

## PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA: PRINCÍPIOS E CONCEPÇÃO

**Carlos E. M. Tucci**

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS  
91501-970 – Porto Alegre – RS  
tucci@if1.ufrgs.br

### RESUMO

*As enchentes nas cidades brasileiras são um processo gerado principalmente pela falta de disciplinamento da ocupação urbana. O custo do controle desse processo é muito alto quando o desenvolvimento já está implantado. A medida preventiva de controle, onde os custos são reduzidos, é o Plano Diretor de Drenagem Urbana.*

*Nesse artigo são apresentados elementos quantitativos do impacto da urbanização, princípios de controle e a estrutura proposta do conteúdo do Plano Diretor de Drenagem Urbana.*

### DESENVOLVIMENTO URBANO E A DRENAGEM

O Brasil apresentou, ao longo das últimas décadas, um crescimento significativo da população urbana (Figura 1). A taxa da população urbana brasileira é de 76%. O processo de urbanização acelerado ocorreu depois da década de 60, gerando uma população urbana com uma infra-estrutura inadequada. É previsto que o Brasil terá pelo menos duas cidades com mais de 10 milhões de habitantes no ano 2000, sendo que atualmente, pelo menos 12, possuem mais do que 1 milhão.

Os efeitos desse processo, fazem-se sentir sobre todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacal e pluvial.

O planejamento urbano, embora envolva fundamentos interdisciplinares, na prática é realizado dentro de um âmbito mais restrito do conhecimento. O planejamento da ocupação do espaço urbano no Brasil, não tem considerado aspectos fundamentais, que

trazem grandes transtornos e custos para a sociedade e para o ambiente.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na freqüência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água.

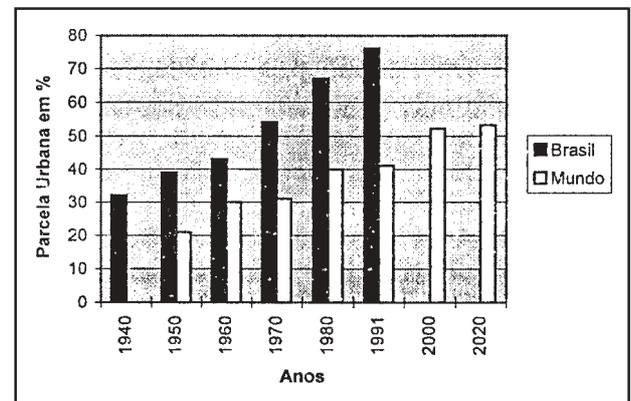


Figura 1. Evolução da urbanização no Brasil e no mundo (Fonte: Mega-cities appud Folha de São Paulo 4/2/1996).

A medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorre o : (i) aumento das vazões máximas (em até 7 vezes, Leopold, 1968) devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; (ii) aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo); (iii) e a deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Adicionalmente, existem os impactos da forma desorganizada como o aparelhamento urbano é implantado, tais como: (i) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (ii) redução de seção do escoamento aterros; (iii) deposição e

obstrução de rios, canais e condutos de lixos e sedimentos; (iv) projetos e obras de drenagem inadequadas.

Esses impactos têm produzido um ambiente degradado, que nas condições atuais da realidade brasileira somente tende a piorar. Esse processo, infelizmente não está sendo contido, mas está sendo ampliado a medida que os limites urbanos aumentam ou a densificação se torna intensa. A gravidade desse processo ocorre principalmente nas médias e grandes cidades brasileiras. A importância desse impacto está latente através da imprensa e da TV, onde se observa, em diferentes pontos do país, cenas de enchentes associadas a danos materiais e humanos.

As limitações das ações públicas atuais, em muitas cidades brasileiras, estão indevidamente voltadas para medidas estruturais com visão pontual. A canalização tem sido extensamente utilizada para transferir a enchente de um ponto na bacia, sem que sejam avaliados os efeitos a jusante ou os reais benefícios das obras. Os custos de canais revestidos, freqüentemente utilizados nas áreas mais urbanizadas, são de : US \$ 1,7 milhões/ km em Porto Alegre, para canais de pequena largura (DEP apud Pedrosa, 1996); a 50,0 milhões/km, para um canal retangular de 17 m de largura e cerca de 7 m de profundidade com paredes estruturadas no Ribeirão dos Meninos em São Paulo.

O prejuízo público é dobrado, já que além de não resolver o problema, os recursos são gastos de forma equivocada. Essa situação é ainda mais grave quando se soma o aumento de produção de sedimentos (reduz a capacidade dos condutos e canais) e a qualidade da água pluvial (associada aos resíduos sólidos).

Esta situação é decorrente, na maioria das cidades, do seguinte: (i) da falta de considerar o planejamento da rede cloacal e pluvial e da ocupação das áreas de risco quando se formulam os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano; (ii) do gerenciamento inadequado da implantação das obras públicas e privadas no ambiente urbano.

## O IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM E SUA AVALIAÇÃO

### Os principais impactos

A literatura é vasta na descrição que o impacto da urbanização produz no escoamento, na produção de material sólido e na qualidade de água (Tucci, 1995). Os principais impactos são resumidos a seguir:

- i. aumento do: escoamento superficial, vazão máxima dos hidrogramas, e antecipação dos picos;
- ii. redução da: evapotranspiração do escoamento subterrâneo e lençol freático;
- iii. aumento da produção de material sólido;
- iv. deterioração da qualidade das águas superficiais, principalmente no início das chuvas pela drenagem de águas de carreiam material sólido e lavam as superfícies urbanas.

### Quantificação do impacto da urbanização sobre o escoamento

Para que se possa efetivamente planejar o impacto do desenvolvimento urbano é necessário quantificar os impactos decorrentes das alterações da bacia hidrográfica.

A avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento pode ser realizada pelo método racional a nível de *microbacia urbana* (alguns hectares), dentro do conceito de vazão de projeto (Bidone e Tucci, 1995; Tucci e Genz, 1995).

Para a *macrobacia urbana* existem dificuldades adicionais que são as seguintes: (i) como a bacia se desenvolverá no futuro?; (ii) considerando que o processo de ocupação normalmente ocorre de jusante para montante, como quantificar futuros cenários nos projetos e controle da drenagem?

Os métodos utilizados podem ser os seguintes:

**i. métodos estatísticos** – esses métodos utilizam-se de dados não-homogêneos de vazão para estimar o impacto da urbanização. Usualmente necessitam de uma grande quantidade de informações em diferentes sub-bacias. A metodologia se baseia na regionalização de vazões máximas (NERC 1975), utilizando como indicador da urbanização a parcela urbanizada. Esse tipo de procedimento requer informações que na maioria das bacias não existem.

Para avaliar o impacto da urbanização na Região Metropolitana de Curitiba utilizou-se os dados de bacias rurais e urbanas.

Na Figura 2 é apresentada a relação entre a vazão média de enchente e a área da bacia para postos localizados no rio Iguaçu e seus afluentes. Nessa figura, o ponto que se distancia da tendência, na parte superior, se refere a bacia do rio Belém, com 42 km<sup>2</sup>, 100% urbanizada, com cerca de 40% de áreas impermeáveis. Os dois pontos um pouco acima da reta são de duas outras bacias (Palmital, 7% e Atuba, 15% de áreas impermeáveis), que estão em processo de urbanização.

Nas demais bacias, pode-se considerar desprezível o nível da urbanização, se comparado com a bacia total. Utilizando a função ajustada com base nos rios não urbanizados, pode-se estimar qual seria a vazão média de cheia para o rio Belém, em condições de pré-desenvolvimento. A relação entre a vazão urbanizada e de pré-desenvolvimento é de 6 vezes.

**ii. modelos matemáticos** – que determinam a vazão máxima com base na precipitação, já que dificilmente existem dados hidrológicos monitorados ao longo do tempo que permitam determinar, para diferentes tempos de retorno, a diferença entre os cenários de pré-desenvolvimento e depois de urbanizada, principalmente em bacias urbanas brasileiras.

O cálculo é realizado com base no risco (tempo de retorno) da precipitação, o que não é necessariamente o mesmo risco da vazão. No entanto, as técnicas de determinação da distribuição da precipitação e

definição dos parâmetros buscam maximizar as condições críticas das cheias (Tucci, 1995), buscando compensar parte dessas incertezas.

Para utilizar os modelos hidrológicos é necessário a estimativa: (i) das áreas impermeáveis e da rede de drenagem da bacia para o cenário de futura urbanização. (ii) dos parâmetros dos modelos com base em dados de bacias brasileiras.

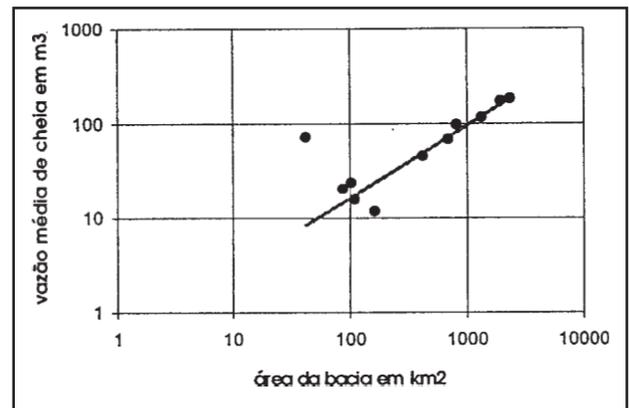


Figura 2. Vazão média de enchente,  $Q$  função da área das bacias para postos na região metropolitana de Curitiba.

O planejamento urbano é implementado através do plano diretor da cidade e a densidade habitacional é o parâmetro de planejamento para cada subdivisão da cidade (e bacia). Essa densidade é implementada através das seguintes restrições: índice de ocupação e índice de aproveitamento. O primeiro estabelece a área ocupada em planta e o segundo se refere ao *solo criado* ou seja a relação entre a área construída e a área do terreno. Para transferir esses elementos para o modelo hidrológico, em macro-bacias urbanas, permitindo a estimativa dos cenários de planejamento urbano é necessário converter densidade habitacional em áreas impermeáveis. Como no planejamento urbano não são especificados o arruamento e a distribuição das quadras, mas os condicionantes da ocupação, tornou-se necessário estabelecer a relação entre essas variáveis para as macro-bacias.

SCS (1975) utilizou a área impermeável e o tempo de concentração da

bacia como os indicadores da alteração urbana, para simular os dois cenários em macrobacias urbanas. Nesse modelo, os autores apresentam valores típicos de áreas impermeáveis, de acordo com o tipo de ocupação prevista (residencial, comercial e industrial). Para o tempo de concentração, são apresentados fatores de correção, de acordo com a área impermeável e a parcela da bacia com condutos pluviais.

Motta e Tucci (1984) estabeleceram duas curvas que relacionam área impermeável e densidade habitacional para a bacia do arroio Dilúvio em Porto Alegre. Tucci et al. (1989) estabeleceram essa relação para a cidade de São Paulo com base em dados de 11 bacias urbanas e, recentemente, Campana e Tucci (1994) apresentaram essa relação com base nos dados de Curitiba, Porto Alegre e São Paulo. Na Tabela 1 são apresentados os valores da curva ajustada. Os dados utilizados não fazem distinção entre o tipo de concentração urbana, já que aborda áreas com menos de 2 km<sup>2</sup>. Essa tabela retrata bacias com predominância da ocupação residencial e declividade média. Pode-se observar da Tabela 1, que o valor máximo encontra-se em 66,7%. O valor adotado pelo SCS (1975) para áreas residenciais com lotes menores que 500 m<sup>2</sup>, típico da ocupação urbana brasileira, é de 65%.

**Tabela 1. Densidade habitacional e área impermeável (adaptado de Campana e Tucci, 1994).**

Densidade habitacional (hab./ha)	Área Impermeável (%)
25	11,3
50	23,3
75	36,0
100	50,0
120	58,7
150	64,7
200	66,7

Para o tempo de concentração, Motta e Tucci (1984) e Tucci et al. (1989), utilizaram um fator de correção, baseado no comprimento do canal entre as bacias urbanizadas e rurais. Campana (1995) utilizou geoprocessamento para estimar a relação

entre o tempo de concentração de uma bacia urbana e rural, através de uma hipotética malha urbana.

Com base nesses elementos, é possível estimar a alteração do hidrograma devido ao cenário futuro de desenvolvimento urbano, previsto nos Planos Diretores de Planejamento Urbano para macrobacias urbanas.

Estes métodos quantitativos são essenciais para estimar as vazões máximas e os volumes para os cenários atuais e futuros do desenvolvimento urbano e avaliar as medidas de controle.

## CONTROLE DE ENCHENTES URBANAS E A DRENAGEM

Os principais tipos de enchentes em áreas urbanas são: (i) *devido a urbanização*: são as enchentes produzidas pela impermeabilização do solo e aumento da capacidade de escoamento da drenagem através de condutos e canais; (ii) *devido a ocupação das áreas ribeirinhas*: que são as enchentes naturais que ocorrem em rios de médio e grande porte. O rio extravasa do seu leito menor, ocupando a várzea (leito maior). A população desavisada tende a ocupar esse leito devido a seqüência de anos com enchentes pequenas ou pelo reduzido custo dessas áreas, sofrendo prejuízos nos anos de enchentes maiores; (iii) *devido a problemas localizados*: produzidos devido a obstruções ao escoamento e projetos inadequados.

Num Plano de Controle de Enchentes de uma cidade, os dois primeiros tipos de enchentes podem ocorrer combinados ou separadamente, em diferentes partes das cidades.

O controle de enchentes das áreas ribeirinhas, pode ser realizado por medidas estruturais ou não-estruturais de acordo com os riscos e custos envolvidos (Simons et al., 1977, Tucci, 1993).

No Plano Diretor de Drenagem é dado ênfase no controle através de medidas não-estruturais como o zoneamento de áreas de inundação. Nesse zoneamento são

especificados os critérios de ocupação do leito maior do rio.

### **Princípios do controle de enchentes e as tendências de ocupação no Brasil**

Os princípios básicos dos controles de enchentes foram apresentados por ABRH (1995) e Tucci (1995). Os principais elementos desses princípios são: (i) estabelecer o controle da bacia hidrográfica urbana e não de pontos isolados; (ii) os cenários de análise devem contemplar o futuro desenvolvimento da bacia; (iii) deve-se procurar evitar que a ampliação da enchente devido a urbanização seja transferida para jusante; (iv) o controle para as áreas ribeirinhas deve priorizar o uso de medidas não-estruturais como: zoneamento de enchentes, seguro e previsão em tempo-real; (v) o controle deve ser estabelecido através do Plano Diretor de Drenagem Urbana e administrado pelos municípios com o apoio técnico dos Estados.

Esses princípios são normalmente aplicados nos países desenvolvidos. No entanto, a realidade brasileira apresenta características que dificultam a implementação de alguns desses princípios.

Os principais problemas identificados são os seguintes:

1. Nas áreas de periferia das grandes cidades, onde o lote tem menor valor agregado, existe uma ponderável implementação de loteamentos clandestinos nas áreas privadas (sem aprovação legal na prefeitura);
2. Invasão em áreas públicas (áreas verdes) reservadas pelo Plano Diretor ou de propriedade pública. Devido ao caráter social da população envolvida, a consolidação se dá pela implementação de água e luz nas habitações;
3. As áreas ribeirinhas de risco de enchentes têm sido ocupadas principalmente pela população de baixa renda, tendo como consequência

freqüentes impactos devido às enchentes;

Como mencionado, as invasões dificultam a regulamentação das áreas de periferia, onde o Plano Diretor é pouco obedecido, no entanto no restante da cidade o processo de densificação (construção de moradias, comércio e indústria) tende a acompanhar a regulamentação, o que permite um controle sobre áreas em que os loteamentos foram implantados.

### **Bases para o plano diretor de drenagem**

Um Plano Diretor de Drenagem Urbana deve buscar: (i) planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infra-estrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais; (ii) controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições na áreas de alto risco e; (iii) convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.

Os condicionamentos urbanos são resultados de vários fatores que não serão discutidos aqui, pois parte-se do princípio que os mesmos foram definidos dentro do âmbito do Plano Diretor Urbano. No entanto, devido a interferência que a ocupação do solo tem sobre a drenagem existem elementos do Plano de Drenagem que são introduzidos no Plano Diretor Urbano ou na legislação de ocupação do solo. Portanto, o Plano de Drenagem Urbana (PDU) deve ser um componente do Plano Diretor de Planejamento Urbano de uma cidade.

Os controles de enchentes são desenvolvidos por sub-bacias e regulamentados a nível de distrito. A filosofia de controle de enchentes é o de: (i) *para a macrodrenagem urbana*: reservar espaço urbano para parques laterais ou lineares nos rios que formam a macrodrenagem para amortecimento das enchentes e retenção dos sedimentos e lixo; (ii) *para as áreas ribeirinhas*: zoneamento de áreas de

inundação, definindo-se zonas de alto e baixo risco de ocupação, e critérios de construção no código de obras da cidade.

No primeiro caso é necessário o seguinte:

1. elaborar a nível de anteprojeto o controle do escoamento na macrodrenagem das sub-bacias, priorizando medidas de retenção e/ou medidas não-estruturais;
2. identificar os limites necessários ao desenvolvimento urbano para as áreas sem ocupação definida (item 2 dos princípios) e caso necessário, alterações na densificação para as áreas aprovadas e não densificadas (item acima);
3. elaboração da regulamentação necessária para impor as condições identificadas.

O anteprojeto envolve: (1) capacidade máxima do escoamento de cada trecho da macrodrenagem; (2) anteprojeto das medidas de controle previstas para os diferentes estágios de desenvolvimento; (3) no caso da existência de parques deve-se incluir as zonas de uso do parque e área de amortecimento com o dispositivo de controle e programa de manutenção.

No caso de áreas ribeirinhas Tucci (1993) apresentou os elementos básicos a serem definidos no controle através de zoneamento de áreas de inundação.

### **Avaliação da capacidade da drenagem atual**

**Abrangência** - A regulamentação se refere às bacias com potencial de desenvolvimento urbano e contantes do Plano de Desenvolvimento Urbano da cidade.

**Módulo de regulamentação** - O módulo de regulamentação definido aqui é o *distrito*. O distrito deve considerar a administração municipal e as condições de escoamento. Cada sub-bacia pode ter vários distritos, delimitados pela administração de municípios que envolvam uma mesma bacia.

**Condições de desenvolvimento** - Em cada sub-bacia existem as seguintes condições: (i) situação atual; (ii) loteamentos e densificações aprovadas; (iii) áreas sem ocupação definida ou sem aprovação para ocupação. Nessa fase deve-se procurar identificar as áreas que poderão ser utilizadas para parques ou áreas de preservação natural.

Essas condições caracterizam os três cenários básicos urbanos. O primeiro caracteriza a situação atual, ou seja, que o custo do controle é do poder público. O segundo caracteriza o cenário do controle a nível de densificação, ou seja na aprovação a nível de construção e, terceiro o controle é a nível de loteamento. Os dois últimos podem ser realizados a custo dos investidores, enquanto que o primeiro exige investimento público.

**Avaliações** - Para a macrodrenagem das sub-bacias, devem ser quantificadas as vazões de cheia para um tempo de retorno adequado ao controle e ao tipo de drenagem. Nessa avaliação deve-se considerar os cenários da bacia mencionados no item anterior, ou seja: (i) condições de drenagem para o cenário de ocupação atual; (ii) com a densificação controlada para não ampliar as cheias naturais e; (iii) com os novos loteamentos também não ampliando as cheias naturais.

**Regulamentação** - Com base nos elementos desenvolvidos nos itens anteriores será possível definir a capacidade dos principais troncos do sistema de drenagem secundária e macrodrenagem. Com base nesses elementos pode-se estabelecer critérios limites para a drenagem urbana na aprovação das construções, baseados em:

1. vazão máxima de saída do lote ou loteamento menor ou igual às condições de pré-desenvolvimento;
2. taxa de impermeabilização e controles específicos do lote.

Portanto, dentro dos cenários citados no item anterior é necessário estabelecer a

regulamentação e prever controles para os problemas identificados, ou seja: (i) áreas invadidas; (ii) loteamentos clandestinos; (iii) passeios e ruas na fase de densificação.

Para o controle deve-se simular os diferentes cenários com as condições mencionadas para sub-bacias pré-definidas que englobem os distritos.

As medidas públicas do plano devem-se concentrar no seguinte: (i) regulamentar a aprovação da densificação e de novos loteamentos; (ii) prever áreas públicas de amortecimentos para a impermeabilização dos passeios e ruas, além das áreas em que o controle é presumidamente difícil devido a ações ilegais.

## Manual de drenagem de urbana

O manual de Drenagem Urbana tem como objetivo orientar os projetistas sobre as restrições e métodos aceitos no dimensionamento da drenagem na cidade e deve conter o seguinte:

**Concepção e princípios do plano diretor de drenagem urbana** - Nesse capítulo devem estar contidos os principais elementos que norteiam o desenvolvimento do Plano Diretor e os princípios básicos tais como: o controle distribuído na bacia hidrográfica, sem transferência para jusante, a previsão dos cenários futuros e seus impactos caso não haja controle distribuído sobre a bacia.

**A regulamentação por distritos de drenagem** - Identificar claramente a regulamentação exigida em cada distrito de drenagem, tais como: densificação permitida, critérios quanto a vazão de saída do desenvolvimento e incentivos existentes para controle de enchentes, condições de manutenção dos sistemas.

**Projeto e critérios** - O manual deve procurar orientar sobre as alternativas potenciais disponíveis sobre o controle da vazão e os principais cuidados. No entanto, o manual não necessita especificar como devem

ser elaborados os cálculos, mas deve especificar os critérios e os métodos básicos aceitos para a avaliação da regulamentação. Isto envolve, entre outros: (i) o tempo de retorno para o qual a vazão não pode ser ampliada; (ii) tempo de retorno de segurança das obras; (iii) controle sobre erosão, a jusante de obras de retenção, se o canal for sem revestimento; (iv) critério para a manutenção.

## CONCLUSÃO

Esse artigo buscou apresentar os principais aspectos da urbanização, as conseqüências desse efeito na drenagem, a avaliação e os elementos básicos para o desenvolvimento de um Plano Diretor de Drenagem Urbana dentro da realidade brasileira.

Essa proposta exige um detalhamento maior para cada cidade dentro de suas peculiaridades, no entanto é uma base inicial que pode auxiliar o desenvolvimento dos planos, viabilizando o controle desse processo dentro do país, onde hoje representa custos significativos para a sociedade.

## REFERÊNCIAS

- ABRH, 1995. *Carta de Recife* Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- BIDONE, F; TUCCI, C.E.M., 1995 *Microdrenagem*, in: Drenagem Urbana, capítulo 3, Editora da Universidade ABRH.
- CAMPANA, N., 1995. *Impacto da Urbanização nas Cheias Urbanas*. Tese de Doutorado Instituto de Pesquisas Hidráulicas UFRGS.
- CAMPANA, N.; TUCCI, C.E.M., 1994 Estimativa de área Impermeável de macro bacias urbanas. *RBE*, Caderno de Recursos Hídricos V12 n.2 p79-94.
- LEOPOLD, L.N., 1968. *Hydrology for Urban Planning – A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use*. USGS circ 554, 18 p.
- MOTTA, J. C., TUCCI, C.E.M., 1984. Simulation of the urbanization effect in flow. *Hydrological Sciences Journal*, v.29, n.2, p.131-147, June.
- NERC, 1975. *Floods Studies Report* NERC.

- SCS, 1975. *Urban Hydrology for Small Watersheds* USDA Soil Conservation Service Technical Release n. 55, Washington DC
- SIMONS, D.B. et al. 1977. *Flood Flows, Stages and Damages*. Fort Collins. Colorado State University.
- TUCCI, C.E.M., 1993. *Controle de Enchentes* in: *Hydrologia: Ciência e Aplicação*. ABRH Edusp Editora da Universidade.
- TUCCI, C.E.M., 1995 *Enchentes urbanas* in: *Drenagem Urbana*, cap. 1 Editora da Universidade, ABRH
- TUCCI, C.E.M.; BRAGA, B.P.F; SILVEIRA, A. 1989. Avaliação do Impacto da urbanização nas cheias urbanas. *RBE*, Caderno de Recursos Hídricos Vol7 n.1
- TUCCI, C.E.M. e GENZ, F., 1995 *Controle da Urbanização* in: *Drenagem Urbana* Editora da Universidade ABRH

## **Urban Drainage Master Plan: Principles and Conceptions**

### **ABSTRACT**

*Floods in brazilian cities is a process created by the lack of rules in the urban occupation. The cost of this control is high when the urbanization is already developed. A preventive control mesasure, where the costs are low, is the Urban Drainage Master Plan.*

*In this article are presented the quantitatives elements of urban impacts, principles of control and the proposed structure of a sound Urban Drainage Master Plan.*