Plano será possível elaborar os Planos de drenagem, esgotamento sanitário e resíduo sólido de cada cidade contida na bacia. O Plano deveria estabelecer as metas que as cidades devem atingir para que o rio principal e seus afluentes atinjam níveis ambientalmente adequados de qualidade da água. O Plano Integrado de Drenagem Urbana, Esgotamento Sanitário e Resíduos Sólidos deve obedecer aos controles estabelecidos no Plano da bacia no qual estiver inserido.

Atualmente a legislação prevê a outorga para efluentes seja na de Recursos Hídricos, como na ambiental. Desta forma, os aspectos legais seriam baseados na definição de normas

**FIGURA 5**  
**Elementos do sistema**  
**de gerenciamento**



e critérios para outorga de efluentes que alterem a qualidade e quantidade de águas provenientes de áreas urbanas.

No caso brasileiro, uma das alternativas é a regulamentação do artigo 12 inciso III da Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 em conjunto com a legislação ambiental. Esta regulamentação pode ser na seguinte forma:

Art. (?) É de responsabilidade da (?) a definição de critérios e normas quanto a outorga sobre as alterações na quantidade e qualidade da água pluvial proveniente de áreas urbanas previsto no artigo 12 inciso III da Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997.

Art (?) A outorga dos esgotos cloacais, pluviais e disposição dos resíduos sólidos dos municípios deve ser precedido dos Planos **Integrados** de Esgotamento Sanitário, Resíduos Sólidos e Drenagem Urbana do município visando o atendimento das exigências do artigo (?) deste decreto.

Parágrafo 1º Para as cidades com mais de 200.000 (a ser melhor definido) habitantes o Plano deverá ser concluído no máximo em 5 anos e mais 5 anos para sua implementação. Para as demais cidades o plano deverá ser concluído em até 10 anos e mais 5 anos para sua implementação.

Parágrafo 2º O acompanhamento da implementação dos Planos ficará a cargo do comitê das bacias hidrográficas.

O texto acima é apenas uma orientação do conteúdo técnico. Existem várias definições que podem ser discutidas e negociadas de acordo com uma avaliação mais detalhada. Por exemplo, o tamanho das cidades e o prazo, além das penalidades relativas. A penalidade pode não estar na lei, mas podem-se utilizar

mecanismos de financiamentos. Os municípios teriam a outorga provisória no prazo acima de acordo com o andamento dos procedimentos do Plano e sua ação de implementação.

### Financiamento

Quanto ao econômico-financeiro, existem dois componentes, o financiamento para o desenvolvimento do Plano e a implementação das medidas, os mecanismos de pagamento do financiamento e os incentivos indiretos para se inserir no programa.

O financiamento do Plano pode ser realizado pelo comitê de bacia ou um fundo com recursos de menor monta. Maior detalhe sobre os aspectos do Plano de Drenagem e Inundações pode ser obtido em Tucci (2002). Os custos de implementação são muito maiores e exigirão investimentos de infra-estrutura. Os custos estimados para implementação do controle da drenagem urbana em áreas com alagamento são da ordem de US\$ 1 - 2 milhões/km<sup>2</sup>, enquanto que planejando o controle através de medidas não-estruturais (legislação e controle na fonte) o cus-

to é praticamente inexistente para a o poder público (PORTO ALEGRE, 2000).

Atualmente no Brasil, Porto Alegre adota o controle por legislação da ampliação da vazão devido a urbanização. Desde 2000 nenhum novo empreendimento tem vazão de saída superior a de pré-desenvolvimento para o tempo de retorno de 10 anos. Para isto foi determinado para a cidade a vazão limite de 20,8 l/(s.ha) e para os que desejarem construir um reservatório o seu volume é estimado para áreas de até 100 ha pela equação:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = 4,15 \text{ A. AI} \quad (2)$$

onde A é a área em hectares (ha); AI a área impermeável em %. Geralmente a superfície necessária para controle representa de 2 a 3 % da área total controlada (PORTO ALEGRE, 2000).

O programa deveria desenvolver dois fundos: fundo para investimento nos Planos e fundos para implementação das obras. Provavelmente deverá existir uma parcela de subsídio visando criar incentivo.

Os potenciais elementos de indução para os municípios seriam os seguintes: O comitê de bacia ou o Estado ou ainda a Federação subsidiaria parte dos recursos para elaboração dos Planos; Criação de um fundo econômico para financiar as ações do Plano previsto para as cidades. O ressarcimento dos investimentos seriam através das taxas municipais específicas para esgotamento sanitário, resíduo sólido e drenagem urbana, este último baseado na área impermeável das propriedades. O Plano deveria induzir a transparência destes mecanismos dentro do município visando a sustentabilidade de longo período do sistema de cobrança, com a devida fiscalização; Criar fundo para investimento nas obras, que poderia estar integrado ao anterior; Desenvolver condicionantes nos órgãos federais e estaduais condicionando a obtenção da outorga e a inserção no programa.

### Gestão

A gestão do desenvolvimento do programa envolve o seguinte: *Desenvolvimento do Programa*: Este programa deveria ser desenvolvido dentro de uma entidade federal e cooperação com os Estados; *Fiscalização*: a fiscalização do

programa pode ser realizada pelo comitê de bacia quando houver, pelo Estado (através de órgão ambiental ou de recursos hídricos) em bacias estaduais, pelo Governo Federal (também através de órgão ambiental ou de recursos hídricos) para bacias federais. A escolha e definição da fiscalização devem ser suficientemente flexíveis em função das dimensões do país e das diferentes realidades; *Desenvolvimento do Plano Integrado*: a implementação do Plano integrado a nível do município e de bacias inseridas dentro de um mesmo município deve ser desenvolvida pelo próprio município. Para bacias dentro de mais de um município o comitê da bacia ou Estado devem coordenar estas bacias, procurando estabelecer normas conjuntas para a área de influência.

Na figura 5 pode ser observado um exemplo de coordenação na Região Metropolitana de Curitiba. O gerenciamento da cidade é controlado através do monitoramento da qualidade da água a jusante dos efluentes das cidades ou o que a cidade exporta para o restante da bacia. Este controle deve ser normatizado quanto a metas a serem atingidas na qualidade da água dos rios através de parâmetros de qualidade da água. Estas normas devem ser as bases legais de indução para as soluções internas dentro das cidades. O processo interno dentro da(s) cidade(s) é uma atribuição essencialmente do município ou de consórcios de municípios, dependendo das características das bacias urbanas e seu desenvolvimento.

### CONCLUSÃO

O atual desenvolvimento da drenagem urbana e dos outros componentes das águas urbanas é insustentável, a sociedade está perdendo os poucos recursos disponíveis devido a falta de uma organização adequada dos mecanismos de governabilidade do país.

O artigo identificou os principais problemas, suas inter-relações setoriais e apresentou uma visão mais integrada e uma proposta institucional e financeira buscando o mínimo de interferências no sistema atual de legislação e gestão visando tornar viável o processo de mudança.

As principais dificuldades são: (a) Se não houver interferência de governo dificilmente haverá solução adequada em drenagem

FIGURA 6  
Exemplo da interação  
técnico-financeira  
(SUDHERSA, 2002)



urbana, pois quem produz os impactos não é quem sofre o mesmo; (b) Infelizmente a geração de engenheiros hidráulicos que atua na área está muito desatualizada e não compreende a sustentabilidade ambiental e dos recursos hídricos, o que exige uma grande atualização e uma melhor formação futura dos profissionais; (c) Da mesma forma, a população necessita de mais informações, para que possa ter uma efetiva participação pública; (d) São necessárias legislações efetivas e penalidades para

os municípios que não participarem do processo, na forma de corte de financiamentos governamentais ou induções como a oferta de financiamento adequado ao programa, caso contrário a adesão é mínima.

## Referências

- ALLISON, R.A.; WALKER, T.A.; CHIEW, F.H.S.; O'NEILL, I.C.; MCMAHON, T.A. 1998. **From roads to rivers: gross pollutant removal from urban waterways**. Victoria: Co-operative Research Centre for Catchment Hydrology. 98p.
- ARMITAGE, N.P.; ROOSEBOOM, A. 1998. The removal of litter from stormwater conduits in the developing world. In: INTERNATIONAL CONFERENCE URBAN DRAINAGE MODELLING (UDM'98), 4., 1998, London. **Developments in urban drainage modeling**: pre-prints. London: IAWQ. p.801-808
- ARMITAGE, N.P.; ROOSEBOOM, A. 2000. The removal of urban litter from stormwater conduits and streams: paper 1 – The quantities involved and catchment litter management options. **Water South Africa**, Pretoria, v.26, n.2, Apr.
- CAMPANA, N.A.; TUCCI, C.E.M. 1994. Estimativa de área impermeável de macro bacias urbanas. **RBE: Revista Brasileira de Engenharia**. Caderno de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.12, n.2, p.79-94.
- LARGER, J.A.; SMITH, W.G.; LYNARD, W.G.; FINNEMORE, E.J. 1977. **Urban stormwater management and technology**: update and user's guide. Cincinnati: Environmental Protection Agency. (EPA 600/8-77-014).
- LEOPOLD, L.B. 1968. Hydrology for urban planning: a guide book on the hydrologic effects on urban land use. **Circular. United States Department of the Interior. Geological Survey**, Reston, n.554, p.1-18.
- MARSALEK, J.; ROCHFORD, Q.; SAVIC, D. 2001. Urban water as a part of integrated catchment management. In: MAKSIMOVIC, C.; TEJADA-GUIBERT, J.A. (Ed.). **Frontiers in urban water management**. London: IWA. ch.2, p.37-82.

- MONTEIRO, J.H.R.P. et al. 2001. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. 2000-2001. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 6v.
- REZENDE, B.; TUCCI, C.E.M. 1979. **Análise das inundações em Estrela**: relatório técnico. Estrela: Prefeitura Municipal. 30p.
- ROESNER, L.A.; TRAINA, P. 1994. Overview of federal law and USEPA regulations for urban runoff. **Water Science and Technology**, Oxford, v.29, n.1/2, p.445-454.
- SCHUELLER, T.R. 1987. **Controlling urban runoff**: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington: Metropolitan Washington Council of Governments. 229p.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. 2002. **Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba**: volume: medidas não-estruturais. Curitiba: CH2MHILL do Brasil.
- TUCCI, C.E.M. 1996. **Estudos hidrológicos-hidrodinâmicos do rio Iguaçu na RMC**. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral do Paraná. 2v.
- TUCCI, C.E.M. 2000. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.61-68.
- TUCCI, C.E.M. 2002. Gerenciamento da drenagem urbana. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.1, p.5-25.
- TUCCI, C.E.M. 2003. Águas urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. (Org.) **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. cap.2, p.11-44.
- UNITED Nations World Water Development Report. Paris: UNESCO. 576p.

**Carlos E. M. Tucci** Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS; GWP  
South América

