

Estudo da Cobrança pela Drenagem Urbana de Águas Pluviais por meio da Simulação de uma Taxa de Drenagem

Nilo de Oliveira Nascimento, Vanessa Cançado e José Roberto Cabral

UFMG – Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – niloon@ehr.ufmg.br

Recebido: 14/07/05 – revisado: 23/08/05 – aceito: 19/05/06

RESUMO

Este artigo apresenta simulações objetivando a criação de uma taxa sobre os serviços de drenagem urbana. A cobrança ocorre via custo médio de implantação e manutenção. A utilização do custo médio é uma forma de rateio dos custos do sistema entre seus usuários que possibilita o autofinanciamento dos serviços. Na demonstração empírica da taxa utiliza-se como base de cobrança uma bacia hidrográfica hipotética. Os cenários de impermeabilização máxima e de adensamento da bacia são definidos a partir da legislação urbana do município de Belo Horizonte e de seu adensamento real. Estes são utilizados para o dimensionamento dos sistemas de drenagem e para a definição da magnitude da taxa a ser cobrada. Além do sistema clássico, analisam-se os custos de uma tecnologia alternativa de drenagem, o reservatório de retenção no lote.

Palavras-chave: custo médio; drenagem urbana; taxa de cobrança

INTRODUÇÃO

A drenagem urbana no Brasil é tradicionalmente financiada pelo Tesouro municipal, ou seja, pelo contribuinte em geral, sem qualquer relação com o consumo individual do serviço. Isso ocorre principalmente devido às dificuldades de mensuração da demanda de cada usuário dos serviços. Não é possível medi-la com aparelho, como no caso do abastecimento de água e do consumo de energia elétrica.

Entretanto, existem técnicas que permitem estimar o consumo individual dos serviços de drenagem e ligá-lo ao custo de sua provisão, um dos elementos relevantes para a implantação de uma taxa dessa natureza. Esta é uma forma de sinalizar para o usuário a existência de valor para a provisão do serviço de drenagem urbana. Existem custos na sua provisão, custos que variam principalmente em função da parcela de solo impermeabilizada.

Este trabalho apresenta uma forma de taxa sobre os serviços de drenagem urbana definida por meio do custo médio de implantação e manutenção do sistema. Ao utilizar o custo médio como referência, privilegia-se o financiamento dos serviços, sem sobrelucro para os investidores ou supertaxação para os usuários. As características dos serviços de drenagem, que possuem alto custo de capital e custos marginais bastante pequenos, dificultam a utili-

zação do custo marginal ou do benefício marginal como parâmetro de cobrança. Uma cobrança igual ao custo marginal não é capaz de cobrir integralmente os custos do sistema. Utilizar o critério de utilidade, com a definição de uma remuneração por meio do benefício marginal, tem complicadores pelas dificuldades em se estimar os benefícios individuais. Muitos usuários não percebem o valor dos serviços ou não estão dispostos a declarar os seus verdadeiros benefícios.

O custo médio é obtido dividindo-se o custo total do sistema pelo total da área impermeabilizada atendida por ele. A utilização da área impermeável como base de taxa está associada a algumas causas e objetivos. Como é bem conhecido, a impermeabilização de superfícies, decorrente da urbanização, produz impactos consideráveis sobre o meio. Em uma bacia hidrográfica, o aumento das superfícies impermeáveis está associado, entre outros efeitos, à diminuição dos volumes de infiltração e ao aumento dos volumes de escoamento superficial. A implantação de redes de canais de drenagem pluvial, segundo técnicas convencionais, aumenta significativamente a densidade de drenagem da bacia e as velocidades de escoamento superficial, levando a sua rápida concentração nos fundos de vale. Como consequências destas alterações no meio natural observam-se aumentos dos volumes de escoamento superficial e das vazões máximas bem como a antecipação dos picos de cheia. Outros impactos são, ainda,

constatados sobre a qualidade de água dos meios receptores (e.g.: Porto, 1995; Nascimento *et al.*, 1999).

No tocante a aspectos operacionais da cobrança pelo serviço de drenagem pluvial, o conceito de “área impermeabilizada” parece ser de simples entendimento pelo usuário do sistema. Ele pode compreender a racionalidade da cobrança e, em função do valor estabelecido para a taxa, preocupar-se com a impermeabilização da sua propriedade. O caráter incitativo da cobrança pode, desse modo, trazer significativos ganhos ambientais.

A avaliação dos custos da drenagem urbana de águas pluviais e de sua repartição entre os usuários do sistema, por meio de uma taxa de drenagem pluvial, é aqui realizada via simulação. Para tal, concebeu-se uma bacia virtual tendo-se variado, de forma significativa, os modelos para sua ocupação urbana, particularmente no tocante às taxas de impermeabilização permitidas em cada lote. Dois modelos de sistemas de drenagem pluvial foram adotados para efeito de comparação: (i) o modelo convencional, composto por estruturas tais como as sarjetas, bocas de lobo, redes tubulares de microdrenagem, bem como estruturas de macrodrenagem – galerias subterrâneas e canalizações de cursos d’água urbanos; e (ii) um modelo que combina o emprego de técnicas compensatórias, no presente caso, os microreservatórios domiciliares, com as técnicas convencionais, estas destinadas à drenagem de áreas públicas, como as vias. O emprego de uma bacia virtual justifica-se pelo objetivo de não associar a casos particulares os resultados e as análises aqui desenvolvidas.

CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Base geográfica de estudo: bacia virtual ou hipotética

Como base geográfica para as simulações envolvendo a criação de uma taxa de drenagem, utilizou-se uma bacia hipotética com área total de drenagem de 6,90 km², área urbanizável de 5,47 km² e uma reserva de área natural a montante, a ser preservada, perfazendo 1,43 km². A área urbana é dividida em 400 quarteirões, com área de 10.000 m² cada. O sistema viário é composto por uma via de fundo de vale, com 35 m de largura e vias secundárias de 15 m de largura. A figura 1 ilustra, de forma simplificada, o conceito de bacia virtual aqui empregado.

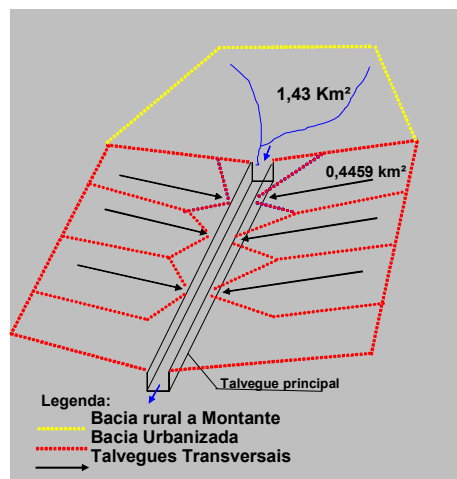


Figura 1 – Representação esquemática da bacia hidrográfica e sub-bacias

A despeito do caráter virtual da bacia, o modelo de ocupação urbana foi, em grande parte, orientado tanto pela legislação de uso e ocupação do solo de Belo Horizonte quanto pela realidade de uso do solo praticada nesse município. A escolha de Belo Horizonte deveu-se, sobretudo, à ampla disponibilidade de informação sobre o tema, no município. Entretanto, a metodologia empregada no presente estudo pode ser facilmente adaptada a outros modelos de ocupação urbana. Ademais, o caráter geral do estudo, como se verá, é assegurado por uma ampla variação de parâmetros de ocupação urbana. Desta forma, o parcelamento da bacia, composto pelos quatrocentos quarteirões, foi definido a partir de dois critérios principais: a distribuição de tamanho de lotes em Belo Horizonte e a lei de parcelamento do município - Lei 7.166. Da mesma forma que na capital mineira, na bacia hipotética há predominância de lotes com áreas entre 300 e 400 m² (49,5% do número total), seguidos dos de área entre 400 e 500m² (28,2%). No parcelamento, limitações legais foram respeitadas, como o tamanho mínimo de lote permitido em cada zona e a interdição de terrenos com comprimento superior a três vezes a sua largura.

A bacia hipotética (ou virtual) é de ocupação residencial. Todo o trabalho concentrou-se em uma cobrança sobre habitações. Simulações envolvendo áreas comerciais, industriais, de serviços e equipamentos urbanos possivelmente seguiriam princípios semelhantes.

Zoneamento da bacia

O município de Belo Horizonte é dividido em zonas diferenciadas “segundo os potenciais de adensamento e as demandas de preservação e proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística” (Belo Horizonte, 1996). Conforme esses potenciais e demandas, são definidos parâmetros urbanísticos que orientam o zoneamento do município: coeficiente de aproveitamento, quota terreno por unidade habitacional, taxa de permeabilização, taxa de ocupação, gabarito, afastamentos frontal, lateral e de fundo, altura na divisa e outros. Embora existam quinze zonas em Belo Horizonte, apenas oito delas são utilizadas como referência na bacia hipotética. Foram excluídas aquelas que não se configuram como zonas residenciais típicas ou que apresentam grandes particularidades: zonas de proteção ambiental e de preservação, zonas de grandes equipamentos urbanos (como a área de uma universidade) e zonas de ocupação desordenada e irregular, com grande precariedade dos serviços urbanos.

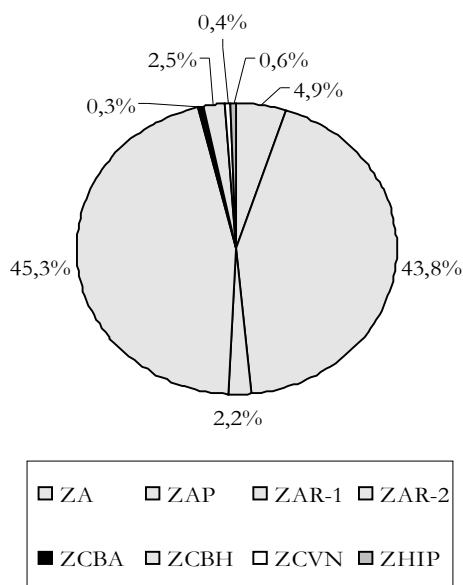


Figura 2 – Participação percentual das zonas na bacia hipotética Fonte - Mapa da Lei 7.166 (Prodabel, PBH)

Basicamente, dois parâmetros urbanísticos são utilizados para caracterizar as zonas da bacia virtual: a quota de terreno por unidade habitacional e a taxa de permeabilização. “A quota de terreno por unidade habitacional é o instrumento que controla o nível de adensamento nas edificações destinadas ao uso residencial [...]” (Belo Horizonte,

1996). A divisão da área do lote por esta quota resulta no máximo de unidades domiciliares permitidas no lote; quanto menor este valor, maior o número de domicílios permitidos. A taxa de permeabilização é a relação entre a área descoberta e permeável do lote e sua área total (Belo Horizonte, 1996).

A partir da referência legal de Belo Horizonte, adotou-se na bacia hipotética um zoneamento misto formado pelas seguintes zonas: de Adensamento Restrito 1 (ZAP1), de Adensamento Restrito 2 (ZAP2), Adensada (ZA), de Adensamento Preferencial (ZAP), Central do Barreiro (ZCBA), Central de Venda Nova (ZCVN), Hipercentral (ZHIP) e Central de Belo Horizonte (ZCBH). A participação das zonas na bacia virtual segue a distribuição percentual de zonas estabelecida pela Lei 7.166 (figura 2).

Cenários de impermeabilização máxima

Foram adotados, na bacia virtual, seis cenários de impermeabilização máxima da área de lotes (Tabela 1).

Tabela 1 – Cenários de impermeabilização máxima da área de lotes da bacia

Cenários	Percentual de Impermeabilização
I	100%
II	80%
III	70%
IV	60%
V	50%
VI	30%

Segundo a Lei 7.166, as zonas selecionadas para a bacia permitem a impermeabilização de até 80% da área do lote. O cenário I corresponde, portanto, a uma situação de ilegalidade e é aqui empregado para revelar os efeitos das dificuldades de controle da ocupação urbana.

Cenários de Adensamento

O adensamento da bacia não é uma informação necessária à modelagem para fins de dimensionamento dos sistemas de drenagem pluvial. O parcelamento e os cenários de impermeabilização máxima, isoladamente, são suficientes para tal. A importância do adensamento está na definição do

custo médio dos serviços. Por meio dele estima-se o custo por unidade domiciliar e permite-se, igualmente, avaliar a capacidade de pagamento do proprietário da residência.

Nesse estudo, dois tipos de adensamento são considerados: o padrão Belo Horizonte e o adensamento máximo permitido na legislação. No primeiro, utilizou-se como referência o adensamento atual em Belo Horizonte, agregando o número de domicílios particulares permanentes (DPP) em cada setor censitário (IBGE, Censo Demográfico, 2000) por zonas da capital. Este procedimento é feito por meio da espacialização dos dados censitários de Belo Horizonte e seu cruzamento com o mapa da Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo do Município, 1996 (Prodabel, PBH). Desta forma mantém-se na bacia virtual a mesma proporção de domicílios residenciais por zona de Belo Horizonte. No segundo tipo de adensamento, trabalha-se com o limite máximo de unidades domiciliares por terreno permitido pela Lei 7.166, limite fixado por meio do parâmetro “quota de terreno por unidade habitacional”. A Tabela 2 contém os resultados:

Tabela 2 – Adensamento da Bacia Hipotética

Número de Lotes	Número de Domicílios	
	Padrão Belo Horizonte	Adensamento Máximo (Legislação)
8.240	19.724	123.622

No cenário que tem como referência Belo Horizonte, observa-se um adensamento significativamente menor do que o máximo permitido na legislação. No cenário de adensamento máximo todos os lotes da bacia possuem edificações residenciais verticalizadas, permitidas pelo zoneamento. O resultado para o adensamento máximo, embora legal, pode estar um pouco superestimado porque na bacia virtual, por simplicidade, não foram considerados parques, praças, estabelecimentos industriais, comerciais ou de serviços, imóveis tombados etc, o que é freqüente em qualquer município.

Definição dos custos do sistema de drenagem

Os custos de drenagem urbana de águas pluviais utilizados nesta análise são divididos em dois grandes grupos: custos de implantação e custos de

manutenção. O somatório desses custos é o custo total do sistema.

Esses custos foram inicialmente estimados a partir do dimensionamento de seis sistemas convencionais de drenagem pluvial segundo os seis cenários de taxa de impermeabilização distintos, previamente definidos (c.f. Tabela 1). Em cada cenário, variou-se apenas a taxa de impermeabilização dos lotes, mantidos constantes os parâmetros que caracterizam a bacia hidrográfica (área, forma, partição em sub-bacias, topologia, declividades características, tipo de solo e cobertura vegetal naturais nas áreas não ocupadas) e os demais parâmetros de uso e ocupação do solo nas áreas urbanizadas (parcelamento, zoneamento e sistema viário).

As estimativas de vazões de dimensionamento foram feitas por modelagem hidrológica com o emprego do modelo HEC-HMS, versão 2.2.2 (HEC, 2003). As precipitações de projeto foram estimadas adotando-se a equação de chuvas intensas proposta por Pinheiro e Naghettini (1998) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). A distribuição espacial da precipitação foi considerada uniforme, na bacia. Sua distribuição temporal foi estabelecida empregando-se hietogramas adimensionais igualmente propostos por Pinheiro e Naghettini (1998). Áreas de drenagem inferiores a 0,5 km² foram modeladas pelo método racional, com coeficientes de escoamento superficial, C, estimados por metodologia sugerida por Tucci (2000). Para áreas de drenagem superiores a 0,5 km² adotou-se o método SCS (McCuen, 1982) tanto para a geração das precipitações efetivas quanto para o cálculo dos hidrogramas de cheia, nesse caso, com o emprego do hidrograma unitário adimensional. Os parâmetros CN do método SCS foram estimados com base no tipo de solo da bacia, definido *a priori* como tipo B (solos arenosos, com permeabilidade superior à média e capacidade de infiltração mínima entre 4,0 e 8,0 mm/h) e em condições iniciais de umidade do solo de tipo II (estado intermediário entre solos secos ou saturados). A propagação dos hidrogramas de cheia na rede de canais foi realizada empregando-se o método Muskingum-Cunge.

O dimensionamento das estruturas hidráulicas de drenagem para os diferentes cenários de impermeabilização foi realizado com o auxílio do modelo de simulação hidráulica HEC-RAS, versão 3.1.1 (HEC, 2002), tendo em conta as vazões máximas de dimensionamento obtidas por simulação hidrológica. A modelagem hidráulica dos escoamentos na rede de drenagem (micro e macrodrenagem) foi feita em regime de escoamento variado, a superfície livre. Cada sistema dimensionado é composto

por estruturas de microdrenagem (sarjetas, bocas de lobo, redes coletoras tubulares e poços de visita) e de macrodrenagem, constituídas por canais fechados, de seção transversal retangular, em concreto armado. Os dimensionamentos foram feitos adotando-se tempos de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos, segundo as funções e localização das estruturas hidráulicas no sistema.

Dimensionados os sistemas de drenagem, o cálculo dos custos de implantação baseou-se nos preços unitários que remuneraram os serviços de infra-estrutura urbana praticados pela Sudcap-BH (Superintendência de Desenvolvimento da Capital-Belo Horizonte) sendo os mesmos referentes ao mês de Janeiro de 2003. Aos custos tabelados aplicou-se uma majoração de 45% referente ao custeio de Bonificação e Despesas Indiretas (BDI). BDI correspondem à remuneração de despesas indiretas de obras tais como a organização local de acompanhamento de obra (engenharia, administração), gastos com energia e água, impostos e taxas, custos financeiros e remuneração de capital do construtor. A majoração de 45%, aqui adotada, é tipicamente empregada no caso de obras públicas, no Brasil. Esta majoração é, usualmente, utilizada para cobrir custos relacionados ao desenvolvimento de projeto, à instalação do canteiro de obras e à mobilização de equipes de projeto e de construção.

Os custos de manutenção incluem custos de limpeza e desobstrução de estruturas hidráulicas e custos de recuperação de patologias. Nesse último caso, devido à ausência de procedimentos sistemáticos para recuperação e manutenção dos sistemas de drenagem urbana, utilizou-se como referência o custo de recuperação de uma galeria de macrodrenagem de Belo Horizonte, realizada no ano de 2001, em reais, atualizado para janeiro de 2003. Esse trabalho de recuperação de patologias é uma das ações do Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte (Sudcap, 2001). Os custos de manutenção foram distribuídos ao longo de trinta anos, prevendo-se a recuperação de patologias estruturais em cinco etapas, concentradas nos anos 5, 9, 16, 23 e 30 anos.

Definição do custo médio dos sistemas de drenagem

O custo médio dos sistemas de drenagem é a base para a cobrança dos serviços aqui avaliada. Para sua definição, foram necessários dois procedimentos de matemática financeira: (i) a elaboração dos fluxos de caixa, com os custos do financiamento de implantação e de manutenção, e (ii) a uniformização dos fluxos de caixa.

Para a elaboração dos fluxos de caixa, considerou-se que os recursos para implantação do sistema de drenagem foram viabilizados por meio de um empréstimo hipotético, com características dos financiamentos via Banco Nacional de Desenvolvimento Social – BNDES. Utilizou-se como taxa de juros a TJLP (Taxa de Juros de Longo Prazo) de outubro de 2003 (11,0% ao ano), *spread* básico de 1% ao ano e *spread* de risco de 4,63% ao ano. Consideraram-se três desembolsos anuais iguais (anos 1, 2 e 3) e prestações anuais constantes. Adotaram-se carência de três anos, a cada desembolso, quando são pagos apenas juros e *spread*, e prazo de amortização de 20 anos. Este empréstimo segue um padrão conservador. Alternativas a menor custo são possíveis no próprio BNDES e em bancos internacionais, como o Banco Mundial e Banco Interamericano de Desenvolvimento, que tradicionalmente emprestam a menores taxas do que os bancos nacionais. Não há um padrão único para os financiamentos. Existem princípios norteadores a partir dos quais os projetos são avaliados e negociados individualmente por esses organismos.

Na definição dos custos de manutenção dos sistemas utilizou-se um horizonte de trinta anos a partir da entrada em operação da rede de drenagem. Este período representa, aproximadamente, a vida útil típica das estruturas de macrodrenagem. Para a remuneração destes custos, trabalha-se com a taxa base da economia, a Selic de outubro de 2003: 20% ao ano, não se desconhecendo que esta taxa é extremamente flutuante.

Para o cálculo do custo total do sistema de drenagem foi feita uma distribuição uniforme do valor presente dos custos de manutenção e implantação ao longo de trinta anos, tempo estabelecido para a simulação da cobrança da taxa de drenagem por corresponder à vida útil média das estruturas de macrodrenagem. Neste caso, empregou-se uma taxa de juros duplamente ponderada: pelo valor presente dos custos de implantação e manutenção e pelo prazo de incidência destes (Quadro 1).

A taxa de juros incidente sobre o custo total reflete, aproximadamente, as demais taxas de remuneração envolvidas nos componentes do custo, assemelhando-se a uma taxa interna de retorno (TIR). Para que a implantação e manutenção dos serviços de drenagem sejam viáveis financeiramente, é necessário que a receita gere uma taxa de desconto menor ou igual a 16,87% ao ano.

Calcula-se o valor presente dos custos no ano três, pois é a partir do quarto ano que o sistema de drenagem entra em operação. Ressalta-se que o objetivo é o de definir uma anuidade média que

reflita o custo de uma eventual cobrança pelos serviços de drenagem pluvial, admitindo-se que a demanda pelo sistema só se manifeste a partir da implantação completa do mesmo.

Quadro 1 - Procedimentos para uniformização dos fluxos

Características	Implantação	Manutenção	Total
Taxa de Juros ao Ano (i)	16,63%	20,00%	16,87%
Valor Presente (VP)	Ano 3	Ano 3	Ano 3
Prazo de Pagamento	20 anos	30 anos	30 anos
Fórmula de Cálculo do Custo Anual	Anuidade = $VP \times \frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1}$		

Determinação do custo por metro quadrado de área impermeabilizada

Calculados os custos anuais de implantação, manutenção e total, a etapa seguinte é defini-los por unidade de área impermeabilizada. Na bacia virtual, as vias e passeios possuem taxa de impermeabilização de 100% e a área natural, de 0%; portanto, as variações de impermeabilização da bacia ocorrem nos lotes (Tabela.3).

O custo unitário médio do sistema, ou seja, o custo médio por unidade de área impermeabilizada é dado por:

$$p = Cme = CT / (\sum a_{ij} + a_{iv}) \quad (1)$$

sendo:

p = cme = Custo unitário médio do sistema

CT = custo total do sistema

a_{ij} = área impermeabilizada do imóvel j

$\sum a_{ij}$ = parcela do solo impermeabilizada pelos imóveis na área urbana coberta pelo sistema de drenagem

a_{iv} = parcela do solo impermeabilizada pelas vias na área urbana coberta pelo sistema

A taxa de drenagem é, então, definida tomando por referência a área impermeabilizada na propriedade privada (lote) e o custo unitário médio do sistema:

$$\text{Taxa de Drenagem} = p \times a_{ij} \quad (2)$$

Tabela 3 - Impermeabilização na Área de Lotes da Bacia Virtual

Taxa de impermeabilização das áreas dos lotes	Área impermeabilizada (em m ²)
100%	4.000.000
90%	3.600.000
80%	3.200.000
70%	2.800.000
60%	2.400.000
50%	2.000.000
40%	1.600.000
30%	1.200.000
20%	800.000
10%	400.000
0%	0

Sistema alternativo de drenagem: lotes equipados com microreservatórios

Além da tecnologia convencional de drenagem urbana de águas pluviais, esse estudo contempla, igualmente, simulações de custos de um sistema que associa a tecnologia convencional com o emprego de microreservatórios domiciliares de águas pluviais nos lotes.

As características físicas da bacia virtual e os parâmetros que norteiam o uso do solo na área urbanizada são os mesmos descritos para os cenários com sistema convencional de drenagem urbana. O amortecimento do hidrograma afluente ao microreservatório foi calculado empregando-se o método de Puls. Os demais procedimentos metodológicos adotados para dimensionar o sistema combinado de drenagem são os mesmos já descritos para o caso do sistema convencional.

O dimensionamento dos microreservatórios fez-se com base na definição de uma vazão de saída dos mesmos, aqui denominada vazão efluente de referência. Para definir tal vazão, adotaram-se aqui dois enfoques. No primeiro deles, ela foi feita igual à vazão natural efluente de cada lote, estimada supondo-se taxa de impermeabilização do lote igual a zero. Com isso, as estruturas do sistema convencional de drenagem, ainda necessárias, foram dimensionadas para drenar as vazões naturais provenientes dos lotes somadas àquelas geradas pelo sistema viário, esse, com taxa de impermeabilização de 100%. Considerando-se que o custo total de implantação do sistema combinado de drenagem é a soma os custos de implantação dos microreservatórios com

os do sistema convencional, e que as dimensões e custos de ambos variam com a vazão efluente definida para o dimensionamento dos microreservatórios, no segundo enfoque adotou-se como vazão de referência para seu dimensionamento aquela que levasse à minimização do custo total de implantação do sistema combinado, segundo uma ótica de custo-efetividade.

O microreservatório é uma estrutura de microdrenagem que também contribui para a redução de vazões transportadas pelo sistema de macrodrenagem, redução essa que depende de critérios de projeto associados tanto à fixação da vazão efluente de referência, já discutida, quanto ao tempo de retorno e à duração da precipitação de projeto. Os tempos de retorno usualmente empregados no dimensionamento de estruturas de microdrenagem situam-se entre 5 e 10 anos. Em um lote, a duração crítica da precipitação de projeto é da ordem de 5 a 10 minutos. Para as estruturas de macrodrenagem em bacias com áreas de drenagem semelhantes à da bacia virtual em foco, empregam-se tempos de retorno de dimensionamento de 25 a 50 anos. A duração da precipitação de projeto, nesses casos, deverá situar-se em torno de 30 minutos. Isso significa que o evento de projeto de macrodrenagem produzirá a saturação e o extravasamento dos microreservatórios. Porém, dimensionar os microreservatórios de forma a que não extravasem para o evento de projeto das estruturas de macrodrenagem certamente resultará, entre outros fatores negativos, em custos de implantação muito elevados. Uma avaliação preliminar dos impactos das escolhas do tempo de retorno e da duração dos eventos de projeto sobre os custos totais dos sistemas combinados conduziu à adoção do tempo de retorno 25 anos e da duração 10 minutos para o dimensionamento dos microreservatórios.

Outros fatores de influência sobre o dimensionamento dos microreservatórios são o tamanho do lote e sua taxa de impermeabilização. Por outro lado, a distribuição dos tamanhos dos lotes e o parcelamento, definem o número de lotes na bacia e são fundamentais para a determinação do custo total de implantação da técnica. Como, nesse estudo, procurou-se uma otimização de dimensões dos microreservatórios tendo em vista seus custos de implantação e aqueles do sistema convencional de drenagem, tornou-se indispensável realizar uma simplificação de procedimentos de cálculo, dado o elevado número de cenários e critérios de projeto em estudo. Esse procedimento consistiu em adotar-se, para o parcelamento, um lote padrão com área estimada como aquela que não introduzisse viés

sobre o cálculo do custo total de implantação dos microreservatórios. Para tal, dimensionaram-se, inicialmente, os microreservatórios para o parcelamento original da bacia virtual (lotes de distintas áreas) e taxa de impermeabilização de 70% (cenário III), calculando-se o custo total para sua implantação. Em seguida, buscou-se um parcelamento equivalente, com lotes de área uniforme, cujo custo total de implantação dos microreservatórios resultasse o mesmo do obtido com o parcelamento original. Adotou-se esse lote equivalente nos estudos de otimização de dimensionamento do sistema combinado.

Como tipologia construtiva para os microreservatórios, utilizaram-se caixas com paredes de alvenaria de blocos, tampa e base em concreto. Estes possuem custo relativamente baixo e razoável durabilidade. Como rotina de manutenção, consideraram-se quatro lavagens anuais com custo de faxineiro, de energia elétrica e de consumo de água. Previu-se, ainda, a recuperação anual de 2% da área de alvenaria com uma camada de cimento para regularização e de 1% da área de concreto (calafetagem com argamassa de cimento e areia).

Finalmente, por diferença com o sistema puramente convencional, adotaram-se aqui dois enfoques para o tratamento de fundo de vale: (i) a canalização do curso d'água principal em canal fechado, em concreto armado e (ii) a preservação desse curso d'água em sua calha natural. No segundo enfoque, considerou-se a implantação de um parque linear ao longo do curso d'água, inundável para eventos de mais rara ocorrência, levando a uma perda de área de parcelamento (redução do número de lotes), no fundo de vale. O implante do parque linear ocupa uma área com 30 m de largura em cada margem do curso d'água. O número total de lotes passa de 8.240 para 6.720, obtendo-se 1,28 km² suplementares em área preservada. Consideraram-se os custos de implantação e manutenção do parque linear e de estruturas hidráulicas associadas às travessias do sistema viário (bueiros).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Sistema de drenagem convencional

Os custos obtidos com os diferentes sistemas convencionais de drenagem pluvial dimensionados segundo os seis cenários de taxa de impermeabilização são apresentados na forma de custos totais (Ta-

bela 4), custos unitários médios (Tabela 5) e custos por lote (Tabela 6).

Percebe-se pelos dados da Tabela 4 a expressiva predominância dos custos de implantação sobre os custos de manutenção. Eles representam cerca de 90% dos custos totais. Mesmo em um cenário de baixa impermeabilização (VI), os custos são elevados, consequência das características técnicas dos serviços que exigem plantas mínimas de grandes dimensões. A parcela principal do custo relaciona-se às estruturas de macrodrenagem, cerca de 60% do total (Nascimento *et al.*, 2004).

Tabela 4 – Custos do sistema convencional de drenagem, por cenários de impermeabilização – Bacia Hipotética – Em milhões de reais de janeiro de 2003.

Cenários	Implantação	Manutenção	Total
I	55,87	3,30	59,17
II	50,98	3,17	54,15
III	48,31	3,04	51,35
IV	45,97	2,95	48,93
V	44,05	2,93	46,98
VI	38,60	2,70	41,31

Tabela 5 – Custo anual total do sistema convencional de drenagem, por metro quadrado de área impermeabilizada do lote – Bacia Hipotética – Em reais de janeiro de 2003.

Impermeabilização do lote	Custo anual por m ² de área impermeabilizada					
	Cenários					
	I	II	III	IV	V	VI
100%	2,49					
90%	2,69					
80%	2,92	2,67				
70%	3,19	2,92	2,77			
60%	3,52	3,22	3,05	2,91		
50%	3,92	3,59	3,40	3,24	3,11	
40%	4,43	4,06	3,85	3,67	3,52	
30%	5,10	4,67	4,42	4,21	4,05	3,56
20%	6,00	5,49	5,20	4,96	4,76	4,18
10%	7,28	6,66	6,32	6,02	5,78	5,08
0%	9,27	8,48	8,04	7,66	7,35	6,46

Outro resultado relevante, revelado pelos dados da Tabela 4 e confirmado por aqueles da Tabela 5 é que, a despeito de as taxas de impermeabilização variarem de 30% para 100%, entre os cenários VI e I, seus respectivos custos totais sobem de 41,31 milhões para 59,17 milhões, um aumento de

43%, indicando que os custos unitários médios caem com a taxa de impermeabilização.

A Tabela 5 mostra os valores encontrados de custos unitários médios, considerando-se que em cada lote foi praticada a taxa máxima de impermeabilização permitida (valor indicado na primeira linha da coluna correspondente ao cenário). Ela contém, igualmente, os custos unitários médios admitindo-se que os proprietários dos lotes tenham adotado taxas de impermeabilização inferiores às máximas permitidas em cada cenário, a despeito do sistema de drenagem ter sido dimensionado para o limite de impermeabilização permitido. Observa-se que apenas o sistema projetado para o cenário I cobre todas as possibilidades de impermeabilização do conjunto de lotes, pois é dimensionado para uma taxa de impermeabilização máxima de 100%. Esse cenário apresenta os menores custos unitários para taxas de impermeabilização de lotes superiores a 80%. Porém, sua implantação em uma bacia cuja taxa de impermeabilização de lotes finalmente estacione em 80% não é financeiramente vantajosa, uma vez que, nesse caso, seu custo unitário é de R\$ 2,92/m², enquanto a opção pelo cenário II, limitado a 80% de impermeabilização da área do lote, resulta em um custo unitário inferior, de R\$ 2,67/m².

Chega-se ao mesmo tipo de resultado comparando-se os outros cenários entre si, o que permite concluir que um sistema de drenagem convencional só é financeiramente viável se utilizado no limite de capacidade para o qual foi dimensionado. Se essa conclusão parece evidente, ela é reveladora da pequena flexibilidade de implantação oferecida pela tecnologia dos sistemas convencionais de drenagem. De fato, esses sistemas dificilmente podem ser implantados de forma modular, acompanhando a ocupação urbana da bacia. Essa ocupação geralmente se faz ao longo de alguns anos, período no qual pode haver mudanças de parâmetros de ocupação urbana, legalizados por alterações na lei de uso e ocupação do solo, ou simplesmente resultantes da incapacidade do poder público municipal em fazer respeitá-la. O fato de não ser modulável é uma séria restrição tecnológica dos sistemas convencionais de drenagem, podendo implicar em custos futuros expressivos, na eventualidade de tornar-se necessário o aumento da capacidade de drenagem de um sistema já implantado, uma experiência comum a inúmeros municípios brasileiros. O corolário é que a subutilização de um sistema convencional de drenagem é financeiramente pouco vantajosa, já que uma vez dimensionado, o sistema tem de ser financiado, mesmo se a expectativa de impermeabilização futura não se concretizar.

A análise do custo por lote, admitindo-se a implementação de uma taxa de drenagem, encontra-se na esfera do interesse privado. Os resultados aqui apresentados sobre esse tema (Tabela 6) consideram, para efeito de síntese, um lote de área 485 m², resultante da média ponderada das áreas dos lotes na bacia virtual. O estudo completo, tendo em conta a distribuição de áreas de lotes efetivamente adotada na bacia, encontra-se Nascimento *et al.* (2004).

Tabela 6 – Custo anual médio por lote, sistema convencional de drenagem – Bacia Hipotética – Em reais de janeiro de 2003

	I	II	III	IV	V	VI
100%	1.208					
90%	1.173					
80%	1.132	1.036				
70%	1.083	991	940			
60%	1.025	937	889	847		
50%	952	871	826	787	756	
40%	861	788	747	712	683	
30%	743	679	644	614	589	518
20%	582	533	505	481	462	406
10%	354	323	307	292	280	247

Tabela 7 – Custo anual médio do sistema clássico de drenagem por unidade domiciliar – Cenários Padrão Belo Horizonte e Adensamento Máximo – Bacia Hipotética – Em reais de janeiro de 2003

Cenários	Intervalo de Custo Anual por U.D	
	Padrão Belo Horizonte	Adensamento Máximo
I	134,93 a 461,07	23,48 a 80,24
II	123,43 a 395,24	21,48 a 68,79
III	117,03 a 358,64	20,37 a 62,42
IV	111,50 a 323,17	19,41 a 56,24
V	107,05 a 288,36	18,63 a 50,19
VI	94,08 a 197,64	16,37 a 34,40

O intervalo de variação do custo por lote encontra-se entre R\$ 247,00 e R\$ 1.208,00, em função da taxa de impermeabilização do lote e do cenário utilizado. Em uma situação de residências unifamiliares este custo iguala-se ao custo por residência. O fator determinante para sua maior distribuição entre domicílios, logo, a um menor impacto no orçamento familiar se financiado pelo usuário do

sistema, é o potencial de adensamento da região. Essa constatação põe em evidência o poder potencial de incitação a um maior adensamento que poderá advir da adoção da cobrança pela drenagem pluvial com base na taxa de impermeabilização do lote.

A Tabela 7 apresenta o custo por unidade domiciliar (UD) segundo os dois cenários de adensamento: “Padrão Belo Horizonte” e “Adensamento Máximo”.

Como o usuário do sistema poderá decidir a taxa de impermeabilização que praticará em sua propriedade, em face da cobrança pela drenagem segundo esse critério, considerou-se, no estudo, uma ampla variedade de decisões da parte desse usuário. Na Tabela 7 o limite inferior corresponde à adoção de uma taxa de impermeabilização de 10% e o superior, de 100%. Considerando-se, por exemplo, o cenário I para o padrão Belo Horizonte, encontram-se, respectivamente, os valores de R\$ 134,93 e R\$ 461,07 por ano. No caso do adensamento máximo, nesse cenário, o custo anual de uma impermeabilização de apenas 10% na área de lotes seria de R\$ 23,48, passando a R\$ 80,24, para 100% de impermeabilização. Os valores do “Padrão Belo Horizonte” são mais realistas por basearem-se na realidade atual da ocupação urbana da cidade.

Uma questão relevante é o impacto sobre o orçamento familiar do eventual financiamento dos serviços de drenagem pluvial pelos usuários do sistema. A Tabela 8 apresenta alguns resultados de uma análise desse tipo. Em cada cenário de taxa de impermeabilização, o impacto do custo no orçamento domiciliar depende, por evidência, da taxa de impermeabilização e do adensamento praticados no terreno. Supondo-se uma impermeabilização do lote em 80%, a participação do custo no rendimento do responsável pelo domicílio é de 1,93% no “Padrão Belo Horizonte” e de 0,34% no “Adensamento Máximo”, em ambos os casos considerando o cenário I. Como referência de magnitude, a Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF, elaborada pelo IBGE em 1996, apresenta participações médias no rendimento médio familiar de 3,23%, 0,73%, 1,37%, 1,00% e 1,89% para os custos de aluguel de moradia, imposto predial, condomínio, água/esgoto e energia elétrica, respectivamente. Considerando-se o percentual de 1,93% para a participação do custo de drenagem pluvial, percebe-se sua relevância em relação aos outros componentes do orçamento familiar. A comparação destes valores deve ser feita de maneira apenas indicativa, pois apresenta limitações. As informações do IBGE são de 1996 (em anos recentes houve grande aumento das tarifas), para toda a região metropolitana de Belo Horizonte e

utiliza, como parâmetro, o rendimento familiar e não o do responsável pelo domicílio.

Tabela 8 – Participação do custo do sistema convencional de drenagem no rendimento nominal médio do responsável pelo domicílio – Cenários Padrão Belo Horizonte e Adensamento Máximo – Bacia Hipotética

Cenários de Impermeabilização	Padrão Belo Horizonte	Adensamento Máximo
I	0,6% a 2,1%	0,1% a 0,4%
II	0,6% a 1,8%	0,1% a 0,3%
III	0,5% a 1,6%	0,1% a 0,3%
IV	0,5% a 1,4%	0,1% a 0,3%
V	0,5% a 1,3%	0,1% a 0,2%
VI	0,4% a 0,9%	0,1% a 0,2%

Nota: dados de rendimento obtidos do IBGE (Censo Demográfico, 2000), atualizados para 2003 pelo IGP-DI da FGV.

Sistema de drenagem combinado: lotes equipados com microreservatórios

A Tabela 9 apresenta os custos de quatro sistemas de drenagem pluvial segundo cinco cenários de impermeabilização dos lotes: (i) sistema convencional; (ii) sistema combinado, adotando-se como vazão efluente para dimensionamento dos microreservatórios aquela obtida com 30% de impermeabilização dos lotes (cenário VI); (iii) sistema combinado, adotando-se como vazão efluente para dimensionamento dos microreservatórios a vazão natural e (iv) idem ao sistema “iii”, acrescentando-se a preservação do fundo de vale em estado natural. Considerou-se que a impermeabilização dos lotes é a máxima permitida em cada cenário de impermeabilização. Não há resultados para o cenário VI, porque a vazão efluente do lote, para esse cenário, serve de referência para o dimensionamento dos microreservatórios.

Observa-se que o sistema combinado é a opção financeiramente mais vantajosa apenas quando há incorporação da preservação ambiental do curso d'água, evidenciando o elevado custo de canalização de cursos d'água. Mantendo-se o curso d'água natural, há significativa redução dos gastos com macrodrenagem, o que compensa o custo mais elevado dos microreservatórios em comparação com a microdrenagem convencional. Entretanto, deve-se ter em conta que a preservação do fundo de vale implica em redução do número de lotes e, portanto, em aumento do custo anual por lote. A avaliação desse

impacto mostra que ainda assim a alternativa de uso de microreservatórios e preservação do fundo de vale conduz aos menores custos anuais por lote (Tabela 10).

Tabela 9 – Custo total dos sistemas de drenagem – Bacia Hipotética – Em milhões de reais de janeiro de 2003

Cenários	Sistema Convencional	Sistema Combinado		
		Redução da Vazão de Saída do Lotes ao Cenário:		
		VI	Natural	
			Sem Preserv.	Com Preserv.
I	59,17	63,59	66,60	36,86
II	54,15	57,91	60,71	31,43
III	51,35	56,86	59,47	31,02
IV	48,93	53,37	56,18	27,58
V	46,98	50,43	54,25	25,93

Tabela 10 – Custo anual por lote dos sistemas de drenagem – Bacia Hipotética – Em reais de 2003

Cenários	Sistema Convencional	Sistema Alternativo		
		Redução da Vazão de Saída do Lotes ao Cenário:		
		VI	Natural	
			Sem Preserv.	Com Preserv.
I	1.651,68	1.866,93	1.957,23	1.270,57
II	1.510,95	1.699,25	1.783,04	1.082,50
III	1.432,65	1.667,95	1.746,15	1.068,35
IV	1.364,96	1.565,08	1.649,26	949,32
V	1.310,42	1.478,48	1.591,98	891,95

No caso da Tabela 10, considerou-se a participação do custo total do sistema e não apenas a parcela do custo que recai sobre o proprietário do lote, visando obter a magnitude global dos custos. Por isto, os valores para o sistema convencional são mais elevados do que aqueles listados na Tabela 6. São listados na Tabela 11 os custos dos sistemas combinados para os proprietários dos lotes, admitindo-se que o poder público arcará com a parcela de custos decorrente da impermeabilização das áreas públicas. Nesse caso, o custo para o proprietário do imóvel é bem menor, no sistema combinado. Ao utilizar mi-

croreservatórios com redução da vazão do lote àquela resultante de uma impermeabilização de 30% (cenário VI), o proprietário do terreno arca com os custos de implantação e manutenção do microreservatório e de parte do sistema convencional de drenagem correspondente a 30% de superfície impermeável do seu lote. Se os microreservatórios forem dimensionados para atenuarem a vazão de saída do lote à vazão natural, caberá ao proprietário apenas o ônus de implantação e manutenção do microreservatório, por isso os valores iguais na quarta e quinta colunas da Tabela 11, excetuando-se diferenças de arredondamento de cálculo. A preservação ou não do fundo de vale implica em variações no financiamento do sistema pelo setor público e não pelo dono do terreno.

Tabela 11 – Custo anual por lote (sem a incorporação da impermeabilização das vias) dos sistemas de drenagem – Bacia Hipotética – Em reais de janeiro de 2003

Cenários	Sistema Clássico	Sistema Alternativo		
		Redução da Vazão de Saída do Lotes ao Cenário:		
		VI	Natural	
			Sem Preserv.	Com Preserv.
I	1.208,08	908,21	712,73	712,58
II	1.035,61	769,90	536,10	536,00
III	939,71	711,46	524,81	524,70
IV	846,75	637,23	409,68	409,61
V	755,55	573,57	353,33	353,26

Os custos anuais para o proprietário do lote, no sistema combinado, são ainda bastante elevados, o que decorre, sobretudo, do uso das mesmas hipóteses de financiamento dos microreservatórios em longo prazo, com juros de mercado, empregadas no caso do sistema convencional, uma necessidade metodológica para permitir a comparação entre alternativas. Entretanto, dado que o custo de investimento individual em microreservatórios é relativamente reduzido, o proprietário poderia optar por pagar menos juros, adotando um modelo de financiamento da obra em prazos bem mais reduzidos. A título de exemplo, o reservatório mais oneroso, correspondente ao cenário V, com volume total de 15 m³, tem custo de implantação estimado em R\$ 2.934,00.

PARTICIPAÇÃO DO SETOR PÚBLICO

Esse trabalho considera que uma cobrança pelos serviços de drenagem implica em um rateio dos custos de implantação e manutenção do sistema entre o setor público e os proprietários de lotes. Estes pagariam segundo a área impermeabilizada dos seus terrenos e aquele seria responsável pelo ônus da drenagem das áreas públicas.

A Tabela 12 mostra que a drenagem urbana feita integralmente pelo sistema convencional apresenta menor participação relativa do setor público no financiamento do sistema (via impostos gerais) do que as outras opções tecnológicas, cabendo, neste caso, aos proprietários de imóveis a maior parte do ônus do sistema por meio da cobrança individual pelos serviços.

A explicação está relacionada ao custo do sistema convencional de drenagem. Utilizada isoladamente, a cobrança com base na área impermeabilizada do lote leva a uma grande participação dos proprietários de imóvel no financiamento do sistema convencional. No sistema combinado, a base de incidência da taxa no lote, a área impermeabilizada, é reduzida substancialmente (30% ou 0% nas simulações aqui realizadas), cabendo ao usuário o financiamento de apenas uma pequena parcela do sistema convencional, segundo o cenário, além do microreservatório.

Tabela 12 – Participação dos impostos gerais no financiamento dos sistemas de drenagem – Bacia Hipotética

Cenários	Sistema Convencional	Sistema Alternativo		
		Redução da Vazão de Saída do Lotes ao Cenário:		
		VI	Natural	
			Sem Preserv.	Com Preserv.
I	26,86%	51,35%	63,58%	43,92%
II	31,46%	54,69%	69,93%	50,49%
III	34,41%	57,35%	69,94%	50,89%
IV	37,96%	59,28%	75,16%	56,85%
V	42,34%	61,21%	77,81%	60,40%

Claro que a participação do setor público também varia no interior de uma mesma tecnologia, segundo o percentual de impermeabilização dos lotes. No sistema convencional, quanto maior essa impermeabilização, menor a participação do setor

público. No extremo de 0% de impermeabilização dos lotes, caberá ao setor público arcar com todo o custo dos serviços, pois, uma vez implantado, o sistema de drenagem tem que ser financiado, independente da impermeabilização dos lotes se aproximar ou não daquela idealizada em projeto, uma decisão privada desde que respeitada a lei de uso do solo.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta os resultados da simulação de uma alternativa para o financiamento dos serviços de drenagem urbana, normalmente custeados pelos impostos gerais, sem qualquer relação com a demanda individual.

A adoção da taxa de drenagem, embora possa ter dificuldades políticas, de opinião pública e maior complexidade de implantação do que a usual cobrança via o imposto predial e territorial urbano (Baptista & Nascimento, 2002), apresenta ganhos de transparência, equidade e racionalidade econômica. Associa-se a cobrança ao consumo, possibilitando ao usuário perceber o valor (e os custos) existente no serviço de drenagem urbana, identificar e, possivelmente, racionalizar sua demanda.

A taxa de drenagem não implica, necessariamente, em um aumento do nível geral de tributos. Ela pode vir incluída no IPTU, porém destacada e visível, e representar acréscimos ou decréscimos neste conforme se impermeabilize mais ou menos os terrenos.

As simulações apresentadas e discutidas nesse artigo adotam a cobrança pelo serviço de drenagem como função de duas variáveis tidas como fundamentais para tal: a taxa de impermeabilização dos lotes e o adensamento. Os resultados indicam que o custo individual dos serviços não é desprezível podendo ser uma variável relevante para a tomada de decisão e o comportamento dos decisores, nas esferas privada e pública. Na esfera privada, o decisor pode reagir à cobrança, seja adotando uma taxa de impermeabilização menor em sua propriedade, seja optando por moradias em regiões mais adensadas ou em imóveis com maior número de domicílios por lote.

Ao comparar a técnica convencional de drenagem com a solução combinada, notou-se que a utilização dos microreservatórios é financeiramente viável quando há preservação dos fundos de vale, além de agregar valores ambientais à bacia. Em contraste, há perda de área para fins imobiliários o que

implica em conflito de interesses entre os atores que interferem no espaço urbano. Neste caso, prioridades da administração pública e negociação política, com confrontos de idéias e poder, definirão as ações de uso do solo.

Com base na metodologia utilizada neste trabalho, constata-se que o custo da utilização de microreservatórios é significativamente menor quando comparado à solução convencional, para o proprietário do lote, embora para o setor público isto não ocorra, em termos de custos relativos. Este, principalmente no sistema com microreservatórios, terá que participar com uma parcela elevada para o financiamento da rede de drenagem convencional ainda necessária, mesmo que com estruturas de menores dimensões. Isso decorre das características do sistema convencional, composto por infraestruturas espacialmente distribuídas, em rede, que mesmo com planta mínima, possuem grandes dimensões e elevado custo.

O microreservatório de lote, uma das alternativas compensatórias da urbanização sobre os escoamentos, permite modular o sistema de drenagem pluvial. Seu uso pode ser compulsório, quando o escoamento gerado no lote ultrapassar determinado limite fixado na legislação de uso do solo ou contribuir para a sobrecarga do sistema. Adicionalmente, o estímulo à sua utilização pode vir sob descontos na taxa de drenagem ou no IPTU.

Os estudos envolvendo uma cobrança individual pela drenagem urbana de águas pluviais representam, antes de tudo, um esforço inicial de melhor compreensão econômica dos serviços, com a percepção de seu valor de uso e de troca e de suas características de mercado, oferta e demanda. Investigações posteriores devem aprofundar esses aspectos, com a incorporação de análises custo-benefício, onde aspectos ambientais podem ser incorporados em termos quantitativos, e a percepção do usuário em relação à utilidade e valor da drenagem urbana pode ser explorada. Outro aspecto relevante é a investigação, segundo a ótica do presente artigo, sobre o emprego sistemático de técnicas compensatórias dos impactos da urbanização, tais como as trincheiras de infiltração, os pavimentos permeáveis, as bacias de retenção e outras.

AGRADECIMENTOS

Este projeto foi apoiado pela Financiadora de Estudos de Projetos com recursos do Fundo Setorial CT-HIDRO (FINEP-CT-HIDRO-URBAGUA).

O primeiro autor beneficiou-se de uma bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, Márcio B.; NASCIMENTO, Nilo O. Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. RBRH- *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, RS, v. 7, n.1, p. 29-49, jan/mar 2002.
- BELO HORIZONTE. *Lei No 7.166*, de 27 de agosto de 1996. Estabelece Normas e Condições para Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano no Município. Disponível em < <http://bh55.p-bh.gov.br/legislacao.nsf/>.
- HEC, *River Analysis System – Hydraulic Reference Manual*. U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, Abr. 2002, 482 p.
- HEC, *Hydrologic Modeling System – User's Manual*. U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, Maio 2003, 482 p.
- IBGE. Censo Demográfico de 2000. Disponível em <www.ibge.gov.br>.
- IBGE. Pesquisa de Orçamentos Familiares de 1996. Disponível em <www.ibge.gov.br>.
- MCCUEN, R. H., A guide to hydrological analysis using SCS methods, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1982, 145 p.
- NASCIMENTO, Nilo O., CANÇADO, v. e CABRAL, José R.. *Drenagem Urbana: Características Econômicas e Definição de uma Taxa sobre os Serviços*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos E-E/UFGM, Julho 2004. 320 p. Relatório.
- NASCIMENTO, N. O. ; ELLIS, J. B. ; BAPTISTA, Márcio B.; DEUTSCH, J. C., *Using Detention Basins: operational experience and lessons*. Urban Water, Londres, Reino Unido, v. 1, p. 113-124, 1999.
- PINHEIRO, M. M. G., NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, RS, V. 3, nº 4 , p. 73-88, Dez 1998
- PORTO, M. F. P., *Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas*. In Tucci, C. E. M.,

- Porto, R.L. e Barros, M. T., (ed.), *Drenagem Urbana*, Porto Alegre, ABRH, 1995, p. 387-428.
- SUDECAP-BH, SUPERINTENDENCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL *Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte : caracterização estrutural da rede de macrodrenagem existente na cidade*. Volume IV – Tomo I. Março 2001.
- TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão Máxima de Bacias Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, RS, v. 5, nº 1, p. 61-68, Janeiro 2000.

Estimation of Charging for Urban Storm Drainage by Simulation of a Drainage Tax

ABSTRACT

This article presents simulations to establish a drainage services tax. This charge is calculated through average costs of implementation and maintenance. The use of average costs makes it possible to self-finance the services, since it is a way of sharing the system costs among the users. In the empirical demonstration of the taxation, a hypothetical catchment is used as tax base. Scenarios of maximum impermeability and basin densification were defined according to the urban laws of Belo Horizonte city and its actual densification. They are used to design drainage systems and to calculate the tax to be charged. Costs were evaluated according to two storm water drainage approaches: a conventional system and a source control system based on the use of water detention in tanks on the lot.

Keywords: Average costs; urban drainage; drainage tax.