

Influência da Seleção de Variáveis Hidrológicas no Projeto de Sistemas Urbanos de Macrodrenagem – Estudos de Caso para o Município de Vitória – ES

Larisse Brunoro Grecco, Mariana Santanna Mandelli

Estudos Técnicos e Projetos ETEP Ltda.
larissebg@gmail.com, marimandelli@yahoo.com.br

José Antônio Tosta dos Reis, Antonio Sérgio Ferreira Mendonça

Departamento de Engenharia Ambiental/Universidade Federal do Espírito Santo.
tosta@ct.ufes.br, anserfm@terra.com.br

Recebido: 02/09/11 - revisado: 09/10/11 - aceito: 28/09/12

RESUMO

O presente trabalho avaliou a influência de variáveis hidrológicas e fisiográficas sobre o projeto e o custo de construção de sistemas de macrodrenagem para duas bacias urbanas localizadas no município de Vitória. Os sistemas de macrodrenagem foram projetados a partir da aplicação de distintas formulações para a apropriação do tempo de concentração, da adoção de diferentes períodos de retornos e do emprego de diferentes métodos para a estimativa das intensidades pluviométricas. Os custos foram estimados considerando-se composições unitárias para 24 (vinte e quatro) itens de serviços. Os resultados obtidos mostram, claramente, serem possíveis aumentos na segurança de sistemas de proteção contra inundações proporcionalmente muito superiores aos correspondentes aumentos de custos para implantação dos mesmos.

Palavras-chave: Sistema de macrodrenagem, variáveis hidrológicas, variáveis fisiográficas, custos.

INTRODUÇÃO

O sistema de drenagem urbana integra o conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana e consiste nas instalações destinadas a escoar as águas provenientes das chuvas que caem sobre a região. Dentre os benefícios advindos de um adequado sistema de drenagem destacam-se o rápido escoamento das águas superficiais, facilitando o tráfego quando da ocorrência de precipitações, a redução de gastos com manutenção de vias públicas, a valorização de propriedades existentes na área, além do aumento de conforto e segurança para a população. Conforme FCTH (1999), do funcionamento apropriado do sistema de drenagem urbana dependem a prevenção e a minimização dos danos às propriedades, à saúde e de perdas de vida das populações atingidas, como consequências diretas da ação das águas ou de doenças de veiculação hídrica.

O dimensionamento de sistemas de drenagem abrange a escolha do período de retorno, de acordo com os aspectos sociais e econômicos locais;

a determinação da chuva de projeto, a partir de registros meteorológicos da região; a determinação do escoamento superficial, conforme características hidrológicas e do uso e ocupação do solo na bacia; a determinação da vazão de projeto; e o dimensionamento das estruturas hidráulicas, correspondentes à fase de projeto das medidas estruturais a serem implantadas na bacia (FCTH, 1999).

Segundo Wilken (1978) a seleção pouco criteriosa das variáveis envolvidas no dimensionamento de sistemas de drenagem pluvial pode produzir inconsistências quando do desenvolvimento do projeto, originando obras sub ou superdimensionadas. Adicionalmente, apresenta-se como relevante o fato de que os cálculos relacionados com o dimensionamento dos sistemas de drenagem são sempre aproximados, devido às incertezas hidrológicas e às simplificações dos métodos disponíveis.

Neste contexto, o presente trabalho pretende avaliar, ao longo do processo de dimensionamento de um sistema de drenagem de águas pluviais, a influência de variáveis hidrológicas e fisiográficas no projeto de sistemas de macrodrenagem para duas bacias do município de Vitória.

MATERIAIS E MÉTODOS

Bacias urbanas estudadas

Duas diferentes bacias urbanas constituíram objeto de análise neste estudo. A primeira bacia (Bacia I), com ocupação predominantemente residencial e área de drenagem de aproximadamente 0,10 Km², está situada na porção sudeste do município de Vitória, estado do Espírito Santo. A bacia abrange partes dos bairros Caratoíra e Mário Cy-preste, que apresentam, recorrentemente, problemas de inundação ao longo da Avenida Antônio Pinto de Aguiar, via urbana que a corta. O processo de ocupação desordenada do solo ocorrido entre as décadas de 60 e 80, incluindo-se aí a invasão e aterramento de áreas, constitui a principal causa do problema associado com a urbanização da bacia. Quanto às condições sócio-econômicas da população, a região apresenta de 40 a 55 % de incidência de chefes de família com renda de até três salários mínimos (PMV, 2004).

A segunda bacia (Bacia II), com área de drenagem de aproximadamente de 1,60 Km², engloba parte de seis bairros, também do município de Vitória, todos com ocupação predominantemente residencial (bairros Bela Vista, Estrelinha, Grande Vitória, Inhanguetá, Santa Tereza e Universitário). Na bacia são recorrentes as áreas de alagamento na região. Cabe observar que esta sofre forte influência de movimentos de maré. A ocupação da bacia intensificou-se nas décadas de 80 e 90, sem quaisquer preocupações com a preservação das áreas de manguezais nela existentes. Na região, entre 55 e 75 % dos chefes de família possuem renda de até três salários mínimos (PMV, 2004).

Informações pluviométricas

Os registros pluviométricos empregados neste trabalho foram obtidos a partir da base de dados gerenciada pela Agência Nacional das Águas (ANA) e manipulados por meio do programa computacional HIDRO, programa de domínio público produzido e disponibilizado pela ANA. Pelo fato de no município de Vitória não existirem estações pluviométricas operadas pela ANA, optou-se pela utilização dos registros da estação Ponta da Fruta, instalada no município vizinho, Vila Velha, em altitude semelhante à da região em estudo.

Equações de chuvas intensas

A caracterização das chuvas intensas apresenta-se como uma imposição técnica para o dimensionamento de diferentes obras hidráulicas, tais como os sistemas de micro e macrodrenagem, os vertedores de barragens ou os reservatórios de amortecimento de cheias. Segundo Bertoni e Tucci (2004), o estudo das precipitações máximas constitui-se um dos principais caminhos para estimativa da vazão de pico de uma bacia, já que a disponibilidade de longas séries de precipitações é, em geral, muito mais freqüente que a de vazões.

Existindo uma rede confiável de pluviógrafos, o monitoramento das precipitações durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos do local, permite o estabelecimento de uma equação de chuvas intensas. Os trabalhos de Falaguasta e Genovez (2003), Yu, Yang e Lin (2004), Hadadin (2005) e Svensson, Clarke e Jones (2007) apresentam exemplos de equações de chuvas intensas desenvolvidas para diferentes localidades. Não existindo disponibilidade de registros pluviográficos, diferentes alternativas (os métodos de Chow-Gumbel e de Bell, por exemplo) têm sido estabelecidas para a determinação de equações de chuvas intensas a partir de registros de totais diários de precipitação.

Neste trabalho, quatro diferentes alternativas foram empregadas para a apropriação das chuvas intensas: Método de Chow-Gumbel (detalhadamente de apresentado por CETESB (1986)), Método de Bell (descrito por Bertoni e Tucci (2004)), programa computacional Plúvio (Programa desenvolvido e disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa) e equação desenvolvida por Sarmento (1985).

Embora a equação proposta por Sarmento (1985) não tenha sofrido qualquer atualização desde a sua proposição, foi empregada neste trabalho por ser formulação recorrentemente empregada em trabalhos de dimensionamento de estruturas de drenagem nos municípios que integram a Região Metropolitana da Grande Vitória.

Tempos de concentração e características fisiográficas

O tempo de concentração é usualmente definido como o tempo necessário, contado a partir do início de uma determinada chuva, para que toda a área de bacia hidrográfica passe a contribuir com água para a vazão que se estabelece no seu exutório (McCUEN, WONG e RAWLS, 1984).

Tabela 01 – Fórmulas empíricas utilizadas para apropriação do tempo de concentração.

Autor	Equação	Origem e aplicabilidade
Corps Engineers	$T_c = 11,46 L^{0,76} S^{-0,19}$	Bacias rurais com até cerca de 12.000 Km ² , declividades médias inferiores a 14% e comprimento do talvegue máximo de 257 km (Silveira, 2005).
Carter	$T_c = 5,862 L^{0,6} S^{-0,3}$	Bacias urbanizadas com áreas entre 16 e 21 Km ² e baixas declividades do talvegue (McCuen, Wong e Rawls, 1984).
Picking	$T_c = 5,298 L^{0,667} S^{-0,333}$	Origem e aplicabilidade desconhecidas (Silveira, 2005).
DNOS	$T_c = 25,14 k^{-1} A^{0,3} L^{0,2} S^{-0,4}$	Origem e aplicabilidade desconhecidas (Silveira, 2005).
Ven te Chow	$T_c = 9,60 L^{0,64} S^{-0,32}$	Bacias rurais, com áreas de 1 a 19 Km ² (Silveira, 2005).
Pasini	$T_c = 6,42 A^{0,333} L^{0,333} S^{-0,5}$	Origem e aplicabilidade desconhecidas (Pfafstetter, 1976).

No processo de dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, o tempo de concentração é empregado para a estimativa da precipitação máxima (estimativa realizada a partir das equações de chuvas intensas da região) e, por consequência, para avaliação da vazão máxima a ser escoada pelo sistema de drenagem.

Neste estudo, os valores do tempo de concentração para as bacias estudadas foram determinados por meio da aplicação do Método Cinemático e das equações empíricas propostas por Corps Engineers, Carter, Picking, DNOS, Ven te Chow e Pasini. O método cinemático e as fórmulas empíricas utilizadas são brevemente descritos na sequência do texto.

• Método Cinemático

O Método baseia-se no fato de que o tempo de concentração é o somatório dos tempos de trânsito dos diversos trechos que compõem o comprimento do talvegue. Esta proposição é matematicamente representada pela equação (01).

$$T_c = \frac{1}{60} \cdot \frac{\sum L_i}{V_i} \quad (01)$$

Na expressão (01), T_c representa o tempo de concentração (minutos), L_i o comprimento de cada trecho homogêneo (m) e V_i a velocidade de escoamento no trecho “i” (m/segundo).

Conforme FCTH (1999), em áreas urbanas o tempo de concentração pode ser dividido em duas parcelas, conforme expressão (02).

$$T_c = t_i + t_t \quad (02)$$

A parcela t_i corresponde ao tempo inicial para que a chuva atinja a primeira boca de lobo. Neste trabalho, foi adotado quinze minutos para o valor de t_i , conforme recomendação do Manual de Drenagem Urbana do Município de Vitória (PMV, 2009). A parcela t_t , por sua vez, representa o tempo de translação na rede de drenagem. O valor de t_t foi estimado a partir das informações constantes no cadastro municipal da rede pluvial existente para as bacias em estudo, sendo considerados apenas os trechos de rede com diâmetro superior a 600 mm.

A velocidade de escoamento para cada trecho de rede foi calculada por meio da Fórmula de Manning, considerando-se coeficiente de rugosidade de 0,018 (canais com revestimento de concreto em más condições, conforme condição de operação esperada no horizonte de projeto do sistema de macrodrenagem). Para determinação do raio hidráulico, considerou-se uma borda livre da ordem de 20% da altura da seção. Conhecidas a extensão e a velocidade de cada trecho, foram estimados os correspondentes tempos de escoamento, cuja acumulação conduziu aos tempos de concentração das bacias.

• Fórmula Empíricas

Diferentes fórmulas empíricas (Tabela 01) foram empregadas para estimativas dos tempos de concentração para as bacias estudadas. Nas referidas expressões, L representa o comprimento do talvegue principal (Km), S a declividade média do talvegue principal (m/m), k um fator de rugosidade estabelecido de acordo com as características do terreno da bacia e A a área da bacia (Km²). Os valores de T_c , por sua vez, são obtidos em minutos.

Para aplicação da expressão proposta pelo DNOS, foi adotado um fator de rugosidade (variável k) igual a 5,0, correspondente a áreas com vegetação escassa e reduzida absorção de água de chuva (característica geral das bacias estudadas). Os valores empregados para as demais variáveis constantes nas diferentes fórmulas empíricas utilizadas estão reunidos na Tabela 02.

Tabela 02 – Variáveis empregadas para aplicação das fórmulas empíricas

Bacia	Área (Km²)	Comprimento do talvegue (Km)	Declividade média (m/m)
Bacia I	0,10	0,50	0,0013
Bacia II	1,60	1,93	0,0869

Vazões de projeto

As vazões de projeto foram estimadas a partir da aplicação do Método Racional considerando-se diferentes períodos de retorno (10 e 25 anos, conforme disposições constantes no Manual de Drenagem Urbana do Município de Vitória), diferentes tempos de concentração (tempos estimados pelo Método Cinemático e pelas diferentes fórmulas empíricas) e diferentes intensidades pluviométricas (intensidades estimadas pelas diferentes metodologias consideradas). O valor do coeficiente de escoamento superficial, por sua vez, foi determinado em função do tipo de solo e de ocupação da bacia. Desta forma, foram estimadas 56 vazões de pico para cada bacia estudada.

Dimensionamento das seções transversais das galerias

As seções das galerias de drenagem pluvial associadas a cada vazão de projeto foram estabelecidas a partir da equação de Manning, adotando-se um coeficiente de rugosidade de 0,018. Em função da disponibilidade de área para implantação das galerias, as bases foram fixadas em 2,00 m para a Bacia I e 3,00 m para Bacia II.

Apropriação dos custos de construção

O custo de construção das galerias foi estimado com base nos custos unitários de referência da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) e do Departamento de Estradas de Rodagem

do Espírito Santo (DER-ES). Os valores foram obtidos por metro linear de galeria (R\$/m), considerando-se os seguintes itens: levantamento planialtimétrico cadastral; sondagem à percussão; locação e nivelamento de galerias a serem instaladas com auxílio de equipamento topográfico; retirada de pavimento asfáltico; escoramento de vala com prancha metálica e estroncamento com perfil metálico; rebaixamento de lençol freático com ponteiros filtrantes; escavação mecânica em qualquer tipo de solo, exceto rocha, com profundidade de até 3 m; escavação mecânica de rocha com uso de explosivos; fornecimento e execução de lastro de pedra de mão com apiloamento manual; execução de regularização do fundo das valas com areia, inclusive fornecimento de material; fornecimento, preparo e lançamento de lastro de concreto magro; fornecimento e execução de forma plana em chapa compensada e resinada, inclusive escoramento e desforma; fornecimento, corte, dobramento e colocação de armadura; fornecimento e lançamento de concreto usinado; caixa ralo; aterro com areia de adensamento hidráulico; fornecimento e execução de base em solo brita; pintura de ligação sobre a base (imprimação); fornecimento e recomposição de pavimento asfáltico; bota fora de materiais com uso de caminhão considerando-se distância média de transporte de 20 Km; sinalização da obra; projeto; e canteiro de obras.

Apropriação dos riscos de falha dos sistemas de drenagem

O risco de ocorrerem vazões máximas superiores às vazões de projeto ao longo de um ano foi apropriado, para os diferentes períodos de retorno, a partir da aplicação da expressão (03).

$$RP = 100 * \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^N \right\} \quad (03)$$

Na expressão anterior, T corresponde ao período de retorno (anos), N ao período considerado na análise de risco (1 ano) e RP ao risco permitido de falha (resultado apresentado em porcentagem).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações de chuvas intensas (04) a (06) foram obtidas, respectivamente, pelos métodos de Chow-Gumbel e de Bell e pelo programa computa-

cional Plúvio. Nestas expressões, i representa a intensidade pluviométrica (mm/minuto), T o período de retorno (anos) e t a duração (minutos).

$$i = \frac{11,053.T^{0,1713}}{(t+7)^{0,7132}} \quad (04)$$

$$i = 4,7238.\ln(T).t^{-0,69} - 4,8481.\ln(T).t^{-1} + 10,6666.t^{-0,69} - 10,9473.t^{-1} \quad (05)$$

$$i = \frac{4003,578.T^{0,203}}{(t+49,997)^{0,931}} \quad (06)$$

As figuras 01 e 02 representam a variação das intensidades pluviométricas estimadas pelas equações estabelecidas neste trabalho, bem como aquelas estimadas a partir da aplicação da equação proposta por Sarmiento (1985). A Figura 01 apresenta intensidades associadas aos períodos de retorno de 10 e 25 anos.

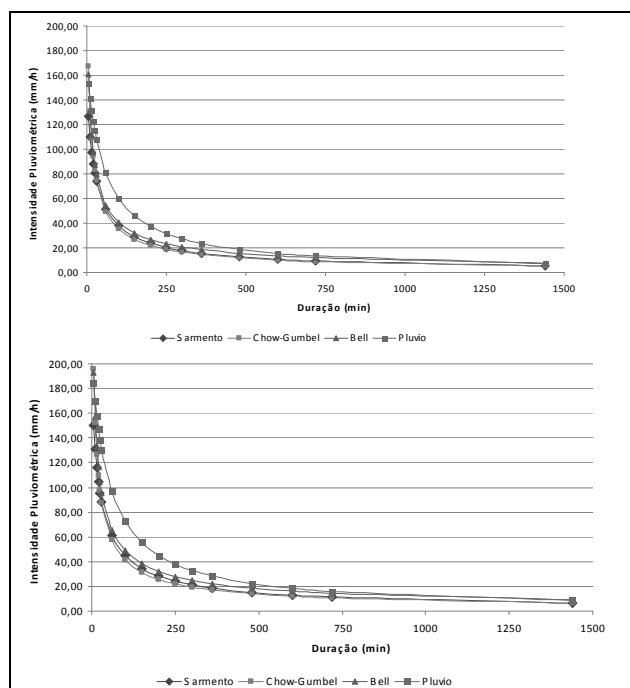


Figura 01 – Intensidades pluviométricas associadas ao período de retorno de 10 anos (superior) e 25 anos (inferior)

A partir da aplicação do método cinemático e das diferentes fórmulas empíricas anteriormente relacionadas, foram calculados os tempos de concentração para cada bacia urbana estudada. Os re-

sultados obtidos nesta etapa do trabalho estão reunidos na Tabela 03.

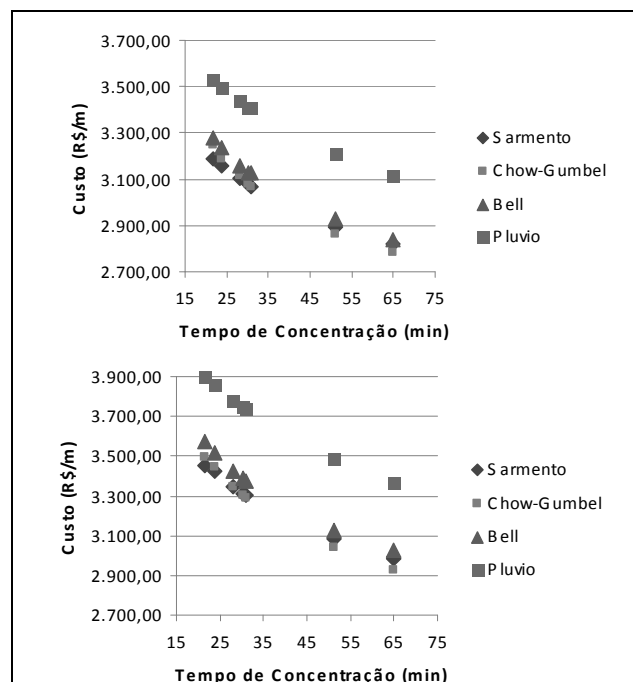


Figura 2 – Custos, por metro linear (R\$/m), associados aos períodos de retorno de 10 anos (superior) e 25 anos (inferior), estimados para a Bacia I

Tabela 03 – Tempos de concentração apropriados para as bacias urbanas estudadas

Bacia	Método	Tempo de concentração (minutos)
Bacia I	Método Cinemático	21,60
	Corps Engineers	23,80
	Carter	28,16
	Picking	30,23
	DNOS	30,96
	Vente Chow	51,21
	Pasini	64,77
Bacia II	Método Cinemático	27,39
	Corps Engineers	30,05
	Carter	18,10
	Picking	18,53
	DNOS	17,44
	Vente Chow	31,96
	Pasini	31,50

Tabela 04 – Vazões de projeto (m^3/s) estimadas para a Bacia I

Período de Retorno (anos)	Tempo de Concentração	Equação de chuvas intensas			
		Sarmento (1985)	Método de Chow-Gumbel	Método de Bell	Programa Plúvio
10	Método Cinemático	2,04	2,15	2,24	2,86
	Corps Engineers	1,96	2,04	2,14	2,79
	Carter	1,82	1,86	1,96	2,64
	Picking	1,77	1,78	1,89	2,58
	DNOS	1,75	1,76	1,87	2,56
	Vente Chow	1,35	1,30	1,43	2,08
	Pasini	1,18	1,12	1,25	1,85
25	Método Cinemático	2,68	2,78	2,97	3,81
	Corps Engineers	2,58	2,64	2,83	3,70
	Carter	2,40	2,40	2,60	3,51
	Picking	2,32	2,30	2,51	3,43
	DNOS	2,29	2,27	2,48	3,40
	Vente Chow	1,77	1,67	1,89	2,76
	Pasini	1,55	1,44	1,66	2,45

Tabela 05 – Vazões de projeto (m^3/s) estimadas para a Bacia II

Período de Retorno (anos)	Tempo de Concentração	Equação de chuvas intensas			
		Sarmento (1985)	Método de Chow-Gumbel	Método de Bell	Programa Plúvio
10	Método Cinemático	14,16	14,46	15,26	20,43
	Corps Engineers	13,58	13,71	14,55	19,79
	Carter	16,75	18,10	18,69	23,01
	Picking	16,61	17,89	18,48	22,87
	DNOS	16,98	18,45	19,01	23,22
	Vente Chow	13,19	13,23	14,09	19,36
	Pasini	13,28	13,34	14,20	19,46
25	Método Cinemático	18,60	18,68	20,22	27,15
	Corps Engineers	17,84	17,71	19,28	26,31
	Carter	22,01	23,38	24,77	30,59
	Picking	21,82	23,10	24,50	30,41
	DNOS	22,30	23,82	25,20	30,87
	Vente Chow	17,33	17,09	18,68	25,74
	Pasini	17,45	17,23	18,82	25,88

As diferentes vazões de projeto estimadas estão reunidas nas tabelas 04 e 05. Estes valores foram estimados a partir da adoção de diferentes intensidades pluviométricas nas bacias urbanas estudadas. As intensidades pluviométricas, por sua vez, ficaram condicionadas a diferentes períodos de retorno e tempos de concentração.

Após o dimensionamento hidráulico das galerias propostas para as Bacias I e II, os custos de construção por metro linear de galeria foram determinados a partir das planilhas referenciais propostas pela CESAN e DER-ES. Os resultados obtidos nesta etapa do trabalho são apresentados nas tabelas 06 e 07.

As figuras 2 e 3 ilustram a variação do custo por metro linear das galerias projetadas. Estas figuras permitem observar as variações de custos decorrentes da adoção de diferentes tempos de concentração e períodos de retorno e, por consequência, as variações produzidas a partir das diferentes alternativas consideradas neste trabalho para as estimativas das chuvas intensas.

A Figura 4, por sua vez, permite confrontar, em função das diferentes equações de chuvas intensas e metodologias de cálculo dos tempos de concentração, o aumento percentual no custo do metro linear de galeria quando do aumento do período de retorno de 10 para 25 anos.

Tabela 06 – Custos, por metro linear (R\$/m), para construção da galeria da Bacia I

Período de Retorno (anos)	Tempo de Concentração	Equação de chuvas intensas			
		Sarmento (1985)	Método de Chow-Gumbel	Método de Bell	Programa Plúvio
10	Método cinemático	3.190,87	3.245,60	3.278,44	3.530,22
	Corps engineers	3.158,03	3.190,87	3.234,66	3.497,38
	Carter	3.103,29	3.114,24	3.158,03	3.442,65
	Picking	3.081,40	3.081,40	3.125,19	3.409,81
	DNOS	3.070,45	3.070,45	3.125,19	3.409,81
	Ven te Chow	2.895,30	2.862,46	2.928,14	3.212,76
	Pasini	2.818,67	2.785,83	2.840,56	3.114,24
25	Método cinemático	3.453,59	3.497,38	3.574,01	3.902,42
	Corps engineers	3.420,75	3.442,65	3.519,28	3.858,63
	Carter	3.344,12	3.344,12	3.420,75	3.782,00
	Picking	3.311,28	3.300,34	3.387,91	3.749,16
	DNOS	3.300,34	3.289,39	3.376,97	3.738,22
	Ven te Chow	3.081,40	3.037,61	3.125,19	3.486,44
	Pasini	2.982,88	2.928,14	3.026,66	3.366,02

Tabela 07 – Custos, por metro linear (R\$/m), para construção da galeria da Bacia II

Período de Retorno (anos)	Tempo de Concentração	Equação de chuvas intensas			
		Sarmento (1985)	Método de Chow-Gumbel	Método de Bell	Programa Plúvio
10	Método cinemático	4.579,90	4.616,38	4.689,32	5.199,92
	Corps engineers	4.531,28	4.543,43	4.628,53	5.139,13
	Carter	4.847,36	4.968,93	5.029,72	5.443,06
	Picking	4.823,05	4.956,77	5.005,40	5.430,90
	DNOS	4.859,52	5.005,40	5.066,19	5.455,21
	Ven te Chow	4.482,65	4.494,80	4.579,90	5.090,50
	Pasini	4.494,80	4.506,96	4.592,06	5.102,66
25	Método cinemático	5.017,56	5.029,72	5.175,60	5.819,93
	Corps engineers	4.944,62	4.932,46	5.090,50	5.746,98
	Carter	5.345,80	5.479,53	5.601,10	6.136,01
	Picking	5.333,64	5.455,21	5.576,79	6.123,85
	DNOS	5.370,11	5.516,00	5.649,73	6.160,33
	Ven te Chow	4.895,99	4.871,67	5.029,72	5.698,36
	Pasini	4.908,15	4.883,83	5.041,87	5.710,51

A partir da avaliação dos resultados reunidos nas tabelas de 03 a 07 e nas figuras de 01 a 04, apresentam-se como relevantes as seguintes considerações:

- Para chuvas intensas com durações iguais ou menores que 5 minutos, independentemente do período de retorno considerado, os métodos de Chow-Gumbel e Bell estimaram as maiores intensidades pluviométricas. Para o período de retorno de 25 anos, as diferenças oscilaram entre 10% (quando consideradas as intensidades estimadas pelo programa Plúvio) e 35% (quando considerados os resultados obtidos por Sarmento (1985));
- Para durações iguais ou maiores que 10 minutos, as intensidades pluviométricas estimadas a partir da aplicação do programa Plúvio foram sempre maiores que aquelas estimadas pelos demais métodos. Para o

mesmo intervalo de durações não foram observadas diferenças significativas entre as intensidades estimadas pelos métodos de Chow-Gumbel e Bell ou a partir da equação proposta por Sarmiento (1985);

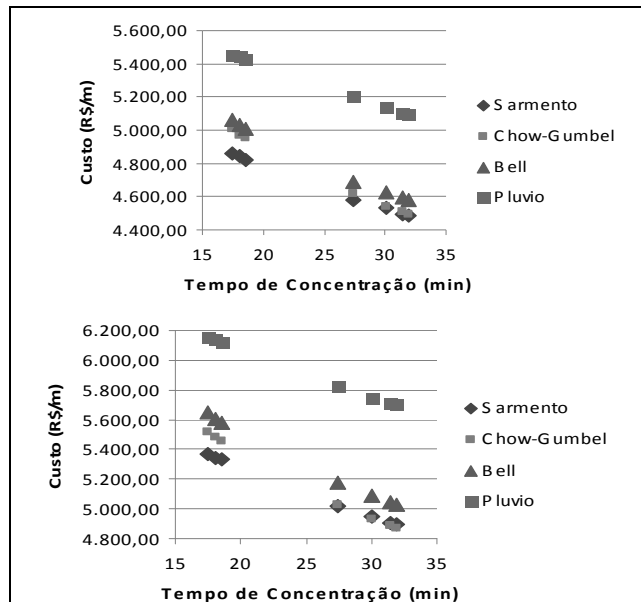


Figura 3 – Custos, por metro linear (R\$/m), associados aos períodos de retorno de 10 anos (superior) e 25 anos (inferior), estimados para a Bacia II

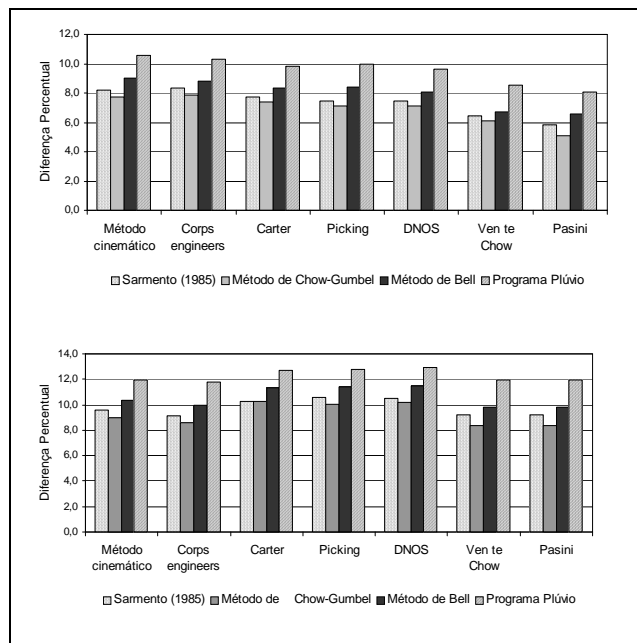


Figura 4 – Diferença percentual entre os custos associados aos períodos de retorno de 10 e 25 anos estimados para a Bacia I (esquerda) e Bacia II (direita)

- Os tempos de concentração apropriados pelas fórmulas de Carter, Picking e DNOS não apresentaram, entre si, diferenças superiores a 10 %. É relevante observar que a fórmula de Carter foi originalmente proposta para bacias urbanas, enquanto que as expressões propostas por Picking e pelo DNOS possuem origem e aplicabilidade desconhecidas;
- A aplicação da expressão proposta por Ven te Chow conduziu a elevados tempos de concentração que só foram superados na Bacia I quando da aplicação da equação proposta por Passini. É conveniente observar que a expressão proposta por Ven te Chow foi desenvolvida para bacias predominantemente rurais, para as quais são esperados tempos de concentração superiores àqueles estimados para bacias urbanas;
- Embora a equação proposta por Passini tenha origem e aplicabilidade desconhecidas, os tempos de concentração que lhe foram associados sugerem que não seja aplicável para estimativas em bacias urbanizadas;
- O Método Cinemático (tipicamente voltado para bacias urbanas) e a expressão proposta pelo Corps Engineers (fórmula proposta para bacias tipicamente rurais) apresentaram comportamento diversificado, quando da aplicação para as bacias estudadas. Para a Bacia I, as referidas alternativas estimaram os mais baixos tempos de concentração. Já para a Bacia II estimaram tempos de concentração equivalentes àqueles estimados pela fórmula de Ven te Chow, expressão aplicável a bacias tipicamente rurais;
- A escolha dos tempos de concentração (e correspondentes intensidades pluviométricas) produziu vazões apresentando diferenças significativas. Na Bacia I, quando considerada a aplicação da equação de chuvas intensas estabelecida pelo Método de Chow-Gumbel e um período de retorno de 25 anos, as vazões variaram entre 1,44 m³/s (tempo de concentração estimado pela expressão de Passini) e 2,78 m³/s (Método Cinemático), correspondendo a uma diferença superior a 90%. Na Bacia II, para a mesma equação de chuvas intensas e o mesmo período de retorno, as vazões variaram entre 17,09 m³/s (fórmula de Ven te Chow) e 23,82 m³/s (fórmula proposta pelo

DNOS), correspondendo a uma diferença de aproximadamente 40%;

- Os custos de construção associados à aplicação da equação estabelecida pelo programa Plúvio foram sempre mais altos, independentemente da formulação empregada para o cálculo do tempo de concentração, do período de retorno adotado ou da bacia estudada. É relevante observar que, nas bacias estudadas, os tempos de concentração sempre se apresentaram superiores a 10 minutos, valor a partir do qual as intensidades pluviométricas (e correspondentes vazões) associadas ao programa Plúvio foram maiores que as intensidades estimadas pelas demais alternativas consideradas neste trabalho;
- As variáveis intensidade pluviométrica e duração da precipitação apresentam uma relação inversa entre si. Desta forma, a adoção das formulações que estimaram valores mais elevados para os tempos de concentração conduziram, em todos os casos estudados, às menores intensidades pluviométricas e, por consequência, às menores vazões de projeto e custos de construção. Para a Bacia I, quando considerado o Método de Chow-Gumbel e o período de retorno de 25 anos, a redução no custo de construção, quando da mudança do Método Cinemático para a fórmula de Passini, foi de aproximadamente 20%. Já para a Bacia II, quando considerado os mesmos período de retorno e método de obtenção da equação de chuvas intensas, a mudança dos valores de tempo de concentração estimados pelas fórmulas do DNOS e de Ven te Chow produziu redução do custo de construção da ordem de 13%;
- Em nenhuma condição analisada, a variação no custo de construção superou 13%, quando da mudança do período de retorno de 10 para 25 anos. É relevante observar que o referido aumento do período de retorno permitiria a redução do risco de falha do sistema de drenagem, em qualquer ano, de 10% para 4% (riscos estimados com a aplicação da expressão (03)). Desta forma, incrementos de custos de construção da ordem de 13% permitiriam uma redução muito superior, 60%, do risco de falha do sistema de drenagem pluvial.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo conduziram às seguintes conclusões:

- O programa computacional Plúvio produziu a equação de chuvas intensas que estimou os maiores valores de intensidades pluviométricas (e, por consequência, as maiores vazões de projeto e custos de construção) estimados neste trabalho;
- Os maiores tempos de concentração foram estimados a partir da aplicação das fórmulas de Ven te Chow (fórmula originalmente desenvolvida para bacias rurais) e de Passini (fórmula com origem e aplicabilidade desconhecidas). Estas expressões, quando aplicadas para as bacias urbanas consideradas neste trabalho, produziram aos menores valores de intensidades pluviométricas e correspondentes vazões de projeto e custos de construção;
- As fórmulas propostas por Picking e DNOS permitiram a estimativa de tempos de concentração e de custos de construção muito próximos daqueles obtidos pela fórmula de Carter, fórmula desenvolvida para bacias urbanas;
- A ampliação do período de retorno de 10 para 25 anos produziu acréscimos nos custos de construção das galerias inferiores a 13% para todas as alternativas de projeto avaliadas neste trabalho. Por outro lado, o referido aumento do período de retorno produziu uma redução de risco de falha das galerias, num ano qualquer, em aproximadamente 60%.

Os resultados obtidos mostram, claramente, serem possíveis aumentos na segurança de sistemas de proteção contra inundações proporcionalmente muito superiores aos correspondentes aumentos de custos para implantação dos mesmos.

REFERÊNCIAS

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M., org. Hidrologia – Ciência e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2004.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Drenagem Urbana – Manual de Projeto. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.

FALAGUASTA, L. N.; GENOVEZ, A. M. Equações de chuvas intensas para os estados de São Paulo e Paraná. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n.3, p.169-176, 2003.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo. Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretaria de Vias Públicas: São Paulo, 1999.

HADADIN, N. A. Rainfall intensity-duration-frequency relationship in the Mujib Basin in Jordan. Journal of Applied Sciences, v.8, n.10, p. 1777-1784, 2005.

McCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. Estimating urban time of concentration. Journal of Hydraulic Engineering, vol. 110, n.7, p. 887-904, 1984.

PMV – Prefeitura Municipal de Vitória. Revisão do Plano Diretor Urbano do Município de Vitória – Relatório da Leitura Técnica – Território. Vitória: Instituto Pólis, 2004.

PMV – Prefeitura Municipal de Vitória. Manual de Drenagem Urbana. Vitória: Consórcio E-TEP/Engecorps, 2009.

SARMENTO, R. Altura x duração x freqüência das chuvas intensas no Estado do Espírito Santo. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 1985.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, n. 10, p.5-23, 2005.

SVENSSON, C.; CLARKE, R.T.; JONES, D.A. An experimental comparison of methods for estimating rainfall intensity-duration-frequency relations from fragmentary records. Journal of Hydrology, v.341, p. 79-89, 2007.

WILKEN, P. S. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: CETESB, 1978.

YU, P. S.; YANG, T. C.; LIN, C. S. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. Journal of Hydrology, v.295, p.108-123, 2004.

Influence of Hydrological and Physiographic Variables on the Design and Construction Costs for Macrodrainage Systems for Two Urban Watersheds – Case Studies for Vitória, Espírito Santo State

ABSTRACT

This study evaluated the influence of hydrological and physiographic variables on design and construction costs for macrodrainage systems in two urban watersheds located in Vitória, the capital of Espírito Santo state. Macro drainage systems were designed considering different formulations to estimate concentration times for the watersheds and maximum rainfall intensities, for the different return periods. Construction costs for the designed structures (closed drainage water canals) were estimated considering 24 (twenty-four) service and material items, for different flood return periods. The results clearly show that it is possible to achieve gains in protection from the effects of floods that are proportionally much higher than the corresponding increases in structure construction costs.

Key-words: macro drainage systems, hydrological variables, physiographic variables, costs.