

Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana

Marcus Aurélio Soares Cruz, Carlos Eduardo Morelli Tucci

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS

masacruz@uol.com.br, tucci@iph.ufrgs.br

Recebido: 07/08/06 – revisado: 01/02/07 – aceito: 25/07/08

RESUMO

O crescimento desordenado das cidades brasileiras tem gerado aumento na frequência e magnitude das inundações, erosão e decaimento da qualidade da água. Estes efeitos decorrem do aumento considerável nas superfícies impermeáveis e canalização dos caminhos naturais do escoamento pluvial.

No Brasil, os instrumentos reguladores do uso e ocupação do solo são geralmente reunidos no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, no entanto estes regulamentos apresentam grandes dificuldades de implementação, principalmente devido à necessidade de fiscalização por parte do poder público. Recentemente, algumas cidades brasileiras têm promovido a elaboração de seus Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU), buscando o planejamento de intervenções na drenagem urbana sob a ótica de bacia hidrográfica. Estes planos, de forma geral, realizam o diagnóstico do sistema de drenagem existente e propõem medidas de controle para os problemas detectados.

Este artigo apresenta funções econômicas para o planejamento da drenagem obtidas em Porto Alegre e extrapola a análise visando identificar a estratégia econômica de implementação do Plano de Drenagem.

Palavras-chave: drenagem urbana, controle do escoamento, planejamento.

INTRODUÇÃO

O aumento da frequência e magnitude de inundações, erosão do solo e contaminação das águas pluviais são problemas na drenagem urbana decorrentes da urbanização no Brasil. Este cenário é consequência da impermeabilização do solo e canalização do escoamento sem controle dos referidos impactos. A transferência de impactos de montante para jusante, gerada pelos empreendedores, acabam sendo transferidos à sociedade.

O crescimento das cidades não foi acompanhado de instrumentos reguladores do uso e ocupação do solo. Segundo IBGE (2000), dos 5.507 municípios brasileiros, apenas 841 possuem Planos Diretores Urbanos (PDU) (15,3%), sendo que destes, em apenas 489 a última versão do plano possui data posterior a 1990 (8,9%). Ao analisar apenas os municípios com população superior a 20.000 habitantes, 485 possuem PDU de um total de 1483 municípios (32,7%). Mesmo onde existem os PDU, a maioria destes planos aborda apenas aspectos arquitetônicos, sem considerar efeitos ambientais e principalmente sobre a infra-estrutura de drenagem.

Dentro das práticas urbanísticas que se propagaram pelo país, observou-se o uso de avenidas de fundos de vale associadas à canalização dos riachos urbanos. Este tipo de urbanização amplifica os impactos citados e altera o ambiente de forma inadequada. Soluções deste tipo têm um custo geralmente muito superior ao de uma solução sustentável, além de aumentar os prejuízos devido às inundações, erosão e qualidade da água. O somatório de desconhecimento técnico de parte importante dos profissionais que atuam em drenagem, da população e dos decisores tem mantido este cenário.

A mudança deste cenário exige alterar o padrão estratégico do planejamento integrado da cidade que envolve: planejamento urbano e uso do solo; esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana. Todos estes elementos possuem forte interferência entre si e necessitam de soluções integradas.

Os países desenvolvidos, desde a década de 70, identificaram que a estratégia de transferência de escoamento com condutos e canais era economicamente insustentável e passaram a amortecer o escoamento, evitando que as transferências de impactos ocorressem. Na década de 90 passaram a

aplicar conceitos de desenvolvimento sustentável de implementação da ocupação do solo obedecendo a drenagem natural e priorizando a infiltração. Nos Estados Unidos este tipo de prática ganhou o nome de LID (Low Impact Development) (Souza, 2005).

No Brasil, nos últimos anos algumas cidades procuraram controlar estes impactos através de projetos específicos de bacias urbanas com a construção de detenções (“piscinões”, denominação usada em São Paulo), desde o final da década de 80. O planejamento da drenagem urbana é recente no Brasil, por exemplo, o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) de Porto Alegre, desenvolvido desde 1999 em várias etapas (IPH, 2002); Belo Horizonte e Região Metropolitana de Curitiba (SUDHERSA, 2002) e o Plano Integrado de Saneamento e Drenagem Urbana de Caxias do Sul (IPH, 2002). Algumas destas cidades conseguiram implementar uma regulamentação que controla o aumento da vazão pré-existente, como Porto Alegre, para novos loteamentos e São Paulo, para lotes.

O PDDrU parte de um diagnóstico do comportamento da drenagem urbana em cada unidade de análise (bacia hidrográfica) sujeita a cenários de ocupação atual e futuro e propõe medidas estruturais e não-estruturais de controle do escoamento como forma de eliminar os problemas detectados (IPH, 2002). O número de cidades que buscam este tipo de solução é ainda muito pequeno se comparado com os recursos que ainda são gastos em projetos inadequados no país. O Ministério das Cidades desenvolve um programa de Drenagem Sustentável e foi preparado um Programa de Águas Pluviais dentro desta visão (Tucci, 2005) buscando alterar este cenário.

Este artigo busca auxiliar no processo de planejamento da drenagem urbana em cidades brasileiras, através da apresentação de funções econômicas que relacionam os indicadores com base em relações econômicas. Estas relações foram desenvolvidas a partir de obras projetadas para Porto Alegre e, baseado nas mesmas foram analisados cenários estratégicos de drenagem urbana para a citada cidade.

CENÁRIOS DE PLANEJAMENTO ESTUDADOS

O estudo parte da montagem de cenários de planejamento da drenagem urbana para a cidade, tendo como parâmetro comparativo os custos de

investimentos em obras que eliminem os problemas de escoamento pluvial nas bacias hidrográficas.

A modalidade de controle do escoamento escolhida foi a utilização de bacias de amortecimento das águas pluviais, uma vez que esta é a orientação da legislação atual no município de Porto Alegre (PDDUA, 1999).

Desta forma, o controle do escoamento pode ser aplicado em duas situações distintas:

1. Controle Corretivo (CC): considera a implantação de reservatórios de amortecimento das águas pluviais associados a ampliações do sistema de drenagem já existente e com problemas de insuficiência hidráulica por bacia hidrográfica. Este tipo de controle atua nas áreas já urbanizadas.
2. Controle Preventivo (CP): considera a utilização de reservatórios de amortecimento das águas pluviais desde a etapa de implantação do parcelamento do solo, ou seja, procura manter as condições de pré-urbanização das vazões desde o início do processo de ocupação do solo natural.

As duas alternativas de controle eliminam os problemas de alagamentos para o risco de projeto, distinguindo-se apenas pela época de ação e também pelo fato do CC limitar-se a eliminar os problemas de escoamento detectados, sem necessariamente manter as condições de pré-urbanização. Desta forma o CP é mais restritivo do ponto de vista de vazões finais de saída.

A partir das duas possibilidades de controle, os cenários de planejamento propostos para um município urbanizado com problemas de drenagem devem responder às seguintes questões econômicas principais:

1. Quanto foi investido até hoje no sistema de drenagem existente no município?
2. Quanto teria sido investido no sistema de drenagem do município se fosse aplicado o controle preventivo desde o início de sua urbanização?
3. Quanto necessita ser investido no sistema de drenagem para o controle corretivo hoje?
4. Quanto seria investido no sistema de drenagem com o controle preventivo desde hoje até um horizonte de 20 anos para os empreendimentos novos?
5. Quanto seria investido no sistema de drenagem se o controle corretivo for aplicado

apenas daqui a 20 anos para os empreendimentos novos?

O estudo apresentado a seguir busca responder a estas perguntas através de uma aplicação de relações econômicas obtidas para bacias estudadas ao município de Porto Alegre, além de apresentar funções ajustadas que auxiliem no planejamento do controle da drenagem em bacias hidrográficas urbanas.

RELAÇÕES ECONÔMICAS

Base de informações

Foram utilizados dados de Porto Alegre quanto a dimensões e custos unitários para obras de drenagem urbana e desenvolvidas funções de controle de bacias hidrográficas baseadas no Estudo do Plano Diretor e em estudos específicos apresentado por Cruz(2004). Neste último, o autor utilizou um modelo de otimização baseado em algoritmos genéticos e determinou a solução economicamente ótima de 7 bacias urbanas em Porto Alegre, combinando amortecimento e condução tendo como princípio o seguinte: (a) controle das inundações para o tempo de retorno de 10 anos para o cenário futuro de ocupação urbana; (b) a vazão de saída da bacia não pode ser aumentada para jusante.

Tabela 1 – Características das bacias estudadas e utilizadas na geração das funções de auxílio ao planejamento do controle da drenagem urbana (adaptado de Cruz (2004))

Bacia	Área (ha)	Pop (hab)	AI (%)	Decliv. (m/m)	Curve Number
Moinho	460,0	54050	50,0	0,05	88,6
Areia*	950,0	165303	61,2	0,02	87,1
Areia Sb ₁	236,9	41458	63,2	0,05	90,0
Areia Sb ₂	136,0	20345	59,1	0,03	89,0
Areia Sb ₃	157,4	28559	64,1	0,03	90,0
Areia Sb ₄	209,8	44445	67,9	0,01	92,9
Areia Sb ₅	37,7	7413	66,2	0,01	91,0

* parte considerada da bacia do arroio da Areia (drenagem apenas por gravidade)

As bacias e suas sub-bacias pertencem ao Arroio da Areia e a uma sub-bacia do arroio Dilúvio, o arroio do Moinho. Estas bacias urbanas foram selecionadas por apresentarem intensa urbanização, tipologia da ocupação característica do município, problemas conhecidos de drenagem e possuem o seu sistema de drenagem cadastrado de forma satisfatória. Para efeito de análise, no estudo citado, a bacia do arroio da Areia, foi subdividida em outras 5 sub-bacias, permitindo a determinação das soluções ótimas de forma individual ou considerando a interligação entre estas. A Tabela 1 mostra dados básicos das bacias estudadas.

As variáveis utilizadas foram custo total (C_{TOT}), volumes de reservatórios de contenção (V_{RES}), áreas impermeáveis (A_{IMP}), e outras, resultantes do processo de solução otimizada para todas as bacias estudadas. A seguir são apresentadas as funções geradas para o auxílio no processo de planejamento do controle da drenagem urbana em bacias hidrográficas.

Funções de apoio à decisão

Os resultados obtidos a partir do processo de otimização das soluções para as bacias selecionadas permitiram a montagem de funções de apoio à decisão, resultantes de ajustes de curvas aos valores finais de custos plotados em função de parâmetros de cada bacia. Estas funções têm por objetivo permitir estimativas rápidas de valores de investimentos necessários para o controle corretivo através de obras de drenagem em bacias urbanas, para áreas já urbanizadas (não para a condição de pré-urbanização), como ferramenta de auxílio à elaboração de pré-projetos. Deve-se ressaltar aqui que as funções apresentadas refletem as características peculiares da região estudada, necessitando, portanto, de cuidado na extrapolação destas para o planejamento do controle da drenagem em outras bacias.

Áreas para amortecimento: A relação entre a área total utilizada para amortecimento (A_{RES}) e a área de drenagem da bacia (A_{BAC}) é mostrada na Figura 1. A_{RES} apresentou um valor médio de 0,70% da área total da bacia com desvio padrão de 0,65%. A equação (1) mostra a relação linear ajustada:

$$A_{RES} = 41,53 \cdot A_{BAC} + 1218,6 \quad (1)$$

onde: A_{RES} (m^2); A_{BAC} (ha).

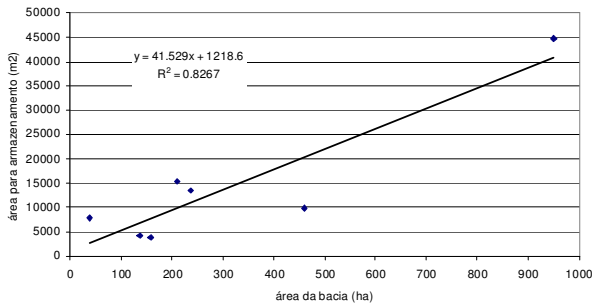


Figura 1 - Relação entre área utilizada para reservatórios de detenção e área total da bacia.

Volume total de armazenamento

A seguir são apresentadas relações considerando o valor de V_{RES} e os valores de: área da bacia, área impermeável e população.

Volume e área da bacia: A relação entre o volume total de armazenamento no reservatório (V_{RES}) e área da bacia A_{BAC} é mostrada na Figura 2. A relação obtida entre as variáveis é

$$V_{RES} = 68,35 \cdot A_{BAC} \tag{2}$$

onde: V_{RES} (m^3); A_{BAC} (ha).

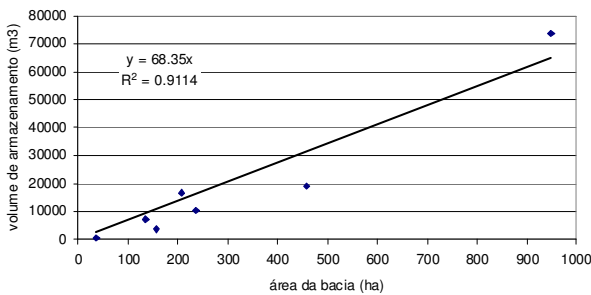


Figura 2 - Relação entre volume total de reservação e área total da bacia.

Utilizando as duas equações observa-se que a profundidade média do reservatório pode ser obtida pela combinação das equações 1 e 2, resultando numa equação não-linear.

$$H = \frac{V_{RES}}{A_{RES}} = \frac{68,35A_{BAC}}{41,53 \cdot A_{BAC} + 1218,6} = \frac{1}{0,607 + \frac{17,86}{A_{BAC}}} \tag{3}$$

Este valor varia de 0,47m a 1,27 m de profundidade para bacias de 10 a 100 ha. Em regiões onde o espaço é reduzido a profundidade deve ser explorada ao máximo, mantendo o fluxo por gravidade. Estes dados representam os valores obtidos para a solução de eliminação dos alagamentos nas bacias estudadas, e não para a manutenção da condição de pré-urbanização.

Volume e área impermeável média da bacia: A Figura 3 mostra a função ajustada aos valores de volume de armazenamento dos reservatórios e às áreas impermeáveis das bacias estudadas. A relação obtida fica:

$$V_{RES} = 115,24 \cdot A_{IMP} \tag{4}$$

onde: V_{RES} (m^3); A_{IMP} (ha).

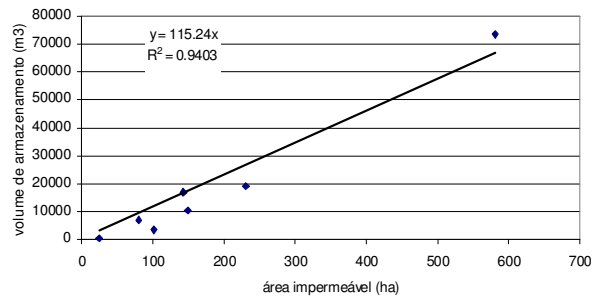


Figura 3 - Relação entre volume total de reservação e área impermeável média da bacia.

Volume de armazenamento e população da bacia: Considerando a população das bacias e os volumes obtidos para os reservatórios de detenção, a seguinte função foi ajustada (Figura 4):

$$V_{RES} = 0,415 \cdot POP \tag{5}$$

onde: V_{RES} (m^3); POP (número de habitantes).

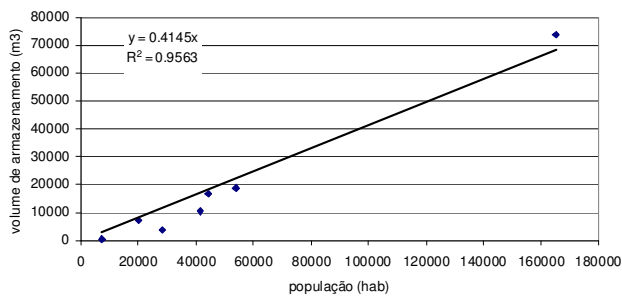


Figura 4 - Relação entre volume total de reservação e número de habitantes da bacia.

Custo de implantação

As relações estabelecidas entre o custo total de implantação do controle (C_{TOT}) e área da bacia, área impermeável e população são apresentados a seguir.

Custo de implantação e Área da bacia: A Figura 5 mostra a curva ajustada aos pontos plotados que relacionam o custo final das soluções otimizadas para cada bacia e sub-bacia e as suas áreas totais.

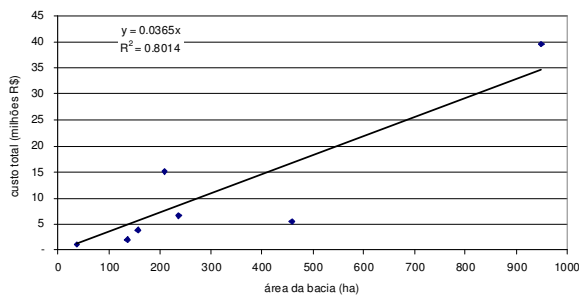


Figura 5 - Relação entre custo total de implantação da solução para drenagem e área total da bacia.

A equação (6) mostra a função linear ajustada:

$$C_{TOT} = 0,037 \cdot A_{BAC} \quad (6)$$

onde: C_{TOT} (milhões de R\$); A_{BAC} (ha).

Custo de Implantação e Área impermeável da bacia: A Figura 6 mostra os valores plotados e o ajuste da reta considerando os custos totais finais e as quantidades de áreas impermeáveis das bacias.

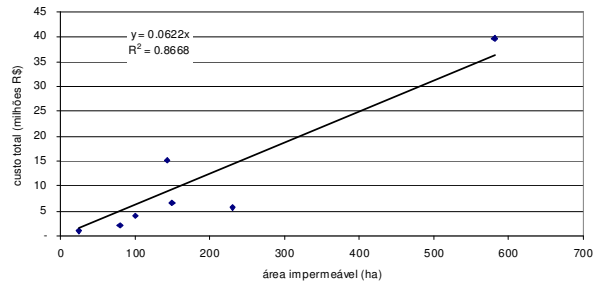


Figura 6 - Relação entre custo total de implantação da solução para drenagem e área impermeável média da bacia.

A função linear ajustada fica:

$$C_{TOT} = 0,062 \cdot A_{IMP} \quad (7)$$

onde: C_{TOT} (milhões de R\$); A_{IMP} (ha de área impermeável).

Custo de implantação e população da bacia: A Figura 7 mostra o ajuste da função aos pontos plotados. O valor médio calculado para esta relação foi de R\$ 174,63/habitante.

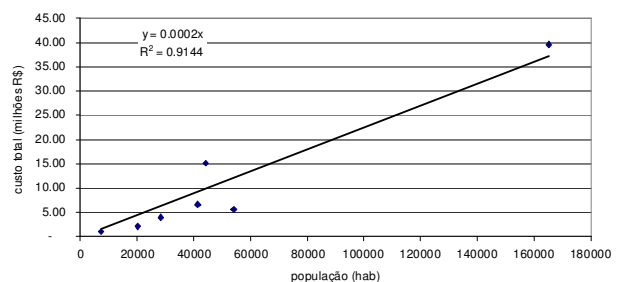


Figura 7 - Relação entre custo total de implantação da solução para drenagem e número de habitantes da bacia

A função linear ajustada fica:

$$C_{TOT} = 0,0002 \cdot POP \quad (8)$$

onde: C_{TOT} – (milhões de R\$); POP –(número de habitantes).

Custo total de implantação como função da área total e da população da bacia: Buscando melhorar as correlações obtidas nos ajustes anteriores, foi ajustada através de regressão linear múltipla uma função

que relaciona o custo total de implantação da solução com a área da bacia e com a população no cenário de estudo. A função é apresentada na equação (9). Este ajuste forneceu um coeficiente de correlação (R^2) de 0,979.

$$CT = 0,536 \cdot POP - 5,233 \cdot A_{BAC} \quad (9)$$

onde: CT é o custo total em milhões de reais; A_{BAC} (km^2) e POP é a população da bacia em milhares de habitantes.

Deve-se considerar que em todas as relações obtidas o número de pontos era pequeno e, portanto o grau de liberdade pequeno, o que não viabilizou o uso de todas as variáveis.

Custos unitários de implantação da infra-estrutura de drenagem

Conforme já citado, a avaliação dos cenários no planejamento da drenagem urbana pode considerar dois tipos principais de controle: o preventivo e o corretivo. A seguir, está detalhada a composição de custos para os dois cenários.

Controle Preventivo (CP): Considerando a implantação dos loteamentos, para a geração de um espaço urbano atualmente inexistente no cenário de CP, os custos baseados nas informações do Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre (DEP) e em Cruz(2004) são os seguintes:

Sistema de condução do escoamento: foram obtidos, através da observação de amostras de projetos de drenagem aprovados: (a) Para loteamentos com o uso do controle por bacia de amortecimento os diâmetros das redes têm um valor médio estimado de 0,39m. Este valor representa a conjugação ponderada pela metragem linear dos valores de diâmetros usualmente aplicados no município. Para efeito de estimativa, foi considerado o valor padronizado de 0,40m; (b) O custo por metro de implantação de redes com este diâmetro, considerando uma profundidade média de 1,0m e uma taxa de incidência de rocha de 30% (valor médio em Porto Alegre) é de R\$ 316,00; (c) A incidência média de redes por unidade de área nos loteamentos em Porto Alegre encontra-se em torno de 187 m/ha. (d) Isto permite a obtenção do custo de R\$ 59.092,00/ha para as redes de condutos no cenário de controle preventivo.

Sistema de amortecimento das vazões: A determinação dos custos de implantação dos sistemas de amortecimento para novos empreendimentos faz uso das funções de custos unitários para reservatórios abertos gramados apresentadas em Cruz(2004), considerando o seguinte: (a) O volume médio necessário por área de bacia hidrográfica para os loteamentos implantados com controle preventivo em Porto Alegre é de 200,0 m^3/ha ; (b) O custo de implantação relacionado com uma incidência média de rocha é de aproximadamente R\$ 73,00/ m^3 ; (c) Isto permite a estimativa do custo unitário médio de implantação do sistema de amortecimento das vazões na condição de controle preventivo (CP correção da transferência de impacto) em R\$ 14.600,00/ha.

Com base nos dois valores estimados, pode-se afirmar que o custo médio unitário do sistema de drenagem para a urbanização com CP é de R\$ 73.692,00/ha em Porto Alegre.

Controle Corretivo (CC): Os custos envolvidos com o CC foram obtidos a partir dos resultados otimizados para as bacias do arroio do Moinho e da Areia (5 sub-bacias e bacia completa) (Cruz, 2004).

A partir da compilação dos custos obtidos para cada bacia e sub-bacia estudada, obteve-se o custo médio de R\$ 36.500,00/ha (vide equação 6) para a ampliação do sistema de macrodrenagem existente e amortecimento das vazões pluviais. Este valor não pode ser comparado diretamente com o respectivo na condição de CP, pois aquele considera a implantação de todo o sistema de drenagem, e não apenas o controle dos impactos detectados. Para a correta comparação faz-se necessária a estimativa dos investimentos na implantação da macro e microdrenagem.

Assim o investimento na implantação do sistema condutor sem medidas de amortecimento, para Porto Alegre, seguindo as mesmas considerações do item anterior, parte de um diâmetro médio de 0,73m, obtido através de amostragem nos cadastros de redes pluviais. Considera-se como valor padrão o diâmetro de 0,80m, este apresenta um custo médio de implantação de R\$ 161.661,50/ha.

A partir dos valores determinados, pode-se afirmar que o custo médio total para a implantação de obras do tipo CC em Porto Alegre fica em R\$ 198.161,50/ha.

Estes valores médios estimados informam que o custo de implantação da solução no cenário CC, é cerca de 2,7 vezes superior ao custo do cenário CP por unidade de área. Ressalte-se, novamente, que para o cenário de CC os investimentos não re-

presentam obras para o retorno à condição de pré-urbanização no escoamento, como no CP, mas apenas soluções otimizadas para a eliminação dos problemas de alagamentos. Também deve ser lembrado que para o cenário de CC não estão sendo considerados os custos relativos ao desgaste político de grandes obras em áreas densamente urbanizadas, custos indiretos com desvios de trânsito e tempo gasto e custos de desapropriações de áreas superiores àquelas utilizadas nos estudos de casos.

CENÁRIO DE PLANEJAMENTO DA DRENAGEM URBANA EM PORTO ALEGRE

Partindo das funções geradas e dos valores médios obtidos para os cenários de controle preventivo (CP) e corretivo (CC) foi realizada uma aplicação ao município de Porto Alegre como forma de análise do planejamento executado e futuro em um horizonte de 20 anos, através da comparação dos custos envolvidos. Vale ressaltar que este item representa uma aplicação simples dos parâmetros obtidos, e que a extensão destes valores a outros locais deve ser feita com bastante cautela. Para a aplicação dos valores médios obtidos aceitou-se a suposição de que todas as bacias tenham sistemas de drenagem semelhantes e que permitam a aplicação das medidas de controle estabelecidas no estudo.

A análise realizada utilizou a divisão do município em macrobacias hidrográficas, bem como informações referentes às áreas totais, população atual e índices de crescimento populacional disponíveis em: Atlas Ambiental de Porto Alegre (Menegat, 1998), IBGE (2000) e Plano Diretor de Esgotos Sanitários de Porto Alegre (DMAE, 1996).

A cidade de Porto Alegre possui uma área de aproximadamente 430 km², com uma população de cerca de 1,5 milhões de habitantes. A área do município encontra-se subdividida em 27 bacias hidrográficas (Figura 8) com taxas de urbanização variáveis e maior concentração urbana na sua porção centro-norte. A Tabela 2 mostra as principais características de cada bacia utilizadas nesta análise.

Inicialmente determinou-se qual parcela das áreas totais de cada bacia encontra-se atualmente urbanizada. Este procedimento fez-se necessário para evitar distorções exageradas nos resultados devido à consideração das áreas totais das bacias, frente às características das bacias utilizadas na geração das funções.

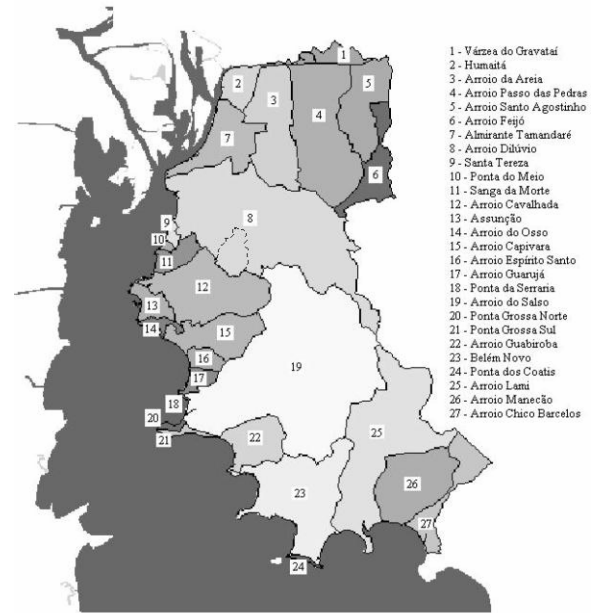


Figura 8 - Principais bacias hidrográficas no município de Porto Alegre (DMAE,1996)

Tabela 2 - Dados básicos por bacia para Porto Alegre

Bacias	Área (km ²)	População (hab)	População (2025)* (hab)
1	4,90	216	266
2	5,43	30511	39936
3	20,85	96149	105743
4	32,54	202345	250295
5	14,77	109395	166740
6	9,80	53284	86363
7	13,86	124283	131358
8	69,55	519068	608503
9	1,06	3505	4342
10	0,40	2252	2667
11	4,39	42598	51772
12	23,61	127870	155101
13	4,11	23799	27800
14	1,94	2527	3017
15	12,48	41057	54831
16	2,81	10272	14113
17	2,50	12363	18997
18	0,10	1668	2590
19	92,94	84282	124577
20	0,71	115	171
21	1,23	347	516
22	10,40	6814	10725
23	30,22	12539	19491
24	0,59	38	62
25	39,57	5396	7559
26	19,62	2082	2470
27	9,89	563	748
Total	430,27	1515338	1890752

* Taxas de crescimento obtidas de DMAE (1996)

Tabela 3 - Áreas urbanizadas atual e futura nas bacias de Porto Alegre.

<i>Bacias</i>	<i>Área urbanizada atual (ha)</i>	<i>Área urbanizada futura (ha)</i>	<i>Área a ser urbanizada (ha)</i>
1	2,2	2,7	0,5
2	153,2	200,5	47,3
3	1459,0	1604,6	145,6
4	1001,9	1239,4	237,4
5	526,8	803,0	276,2
6	268,7	435,5	166,8
7	1386,0	1464,9	78,9
8	5564,0	6522,7	958,7
9	18,6	23,0	4,4
10	11,3	13,4	2,1
11	194,1	235,9	41,8
12	1180,0	1431,3	251,3
13	119,0	139,0	20,0
14	14,2	16,9	2,8
15	624,0	833,3	209,3
16	54,0	74,2	20,2
17	63,1	96,9	33,8
18	6,3	9,8	3,5
19	2788,0	4120,9	1332,9
20	0,8	1,2	0,4
21	2,2	3,2	1,1
22	39,8	62,6	22,8
23	75,8	117,9	42,0
24	0,3	0,5	0,2
25	38,2	53,5	15,3
26	15,6	18,5	2,9
27	5,2	6,9	1,7
Total	15612,3	19532,3	3920,0

Para isso foi utilizada a relação entre áreas impermeáveis e população obtida de Campana e Tucci (1994), auxiliada pela análise de imagens de satélite atualizadas. Desta forma foram obtidas as áreas urbanizadas atualmente existentes. Para a determinação das áreas urbanizadas futuras, por simplificação, considerou-se que estas cresceriam na mesma proporção que a população, o que é razoável. A Tabela 3 mostra os resultados destas operações. A coluna à direita nesta tabela representa a diferença entre as duas primeiras colunas, ou seja, as áreas a serem ainda urbanizadas. Observa-se pelos resultados que há uma grande variabilidade entre as projeções de crescimento urbano nas bacias, no entanto verifica-se um aumento médio de 25,1% nas áreas impermeáveis totais, projetando para o ano 2025.

Esta análise busca responder às questões formuladas anteriormente, que a seguir são destacadas:

Quanto foi investido em drenagem urbana no município até o momento presente?

Considerando a área urbanizada atual por bacia e os custos unitários de implantação dos sistemas convencionais de drenagem, ou seja, sem o controle, têm-se os valores investidos listados na Tabela 4.

Tabela 4 - Investimentos já realizados em drenagem convencional (sem controle) nas bacias em Porto Alegre

<i>Bacias</i>	<i>Custo (milhões R\$)</i>
1	0,36
2	24,77
3	235,86
4	161,97
5	85,16
6	43,44
7	224,06
8	899,48
9	3,01
10	1,83
11	31,38
12	190,76
13	19,24
14	2,30
15	100,88
16	8,73
17	10,20
18	1,02
19	450,71
20	0,13
21	0,36
22	6,43
23	12,25
24	0,05
25	6,18
26	2,52
27	0,84
Total	2523,91

Verifica-se que, considerando valores atuais de investimentos em obras de drenagem do tipo convencional, pode-se estimar que já foram investidos em Porto Alegre cerca de R\$ 2,5 bilhões no sistema existente que apresenta vários problemas.

Quanto teria sido investido no sistema de drenagem do município se fosse aplicado o controle preventivo desde o início de sua urbanização?

Este cenário representaria uma situação atual sem problemas de drenagem urbana para os riscos de projeto. Trata-se de um cenário hipotético mas permite a análise comparativa desejada. A Tabela 5 mostra os valores que teriam sido investidos com a aplicação do CP nas áreas atualmente urbanizadas.

Verifica-se pelos valores apresentados, que o custo final teria sido de aproximadamente R\$ 1,15 bilhão. Este valor é cerca de 2 vezes menor que o investimento já realizado no sistema existente. Ressalte-se que este cenário mantém as condições de pré-urbanização nas bacias enquanto que o outro apresenta problemas de escoamento.

Tabela 5 - Investimentos que teriam sido realizados em drenagem com CP por bacia em Porto Alegre até hoje

<i>Bacias</i>	<i>Custo (milhões R\$)</i>
1	0,16
2	11,29
3	107,52
4	73,83
5	38,82
6	19,80
7	102,14
8	410,02
9	1,37
10	0,83
11	14,30
12	86,96
13	8,77
14	1,05
15	45,98
16	3,98
17	4,65
18	0,46
19	205,45
20	0,06
21	0,16
22	2,93
23	5,59
24	0,02
25	2,82
26	1,15
27	0,38
Total	1150,50

Neste cenário o custo para o município é nulo e, logicamente para a sociedade, uma vez que as obras de CP são executadas por empreendedores privados por exigência legal previamente ao recebimento dos equipamentos urbanos pela municipalidade e sob a fiscalização desta. Pode-se afirmar que este valor representa parte de um **benefício** para a sociedade, que deixará de arcar com investimentos maiores em obras do tipo CC no futuro.

Quanto necessita ser investido no sistema de drenagem para o controle corretivo hoje?

A Tabela 6 apresenta os valores a serem investidos nestas obras de CC sem e com a consideração do investimento já realizado no sistema convencional (passivo). Pelos valores de investimento listados verifica-se que com a aplicação imediata de cerca de R\$ 570 milhões, seria possível a eliminação dos problemas de alagamentos atuais para os riscos de projeto em Porto Alegre.

A comparação com o cenário de CP somente pode se dar com a consideração do sistema existente (passivo), uma vez que naquele prevê-se a implantação do sistema total (redes e reservatórios) e não apenas a sua adequação como no cenário de CC.

Neste caso, o investimento total para a cidade situa-se em torno de 3,1 bilhões de reais, contrapondo-se ao 1,15 bilhão do cenário anterior (CP).

Estes valores permitem visualizar que a hipótese de utilização do CP, no caso de Porto Alegre, desde o início de sua urbanização, representaria uma economia superior a R\$ 1,9 bilhão. Ressalte-se a não consideração de outros custos que podem ocorrer nas bacias sujeitas ao cenário de CC, tais como desapropriações excessivas, necessidade de reservatórios subterrâneos, etc.

Quanto seria investido no sistema de drenagem com o controle preventivo desde hoje até um horizonte de 20 anos para os empreendimentos novos?

Na Tabela 7 estão os valores obtidos para as bacias em Porto Alegre considerando as áreas a serem ainda urbanizadas.

De acordo com os valores de investimento apresentados, os empreendedores aplicarão cerca de 289 milhões de reais em obras de drenagem do tipo CP, ou seja, não ocorrerão novos problemas de drenagem pluvial nas áreas a serem urbanizadas, não transferindo impactos para jusante nas bacias hidrográficas, sem a necessidade, portanto, de apli-

cação futura de recursos da sociedade para medidas corretivas.

Tabela 6 - Investimentos que devem ser realizados em drenagem com CC por bacia em Porto Alegre atualmente

<i>Sub-bacias</i>	<i>Custo¹ (milhões R\$)</i>	<i>Custo² (milhões R\$)</i>
1	0,08	0,44
2	5,59	30,36
3	53,25	289,12
4	36,57	198,54
5	19,23	104,39
6	9,81	53,25
7	50,59	274,65
8	203,09	1102,57
9	0,68	3,69
10	0,41	2,24
11	7,08	38,46
12	43,07	233,83
13	4,34	23,58
14	0,52	2,81
15	22,78	123,65
16	1,97	10,70
17	2,30	12,50
18	0,23	1,25
19	101,76	552,47
20	0,03	0,16
21	0,08	0,44
22	1,45	7,89
23	2,77	15,02
24	0,01	0,06
25	1,39	7,57
26	0,57	3,09
27	0,19	1,03
Total	569,85	3093,76

¹ Custos sem a consideração do passivo

² Custos com a consideração do passivo

Quanto seria investido no sistema de drenagem de Porto Alegre se o controle corretivo for aplicado apenas daqui a 20 anos para os empreendimentos novos?

A resposta a esta pergunta exige a determinação dos custos de implantação dos sistemas de drenagem convencionais para os novos parcelamentos do solo, acrescidos em seguida dos investimentos em obras corretivas apenas em 2025.

Aqui reside um fato interessante: o investimento na implantação do sistema convencional de drenagem é responsabilidade do empreendedor, no entanto, as obras corretivas são ônus de toda a soci-

idade. Assim, o empreendedor transfere, neste cenário, os custos de um impacto que o empreendimento gera (ou gerará) na drenagem para toda a bacia ou ainda para todo o município, uma vez que os recursos municipais não são aplicados apenas na bacia geradora da arrecadação.

Tabela 7 - Investimentos que serão realizados em drenagem com CP por bacia em Porto Alegre até 2025

<i>Sub-bacias</i>	<i>Custo (milhões R\$)</i>
1	0,04
2	3,49
3	10,73
4	17,49
5	20,35
6	12,29
7	5,81
8	70,65
9	0,32
10	0,15
11	3,08
12	18,52
13	1,47
14	0,21
15	15,42
16	1,49
17	2,49
18	0,26
19	98,22
20	0,03
21	0,08
22	1,68
23	3,10
24	0,01
25	1,13
26	0,21
27	0,13
Total	288,87

Desta forma, a Tabela 8 apresenta os valores para investimentos futuros considerando o CC em 2025.

Verifica-se que o investimento privado em drenagem para o cenário com CC estaria em torno de R\$ 634 milhões. Este valor representa um aumento de aproximadamente R\$ 345 milhões em comparação com o cenário que prevê o controle preventivo. Isto demonstra a vantagem econômica também

para o empreendedor quando opta pelo CP. No entanto, a sociedade terá de investir ainda R\$ 143 milhões em 2025 neste cenário para eliminar os problemas que serão gerados.

Tabela 8 - Investimentos que serão realizados em drenagem com CC por bacia hidrográfica em 2025

Sub-bacias	Custo ¹ (milhões R\$)	Custo ² (milhões R\$)	Custo (milhões R\$)
1	0,08	0,02	0,10
2	7,65	1,73	9,37
3	23,54	5,31	28,85
4	38,38	8,67	47,04
5	44,65	10,08	54,73
6	26,97	6,09	33,05
7	12,76	2,88	15,63
8	154,98	34,99	189,98
9	0,71	0,16	0,87
10	0,34	0,08	0,42
11	6,76	1,53	8,28
12	40,63	9,17	49,80
13	3,23	0,73	3,96
14	0,45	0,10	0,55
15	33,84	7,64	41,48
16	3,27	0,74	4,00
17	5,46	1,23	6,70
18	0,57	0,13	0,69
19	215,48	48,65	264,13
20	0,06	0,01	0,08
21	0,18	0,04	0,22
22	3,69	0,83	4,52
23	6,79	1,53	8,32
24	0,03	0,01	0,04
25	2,47	0,56	3,03
26	0,47	0,11	0,57
27	0,27	0,06	0,34
Total	633,70	143,08	776,77

¹ investimento do empreendedor

² investimento da sociedade

Considerando os valores finais para os cenários CP e CC no ano 2025, verifica-se que os investimentos totais no segundo cenário representariam cerca de 2,7 vezes os valores do primeiro. Desta forma, a decisão de aplicação de CP a partir de hoje representaria uma economia de cerca de R\$ 487 milhões em vinte anos.

A Tabela 9 mostra um resumo de alternativas de gestão dos investimentos em drenagem.

Tabela 9- Resumo das avaliações para Porto Alegre

Descrição	Valor presente total (R\$ bilhões)
Custo da drenagem urbana até o momento (sem controle)	2,50
Custo do controle dos impactos existentes (CC) + custo da drenagem até o momento	3,10
Custo da drenagem com controle no passado até o momento (CP)	1,15
Custo do controle para o futuro (2025) (CP)	0,29
Custo do controle somente no futuro (CC)	0,78
Custo total para o PDDrU (CC do passado e CP para o futuro)	0,86

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este artigo apresentou funções lineares e valores que permitem a estimativa preliminar, em um cenário de planejamento da drenagem de bacias urbanas, dos volumes e áreas para detenção necessários e custos envolvidos com a solução corretiva. Estes ajustes apresentaram coeficientes de correlação entre 0,82 e 0,98.

Um trabalho de amostragem foi realizado buscando a obtenção de valores médios para custos de implantação de sistemas de drenagem convencionais e controlados. Estas amostras foram realizadas em cadastros e projetos de drenagem do Departamento de Esgotos Pluviais do Município de Porto Alegre. Estes valores foram utilizados para a montagem de cenários atuais de controle corretivo (CC) e de preventivo (CP) com custos específicos por hectare. Determinados estes custos específicos, foi realizada uma aplicação a todo o município de Porto Alegre, visando analisar os impactos econômicos em duas situações:

1. Supondo a utilização do controle preventivo (CP) desde o início da implantação do sis-

tema de drenagem nas bacias da cidade em comparação com o controle corretivo (CC) que hoje é aplicado;

2. Supondo a utilização do controle preventivo (CP) deste ano em diante nas áreas ainda a serem urbanizadas em comparação com os custos envolvidos na realização de um controle corretivo (CC) (sem pré-controle a partir deste ano) daqui a 20 anos.

Os resultados mostraram para a situação 1 que o custo de aplicação do CP resultaria em uma economia superior a R\$ 1,9 bilhões quando comparado ao uso do CC (aplicado atualmente), com a eliminação dos problemas de drenagem e garantia de vazões bem inferiores, pois exige o controle à vazão de pré-ocupação. Para a situação 2, o custo do CP resultaria em uma economia de mais de R\$ 487 milhões se comparada com a escolha do CC em um cenário de análise de 20 anos. Estes números vêm reforçar a certeza da necessidade urgente de implementação das medidas de controle na fonte, através de projetos integrados com o planejamento do uso e ocupação do solo urbano. Todos os valores aqui introduzidos não consideram os prejuízos que a sociedade sofre nos dias de chuva com alta frequência de inundação, apenas tratou dos custos de implantação. Portanto, introduzindo os prejuízos as relações estabelecidas serão ainda maiores.

Deve-se ressaltar a necessidade de cautela para a transferência das informações apresentadas neste estudo para outras bacias, uma vez que estas resultam de casos específicos de Porto Alegre; mas possibilitam auxílio no processo de planejamento para a drenagem de bacias urbanas.

REFERÊNCIAS

- CAMPANA, N. A., TUCCI, C. E. M. Estimativa da área impermeável em macro-bacias urbanas, *Revista Brasileira de Engenharia*, Vol. 12, N2, (Dez 1994), p. 79-94, 1994.
- CRUZ, M. A. S. *Otimização do controle da drenagem em macrobacias urbanas*, [217]f, Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre-RS, 2004.
- DMAE. *Plano Diretor de Esgotos Sanitários*. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento Municipal de Água e Esgotos. Porto Alegre, RS, 1996.
- IBGE. *Censo Demográfico 2000*. Governo Federal. Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000.
- IPH. *Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre - 1ª Etapa*. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. 2002.
- IPH. *Plano Integrado de Saneamento e Drenagem Urbana de Caxias do Sul*. Prefeitura Municipal de Caxias do Sul, 2002.
- MENEGAT, R. *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Ed. Da Universidade /UFRGS, 1998, 228p.
- PDDUA. *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre. Lei Complementar 434 de 1999*. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1999.
- SOUZA, C. F. *Mecanismos Técnico-institucionais para a Sustentabilidade da Drenagem Urbana*. [175]f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre-RS, 2005.
- SUDERSHA. *Medidas não-estruturais. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba*. CH2MHILL Engenharia do Brasil Ltda, 2002.
- TUCCI, C. E. M. *Programa de Águas Pluviais*. Ministério das Cidades. Governo Federal, 2005.

Planning Scenarios Assessment in Urban Drainage

ABSTRACT

The disordered growth of Brazilian cities has generated an increased frequency and magnitude of floods, erosion and deterioration of the water quality. These effects result from the considerable increase in impervious surfaces and the canalization of the natural routes of storm water runoff.

In Brazil, the instruments that regulate land use and occupation are usually included in the Master Plan of Urban Development; however these regulations are very difficult to enforce, mainly due to the need for inspection by local government. Recently, some Brazilian cities have promoted the elaboration of their Master Plans of Urban Drainage (PDDrU), trying to plan interventions in urban drainage from the perspective of the hydrographic basin. These plans, generally diagnose the existing drainage system and propose control measures for the problems detected.

The article presents economic functions for drainage plan-

ning in Porto Alegre and extrapolates the analysis seeking to identify the economic strategy for the Drainage Plan implementation.

Key-Words: urban drainage; runoff control; planning