

TEMÁRIO:

1. Bacias Hidrográficas Compartilhadas

- Gestão de recursos transfronteiriços

2. Gestão de Recursos Hídricos

- Aspectos sociais e gestão participativa
- Aspectos econômico-financeiros da gestão
- Aspectos legais e institucionais da gestão
- Comitês, agências e consórcios de bacias
- Outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos
- Planos diretores de recursos hídricos
- Gestão da oferta e demanda dos recursos hídricos
- Enquadramento dos cursos de água

3. Sistemas de Informações em Recursos Hídricos

- Sistemas de aquisição, armazenamento e processamento de informações
- Redes de monitoramento de qualidade e análise de dados
- Regionalização de dados
- Sistemas de informação geográfica (SIGs)
- Sensoriamento remoto
- Novas tecnologias LIDAR (laser)

4. Sistemas de Recursos Hídricos

- Modelos hidrológicos
- Modelos de qualidade de água
- Sistemas de auxílio à decisão
- Sistemas de planejamento e operação de reservatórios
- Técnicas de otimização e simulação
- Hidrologia estocástica

5. Hidrometeorologia

- Previsões hidrometeorológicas
- Modelos climáticos
- Mudanças climáticas globais

6. Desenvolvimento Sustentável

- Sistemas de gestão ambiental
- Aspectos ambientais da gestão de recursos hídricos
- Impactos da urbanização sobre os recursos hídricos
- Mitigação e avaliação de impactos ambientais
- Conflitos de usos múltiplos
- Desenvolvimento rural, agricultura e irrigação
- Energias alternativas

7. Drenagem

- Modelos de simulação
- Macro e micro-drenagem
- Controle de cheias

8. Hidráulica Aplicada

- Análise e risco de segurança de obras hidráulicas
- Morfologia fluvial
- Produção e transporte de sedimentos
- Operação e manutenção de obras hidráulicas
- Mecânica dos fluidos ambiental
- Modelos computacionais

9. Gestão de Áreas Costeiras

- Processos litorâneos
- Obras marítimas e fluviais
- Hidráulica marítima

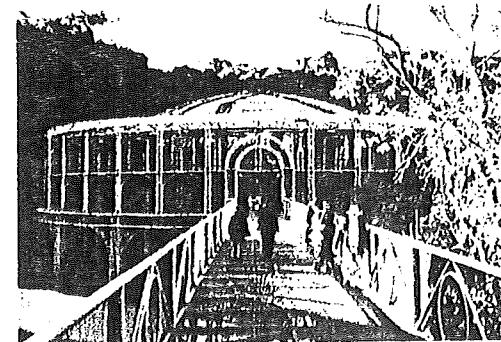
10. Águas Subterrâneas

- Vulnerabilidade e proteção de aquíferos
- Escoamentos subterrâneos
- Hidrogeoquímica
- Gestão dos aquíferos

Produzido por: Video Congress - www.videocongress.com.br
suporte técnico: video@videocongress.com.br / tel: 11 - 6163-3244



DESAFIOS À GESTÃO DA ÁGUA NO LIMIAR DO SÉCULO XXI



ABRH
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIDROLOGIA



CÁLCULO DE VAZÕES EM EVENTOS CRÍTICOS PARA MAPEAMENTO DE INUNDAÇÕES NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DO GREGÓRIO, SÃO CARLOS-SP.

Regina Mambeli Barros¹; Rafael Lúcio Esteves²;
 Eduardo Mário Mendiondo³ & Edson Wendland⁴

Resumo - O mapeamento de inundações tem sido objeto de estudo para o desenvolvimento de Planos Diretores (PD). Desde 2002, a Prefeitura Municipal de São Carlos-SP (PMSC) desenvolve seu PD com diretrizes para prevenção e controle de enchentes. No entanto, o cenário atual é o de execução de obras estruturais anti-enchentes, onerosas e de soluções pontuais. Pela ausência de planejamento prévio da urbanização em áreas de risco, a região do Mercado Municipal de São Carlos (MMSC) é a principal atingida pelas enchentes na várzea do Córrego do Gregório. Este estudo visa à tomada de decisão no PD através medidas não-estruturais como o mapeamento de enchentes. Foram inventariados os eventos críticos que produziram inundações próximas ao MMSC, via entrevista à população da várzea. Para essas datas, foram simulados os escoamentos com transformação chuva-vazão integrando com propagação simples. Os dados de entrada foram calibrados usando dados monitorados. Os resultados simulados oferecem evidências para o mapeamento de inundações a discutir na atual agenda do PD da Cidade.

Abstract - The flood zoning of risk-prone areas is a study performed in Master Plan of Urban Drainage (MPUD). Since 2002, the Municipality of São Carlos, SP, Brazil (PMSC) is developing a MPUD, thereby pursuing the guidelines for flood preventing and controlling. However, the real scenario shows expensive, on-site anti-flood works in São Carlos. Due to absence of previous watershed planning, the area of Municipality Market (MMSC) is continuously threaten by overspilling inundation events occurred in the floodplain of the Gregorio River. This work aims to offer supporting to decision-making of MPUD using nonstructural measures as flood zoning of risk-prone areas. Critical flood events that produced inundation at MMSC were checked-out interviewing inhabitants living in these urban risk-areas. Those critical events were simulated with

¹ Eng. Civil, Doutoranda PPG-SHS/EESC/USP, Cx. P. 359, São Carlos-SP, 13566-590, remambeli2001@yahoo.com.br

² Bolsista PIBIC/EESC/USP, Cx. P. 359. São Carlos-SP, 13566-590, rafaelesteves@hotmail.com

³ Eng. Rec. Hídricos, Prof. Dr. SHS/ EESC/ USP, Av. Cx. P. 359, São Carlos-SP, 13566-590, emm@sc.usp.br

⁴ Eng. Civil, Prof. Dr. SHS/ EESC/ USP, Cx. P. 359, São Carlos-SP, 13566-590, ew@sc.usp.br

runoff-stormflow transformation and wave routing. Input data were calibrated from monitored flood events. Results depict initial yardsticks for flood mapping to be included in the MPUD agenda.

Palavras-chave - mapeamento de enchentes, bacias urbanas, plano diretor, São Carlos, SP

INTRODUÇÃO

A estimativa de vazões críticas, em uma bacia, como parte de um conjunto de medidas não-estruturais é fundamental para um gerenciamento desta. Diversos autores têm utilizado em seus trabalhos o mapeamento ou zoneamento de inundações visando a redução de prejuízos por enchentes. LÖE & WOJTANOWSKI (2001) estudaram o *Canada's Flood Damage Reduction Program* (CFDRP), utilizando uma ampla faixa de custos e benefícios relacionados a proteção ambiental, planejamento de uso do solo e gerenciamento de planícies de inundaçao. NAEF et al. (2001) contemplam o potencial de redução do escoamento superficial devido às mudanças no uso do solo, sugerindo alterações no uso do solo para reduzir as enchentes em bacias urbanas. NIEHOFF et. al (2002) concluiu que as condições da geração de escoamento superficial dependem muito da característica do evento de precipitação e da escala. Isto é, a influência somente seria relevante para eventos de chuvas convectivas com alta intensidade de precipitação. O autor afirma que eventos convectivos são de muito maior relevância para a formação de enchentes em micro-bacias. Para cálculo do risco de enchentes diversos modelos hidrológicos têm sido utilizados (SCS, HEC, IPH II, IPH IV, entre outros) e também rotinas propostas (p.ex. LEOPARDI et al., 2002). SHIM et. al (2002) utilizaram versões especializadas dos modelos hidrológicos HEC-1 e HEC-5 em um Sistema de Suporte a Decisão (DSS – Decision Support System) que se integra a um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Resultados de estudo de caso indicaram que este Sistema para controle de enchentes reduz substancialmente os impactos de enchentes nas várzeas.

A bacia do Córrego do Gregório (Figura 1) é usada em estudos comparativos de hidrologia urbana (p.ex. GERMANO, 2001). Nesta bacia de 18,9 km², os eventos de inundaçao estão associados às precipitações convectivas. É uma bacia com urbanização não-uniforme. Em 2003, ela apresenta alta urbanização no centro, e baixa urbanização na sua foz e a montante (ver ESTEVES & MENDIONDO, 2003, esta edição). Nas várzeas ocupadas na sua parte central, conhecida como “região do Mercado Municipal de São Carlos (MMSC)”, ocorrem freqüentemente inundações, prejudicando os comerciantes e moradores alocados nesta área. Segundo dados da Defesa Civil do Município de São Carlos (CABALLERO, 2002, comunicação pessoal), a região do MMSC sofre em média de quatro a cinco grandes enchentes por ano, com prejuízos em torno de até R\$ 90.000

em cada um destes eventos. A percepção da sociedade muda acerca da gestão de recursos hídricos e drenagem urbana na bacia do Córrego do Gregório, a fim de analisar a expectativa do gerenciamento ante o risco nos principais pontos de alagamento (BARROS et al., 2003; RIGHETTO et al., 2003). A região do MMSC foi a principal região citada pelos moradores como prejudicada pelas inundações. Neste Ponto de Controle e em duas outras seções (Figura 2), denominadas Estação 4 (E4) e Estação 5 (E5), monitoradas por SILVA (2003), foram estudados os eventos críticos de inundações, avaliando-se as respectivas vazões. Nossa trabalho visa apresentar uma metodologia para dar suporte ao PD através medidas não-estruturais como o mapeamento de enchentes em bacias de interesse. Como o processo é adaptativo, ele é continuamente atualizado a partir de novos dados coletados no projeto “Experimento piloto de gerenciamento de bacias hidrográficas para o Plano Diretor de São Carlos” (FINEP/FIPAI-EESC/DAEE, 2003)

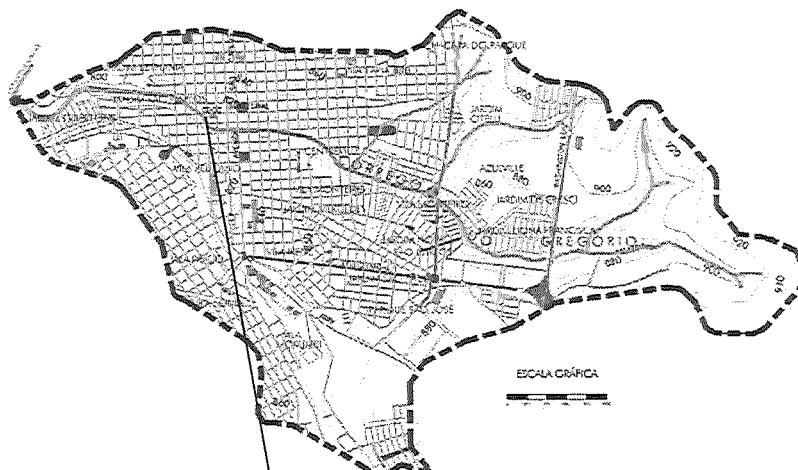


Figura 1- Sub-bacia do Córrego do Gregório. Fonte: CDCC/USP (2002)

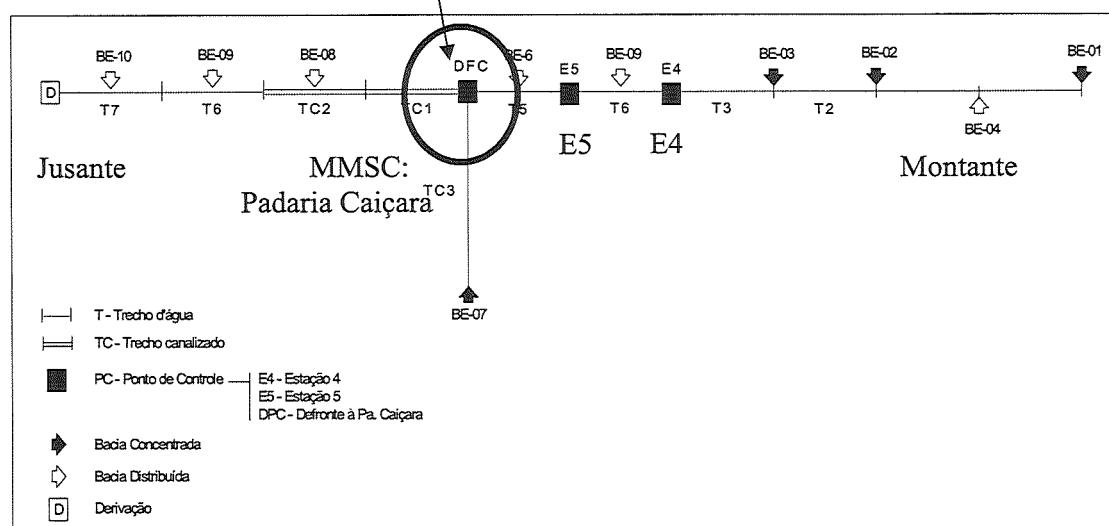


Figura 2 – Discretização da bacia do Córrego do Gregório, enfatizando a região de MMSC

METODOLOGIA

A região do MMSC possui vários estabelecimentos comerciais, dentre os quais, um dos principais prejudicados por inundações é a Padaria Caiçara. O proprietário deste estabelecimento possui demarcado na parede interna de seu estabelecimento as datas e horários nas quais ocorreram inundações críticas (tabela 1).

Tabela 1 – Datas e horários de eventos de inundações críticas na MMSC registradas pelo proprietário da “Padaria Caiçara”, bacia do Gregório, São Carlos, SP

Data	Horário
17/12/2000	03:05 h
14/09/2001	17:15 h
15/12/2001	18:35 h
07/01/2002	00:15 h
09/01/2002	01:05 h
13/01/2002	02:35 h
28/01/2002	20:50 h
10/02/2002	17:00 h
10/11/2002	18:15 h



Figura 3-Vista da inundação do Gregório em 10/02/2002 na região do MMSC; à esquerda, a “Padaria Caiçara”. Foto: Pedro Caballero, Defesa Civil de São Carlos, SP

A estas datas, foi acrescentado o evento de uma precipitação intensa em 04/01/2003. Os registros destas precipitações foram coletados junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Para calibração dos dados de entrada no modelo IPH II, é necessário a comparação com um evento monitorado. SILVA (2003) monitorou, entre 07/01/00 a 31/03/00, eventos chuva-vazão

com linígrafos em duas estações: Estação 4 (E4) e Estação 5 (E5), conforme Figura 2. Para o evento de 06/02/00, SILVA (2002) monitorou em E5 o valor de velocidade média na seção transversal e cotas (Tabela 2). Para cada altura registrada, os valores da Área Molhada (*AM*) e Perímetro Molhado (*PM*) da seção natural de E5 foram calculados. Utilizando a fórmula de Manning (*n* = 0,035), foi aprimorada uma curva-chave e uma equação de ajuste conforme a Figura 4.

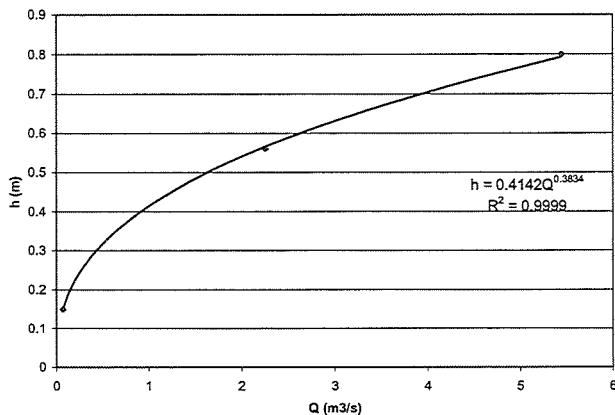


Figura 4- Curva-chave para seção de controle E5, montante do MMSC, na bacia do Gregório.

Tabela 2- Aferições de velocidade e altura do nível d'água. Fonte: SILVA (2002)

Data	<i>V</i> _{média} (m/s)	<i>h</i> (m)
05/05/01	0,25	0,15
30/03/01	1,99	0,80
27/01/01	1,25	0,56

A equação da curva-chave foi usada para estabelecer a variação da vazão em função do tempo para o evento de precipitação ocorrido em 06/02/00. A este evento, foram comparados os resultados da simulação com o IPH II, até que os valores de entrada para este modelo fossem calibrados.

Este modelo hidrológico - IPH II – foi utilizado em conjunto com o de propagação de ondas de Muskingum, ambos disponíveis no pacote “Modelos Hidrológicos – IPHS-1 – V. 2.04” do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS, 2003). A simulação, para o cenário de atual urbanização, procedeu para eventos de precipitação de chuvas convectivas de 30 e 60 minutos de duração para os respectivos períodos de retorno: 2, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 anos, reordenando os picos de chuva máxima aos 25% de sua duração total.

Os valores de alguns dados de entrada foram cedidos através de arquivos de obras realizadas e em execução pela Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC). Estes dados incluem as seções e comprimentos dos trechos canalizados e a geometria destes. Para os valores das cotas de fundo a

montante e a jusante, foi desenvolvido o Modelo Numérico do Terreno (MNT) da bacia do Córrego do Gregório a partir de S.I.G. com IDRISI 32®. Para os Pontos de Controle (PCs, Figura 2), foram extraídos, via MDT, os valores das cotas a montante e jusante dos diversos trechos estudados. A partir de entrevistas realizadas (BARROS, 2003) com diversos comerciantes afetados pelas enchentes na região do MMSC, foi possível atribuir preliminarmente um tempo de concentração de 25 minutos. Os valores iniciais foram atribuídos dos parâmetros do modelo IPH II, isto é K , I_0 , I_b e $R_{máx}$, foram extraídos a partir de estudo realizado por GERMANO (2001). Os valores alocados à impermeabilização buscaram representar o estágio de atual urbanização, em conformidade com análise de mapas atuais (CDCC, 2002; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS, 2002). As tabelas 3, 4 e 5 apresentam os valores de entrada para os diversos parâmetros no modelo IPH II e Muskingum. A derivação para o Córrego do Monjolinho foi considerada com “Derivação com % da Vazão” em 100%.

Tabela 3 – Parâmetros das Bacias (BEs) para o modelo IPH II, adaptado de GERMANO (2001)

Bacia (Figura 2)	Área (km ²)	H	I_0 (mm/h)	I_b (mm/h)	$R_{máx}$ (mm)	Urbanização (%)
BE-1	1,39	0,85	14	0,4	20	10
BE-2	1,35	0,85	14	0,4	18	50
BE-3	1,43	0,85	14	0,4	18	60
BE-4	4,84	0,85	14	0,4	14	50
BE-5	2,27	0,85	14	0,4	18	75
BE-6	4,17	0,85	14	0,4	5	90
BE-7	0,56	0,85	14	0,4	5	75
BE-8	1,74	0,85	14	0,4	14	75
BE-9	1,14	0,85	14	0,4	14	75

Tabela 4 – Característica para os trechos (T) ao modelo IPH II, conforme Figura 2.

Canal principal						Planície inundaçāo		
Altura (m)	Largura (m)	L _{trecho} (m)	Cota de fundo, Montante (m)	Cota de fundo, Jusante (m)	$n^{(*)}$	Largura (m)	n	Altura (m)
3	4	2350	856	826	Variável	N/a	N/a	N/a
3	4	800	826	823	Variável	N/a	N/a	N/a
3	4	800	823	816	Variável	N/a	N/a	N/a
3	4	550	816	810	Variável	N/a	N/a	N/a
3	6	750	810	798	Variável	14	0,014	0,1
10	15	1850	791	780	Variável	N/a	N/a	N/a

(*) Observação: valores extremos de rugosidade de Manning, entre $0,025 < n < 0,200$, são devidos à alta heterogeneidade do curso de água do Gregório. Fonte: FINEP/FIPAI-EESC/DAEE (2003)

Tabela 5 – Trechos Canalizados (TCs), afluentes ao Córrego do Gregório, conforme Figura 2.

<i>Elemento</i>	L_{trecho} (m)	Cota de fundo a montante (m)	Cota de fundo a jusante (m)	n	Tipo de Seção
<i>T-1</i> <i>(obras recentes)</i>	60	798,00	797,79	0.014	Retangular (3.80 x 6.00 m)
<i>T-2 (canalização existente)</i>	700	797,79	791,00	0.014	Circular ($\phi = 4.0871$ m)
<i>T-3 (canalização Córrego do Simeão)</i>	1500	854,00	798,00	0.014	Retangular (1.90 x 1.10 m)

RESULTADOS

Os resultados das simulações encontram-se representados nas Figura 5, 6 e 7.

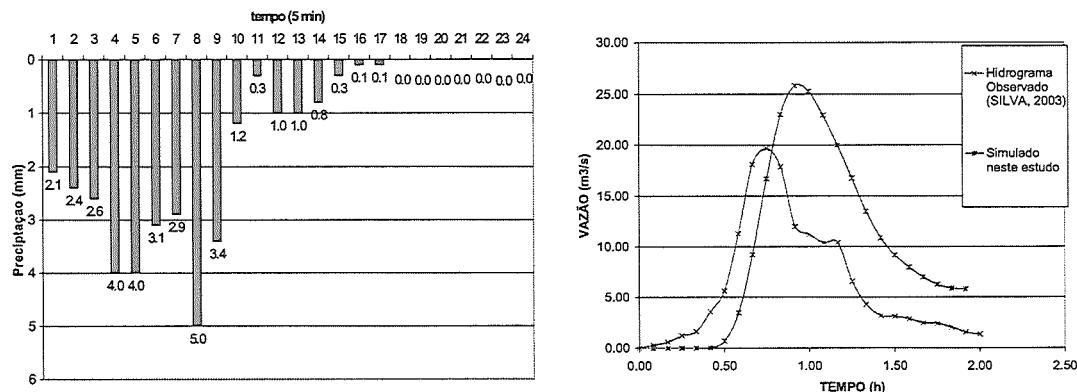


Figura 5 – Esquerda: Precipitação registrada; Direita: Comparação entre Hidrogramas Observado (SILVA, 2003) e Simulado, para evento em 06/02/2000.

Tabela 6 – Resultados de simulações para os eventos críticos no MMSC, “Padaria Caiçara”

Data	Lâmina Precipitada Acumulada (mm)	Lâmina Escoada Acumulada (mm)	$C = Q \div P$ (adim.)	T_p (min)	Q_{max} (m ³ /s)
04/01/03	95	59,5	0,62	180	84,3
07/01/00	63	34,6	0,55	120	80,0
09/01/02	73	42,7	0,58	105	87,0
10/02/02	43	20,9	0,48	135	62,9
10/11/02	41	18,5	0,45	105	48,1
13/01/02	58	31,4	0,54	105	21,2
14/09/01	55	29,4	0,53	120	44,2
15/12/01	29	11,7	0,40	120	29,8
17/12/00	42	19,5	0,46	105	27,1
28/01/02	41	16,2	0,39	60	53,4

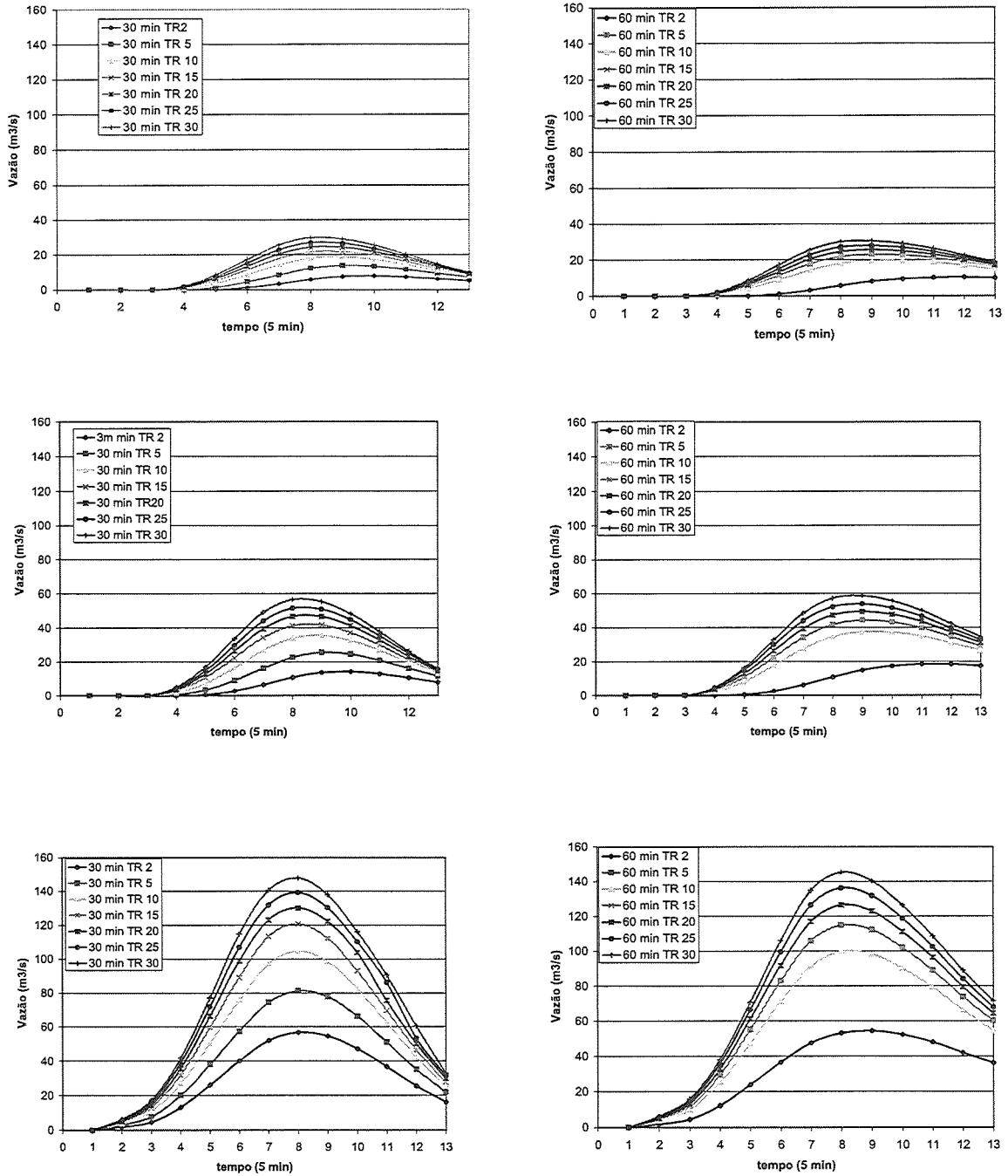


Figura 6- Simulações duração da chuva de 30 min. (esquerda) e 60 min (direita), para diferentes tempo de retorno, na bacia do Gregório nos postos de controle: E4 (superior), E5 (médio) e MMSC frente à “Padaria Caiçara” (inferior).

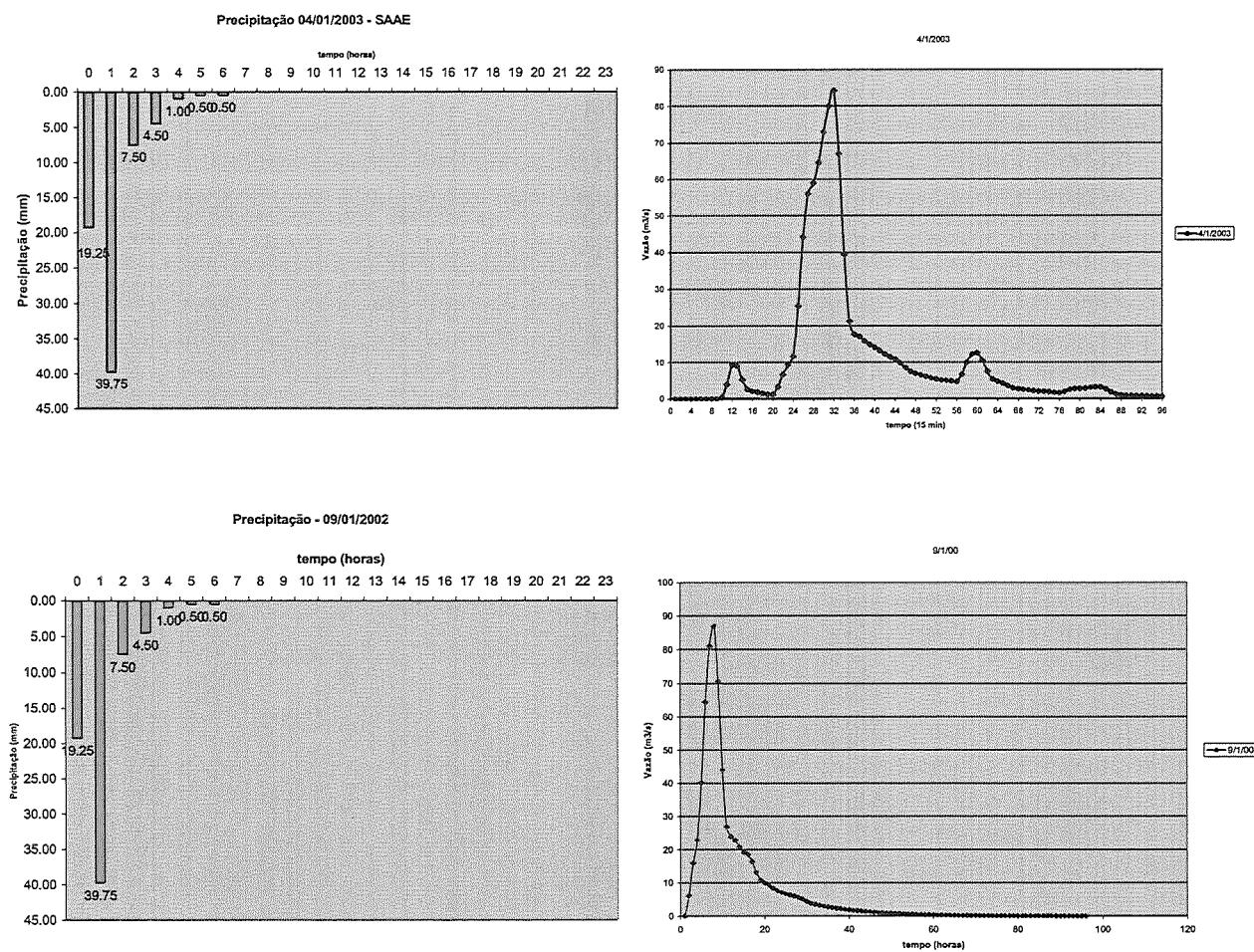


Figura 7 – Simulação de evento crítico de 04/01/03 (superior) e de 09/01/02 (inferior), bacia do Gregório, na região do Mercado Municipal de São Carlos (“Padaria Caiçara”)

Tabela 7 – Alagamentos resultantes das simulações para precipitações com duração de 30 min.

<i>Descrição do evento</i>	<i>Trecho</i>	<i>Volume (m³)</i>	<i>Duração (min)</i>
30 min TR 10	<i>TC1</i>	0,00	0
	<i>TC2</i>	143,19	25
30 min TR 15	<i>TC1</i>	0,00	0
	<i>TC2</i>	612,02	35
30 min TR 20	<i>TC3</i>	11,87	20
	<i>TC2</i>	907,57	35
30 min TR 25	<i>TC3</i>	29,40	25
	<i>TC1</i>	169,38	25
	<i>TC2</i>	981,93	35
30 min TR 30	<i>TC3</i>	42,03	25
	<i>TC1</i>	389,31	30
	<i>TC2</i>	946,84	35

Tabela 8 – Alagamentos resultantes das simulações para precipitações com duração de 60 min.

<i>Descrição do evento</i>	<i>Trecho</i>	<i>Volume (m³)</i>	<i>Duração (min)</i>
60 min TR 10	<i>TC1</i>	0,00	0
	<i>TC2</i>	624,63	35
60 min TR 15	<i>TC1</i>	0,00	0
	<i>TC2</i>	273,93	30
60 min TR 20	<i>TC1</i>	0,00	0
	<i>TC2</i>	624,63	35
60 min TR 25	<i>TC1</i>	0,00	0
	<i>TC2</i>	916,22	35
60 min TR 30	<i>TC1</i>	389,04	25
	<i>TC2</i>	1067,05	35

DISCUSSÃO

A curva-chave estabelecida para a seção E5 apresentou boa correlação ($r^2=0,99$, Figura 4). Vazões maiores de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondem a cotas de 0,8 m. Para cotas acima de 0,8 m, é necessário executar uma extrapolação desta curva-chave por meio de método de *Manning* ou *Stevens* (entre outros métodos, p.ex. em SEFIONE, 2002). O uso da curva-chave extrapolada melhora a previsão das cotas de inundação em E5, obtidas a partir dos valores de vazão simulados. Novos cenários de urbanização serão incluídos em trabalhos posteriores em função do Plano Diretor da cidade.

Em relação à calibração realizada (Figura 5), comparando o hidrograma simulado com o hidrograma observado a partir de SILVA (2003), a diferença entre os picos de vazão é de cerca de $6 \text{ m}^3/\text{s}$. O Hidrograma Simulado alcançou seu pico de vazão em cerca de 0,5 h a partir do início de acréscimo de vazão e o Hidrograma Observado em cerca de 0,75 h. A comparação dos hidrogramas (Figura 5) segue critérios observados a campo para encontrar elementos físico-conceituais que expliquem as diferenças, ao invés de procurar um ajuste de calibração matemática por parâmetros. Resultados de calibração podem ser consultados em SILVA (2003).

Para o posto de controle E4, as simulações para os diversos tempos de retorno (Tr), com precipitações de duração de 30 minutos, indicam que os picos de vazão ocorrem aproximadamente 35 minutos após o início dos eventos. Analisando as ocorrências de inundação (Tabela 7) para estes eventos, é possível verificar que para $Q_{max} > 19 \text{ m}^3/\text{s}$ (correspondente a $Tr = 10$ anos), ocorreriam extravasamentos no trecho canalizado ($143,19 \text{ m}^3$), sob a Rua Geminiano Costa (aqui representado em TC2). A situação se agravararia com a simulação para $Tr = 30$ anos, com $Q_{max} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$, na qual os trechos TC1, TC2 e TC3 (sobre a Ponte da Episcopal) seriam todos inundados (ver Tabela 6). No posto de controle E5, $Q_{máx} (Tr = 10 \text{ anos}) \approx 36 \text{ m}^3/\text{s}$, gera inundação em TC2 ($143,19 \text{ m}^3$); e $Q_{máx} (Tr = 30 \text{ anos}) \approx 60 \text{ m}^3/\text{s}$, inunda TC1, TC2 e TC3 (Tabela 7). Estes picos de vazão ocorrem em torno de 35 minutos após o início do evento, situação conferida com os relatos dos comerciantes

do MMSC. Frente à Padaria Caiçara (Ponto de Controle DPC), há cenários de $Q_{máx}$ ($Tr = 15$ anos) $\approx 105 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{máx}$ ($Tr = 15$ anos) $\approx 150 \text{ m}^3/\text{s}$, aos 35 minutos após o início do evento. A precipitação de Tr de 10 anos gera inundação em TC2 e a de Tr de 30 anos em TC1, TC2 e TC3 (Tabela 7). É possível notar, a partir destes valores, que a contribuição da área urbanizada (representada por BE-5 em T4 e BE-6 em T5) incrementa sobremaneira os picos de vazão. Isto é, em um mesmo evento, há um grande acréscimo no valor da vazão que passa em E4 relativamente ao Ponto de Controle DPC.

Em relação às chuvas de duração de 60 minutos a análise é semelhante. Observando a tabela 8, é possível verificar que a partir de precipitações com TR de 10 anos, ocorreriam inundações em TC2 ($624,63 \text{ m}^3$) e a partir de TR de 25 anos seriam geradas enchentes em TC1 e TC2. O cenário de $Q_{máx}(Tr=5 \text{ anos}) = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{máx}(Tr=30 \text{ anos}) \approx 31 \text{ m}^3/\text{s}$, tendo estes picos sido alcançados em cerca de 35 minutos após o início do evento. A vazão de pico para TR de 5 anos estaria em torno de $45 \text{ m}^3/\text{s}$ e para TR de 30 anos de cerca de $59 \text{ m}^3/\text{s}$, em 35 minutos desde o início do evento. No Ponto de Controle DPC, estes valores, também alcançados em 35 minutos desde o início do evento, seriam de aproximadamente $113 \text{ m}^3/\text{s}$, para Tr de 10 anos e de cerca de $141 \text{ m}^3/\text{s}$ para Tr de 30 anos.

Conforme a discretização da Figura 2 e observando as simulações para diferentes Tr as tabelas 7 e 8, é possível verificar que quando há $Q_{máx} > 25 \text{ m}^3/\text{s}$ em E4, ou $Q_{máx} > 45 \text{ m}^3/\text{s}$ em E5, ou $Q_{máx} > 112 \text{ m}^3/\text{s}$ no Ponto de Controle DPC (recebendo as contribuições representadas por BE-5 e BE-6), os cenários previstos geram inundações na Rua Geminiano Costa e sobre a Ponte da Episcopal, cujos valores dos volumes podem ser apreciados nas tabelas 7 e 8.

Dentre os eventos críticos simulados (Tabela 6 e Figura 7), as vazões mais altas foram alcançadas nos eventos representativos de 04/01/03 ($Q_{máx} = 85 \text{ m}^3/\text{s}$ em DPC) e 09/01/02 ($Q_{máx} = 87 \text{ m}^3/\text{s}$ em DPC). Observando a Tabela 6, o coeficiente de escoamento superficial variou entre 0,39 e 0,62 e o tempo de pico entre 60 e 180 minutos (tempo de pico médio de 115 min.). Em relação aos demais, talvez as lâminas das precipitações usadas subsidiárias da análise não sejam realmente representativas. Isto poderia ser devido à posição da ocorrência do registro destas, ou seja, próxima ao limite entre as sub-bacias vizinhas do Córrego do Gregório e do Monjolinho.

ESTEVES e MENDIONDO (2003) apresentam um estudo do comparativo do tempo de concentração entre fórmulas empíricas e dados observados por SILVA (2003), quem realizou um estudo experimental com medições *in loco*. Esses resultados serão incluídos em etapas subsequentes deste trabalho para comparação e estarão disponíveis nos sites www.baciaescola.hpg.com.br e www.busplanodiretor.hpg.com.br. Assim, haverá um aprimoramento das simulações integrando a modelação com dados físicos e com o conhecimento de moradores que têm vivências e relatos de antepassados, desde o século XIX, sobre as inundações do Gregório em São Carlos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os cenários estudados mostram que área da porção urbanizada da bacia do Córrego do Gregório aumenta com intensidade os picos de vazão entre os Pontos de Controle E4, E5 e DPC, podendo gerar inundações e extravasamentos sobre a Rua Geminiano Costa e sobre a Ponte da Episcopal. Esta constatação leva a necessidade de se realizar estudos de medidas estruturais e não-estruturais de controle de vazão, durante o processo de urbanização da área a montante da bacia. As simulações aqui mostradas não representam estrangulamentos provocados por pontos e alterações da seção do canal no trecho canalizado. Esses locais trabalham, dependendo da situação, a seção plena, e merecem um estudo mais aprofundado. Existem casos pontuais de remansos, como os que ocorrem nas saídas de galeria e que precisam de detalhes em futuros trabalhos. No entanto, as simulações representam uma boa aproximação para o estabelecimento de diretrizes do Plano Diretor do Município de São Carlos, e podem promover referenciais para alternativas de medidas estruturais e não-estruturais para controle de enchentes. Estas simulações são de enorme valor para uma ocupação sustentável da área não urbanizada, colaborando com diretrizes básicas do crescimento urbano, sobretudo em Áreas de Especial Interesse do Plano Diretor (PMSC, 2003). Novas simulações são necessárias, incluindo outros modelos (p.ex. SILVA, 2003) para comparar os resultados, visando maior precisão em um mapeamento posterior de enchentes no PDDU do município de São Carlos, em etapas subsequentes deste estudo.

Agradecimentos A CAPES pela concessão de bolsa de doutoramento à Regina Mambeli Barros (doutoranda do SHS-EESC/USP) e a FINEP/FNDCT/CT-HIDRO, pelo projeto do edital: GURH 03/2002, convênio FIPAI 01.02.0086.00, da EESC/USP e DAEE/SP. O Dr. Renato Anelli (PMSC) e Dr. Jurandir Povinelli (SAAE), ofereceram co-interveniente para obtenção de dados básicos; Eng. Me. Daniel Allasia e Eng.Me. Rutinéia Tassi (IPH-UFRGS) colaboraram com treinamento do IPH-S1 durante o I Colóquio de Hidrologia Urbana da EESC/USP, em Abril/2003. O Chefe da Defesa Civil de São Carlos, Sr. Pedro Caballero, pela ajuda em episódios de enchentes urbanas.

BIBLIOGRAFIA

- BARROS (2002). “Mapeamento de Enchentes para o Plano Diretor de Drenagem Urbana de São Carlos (PDDUSC) na Bacia Escola do Córrego do Gregório” – Exame de qualificação SHS – EESC/USP./Digitado/.
- CDCC/EESC/USP (2002). “*Bacias Hidrográficas de São Carlos*”./ CD-Rom/.

- ESTEVES, R. L. (2002). "Estratégias Metodológicas da Bacia Escola para o gerenciamento Ambiental da Drenagem Urbana". – Relatório de Iniciação Científica para o PIBIC/CNPq./Digitado/.
- ESTEVES, R. L., MENDIONDO, E. M. (2003). *Análise comparativa entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos, SP* In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, ABRH, Curitiba-PR (esta edição)
- FINEP/FIPAI-EESC/DAEE (2003) Experimento piloto de gerenciamento de bacias urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, Nro. 01.02.0086.00 (www.busplanodiretor.hpg.com.br)
- GERMANO, A . (2001). Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas bacias Urbanas Brasileiras. In: *Drenagem Urbana – Avaliação e Controle* (2001). Orgs.: TUCCI, C. E. M.; Editora da ABRH-UFRGS, Porto Alegre-RS.
- IPH-UFRGS / Instituto de Pesquisas Hidráulicas (2002) Manual do IPH-S1. Porto Alegre, RS
- LEOPARDI, A .; OLIVERI, E.; GRECO, M. (2002). Two-Dimensional Modeling of Floods to Map Risk-Prone Areas. *Journal of Water Resources Planning and Management*, May, June 2002, pp. 168-178.
- LOË, R.; WOJTANOWSKI, D. (2001). Associated Benefits and Costs of tha Canadian Flood Damage Reduction Program. *Applied Geography*, Vol. 21, pp. 1-21.
- NAEF, F.; SCHERRER, S.; WEILER, M. (2002). A Process Based Assessment of the Potential to Reduce Flood Runoff by Land Use Change. *Journal of Hydrology*, Vol. 267 , pp. 74-79.
- NIEHOFF, D.; FRITSCH, U.; BRONSTERN, A . (2002). Land-use Impacts on Storm-Runoff Generation: Scenarios of Lnad-Use Change and Simulation of Hydrological Response in a Meso-Scale Catchment in SW-Germany. *Journal of Hydrology*, Vol. 267 , pp. 80-93.
- PORTO, R. M. (1998). *Hidráulica Básica*, ed. EESC/USP, São Carlos-SP.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (2002). "Conferência da Cidade – Diretrizes para Elaboração do Plano Diretor"./ CD-Rom/.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (2003). *Macro-zoneamento e Áreas de Especial Interesse Social*, Reunião de Trabalho do Plano Diretor de São Carlos, Maio de 2003.
- RIGHETTO, A . M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*, ed. EESC/USP, São Carlos-SP.
- SEFIONE, A . L. (2002). "Estudo Comparativo de Métodos de Extrapolação Supeiror de Curvas-Chave". 218 p. Dissertação (Mestrado), - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SHIM, K. C.; FONTANE, D. G.; LABADIE, J. W. (2002). Spatial Decision Support System for Integrated River Basin Flood Control. *Journal of Water Resources Planning and Management*, May, June 2002, pp. 190-201.

- SILVA, K. A.A . (2002). Dados hidrológicos monitorados entre Jan/01 e Mar/01 na sub-bacia do Córrego do Gregório./ CD-ROM/.Inédito, EESC/USP, São Carlos.
- SILVA, K. A . A . (2003). “*Análise da Variabilidade Espacial da Precipitação e Parâmetros Hidrológicos em uma Bacia Experimental: Estudo Teórico-Experimental da Transformação da Chuva em uma Pequena bacia Hidrográfica Urbana*”. 400 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TUCCI, C. M. E. (1998). “*Modelos Hidrológicos*”, ed. ABRH, Porto Alegre-RS.