

Estudo do comportamento hidráulico da Bacia do Paracuri em Belém (PA) utilizando o programa *Storm Water Management Model*

Study of hydraulic behavior of Paracuri Basin in Belém (PA) with the use of Storm Water Management Model software

Marco Valério de Albuquerque Vinagre¹, Alberto Carlos de Melo Lima², Dickson Lopes de Lima Junior³

RESUMO

Estuda-se o comportamento hidráulico do sistema de drenagem da Bacia do Paracuri, no município de Belém (PA), com o uso do código computacional livre *Storm Water Management Model* (SWMM), sendo simulados dois cenários, ambos referentes à ocorrência de uma chuva de 82 mm de precipitação e duração de 6 horas. O primeiro cenário consiste no canal projetado, em perfeitas condições, e nesse caso não ocorrem alagamentos. O segundo cenário simula o mesmo canal com assoreamento de 50 cm, e ocorre inundação. Assim, verifica-se a utilidade do SWMM para simular o comportamento hidráulico dos sistemas de drenagem com dados de precipitações reais, diferentes das chuvas de projeto.

Palavras-chave: inundações; planejamento urbano; drenagem pluvial; SWMM.

ABSTRACT

The Paracuri Basin in Belém (PA), Brazil, hydraulic behavior is studied with the use of free computer code Storm Water Management Model (SWMM). Two scenarios are simulated; both related to the occurrence a rain of 82 mm precipitation and in a time of 6 hours. The first scenario consists of the channel designed in perfect condition, and hence no flooding occurs. The second scenario simulates the same channel with 50 cm of sedimentation, and flooding occurs. So it turns out the usefulness of SWMM to simulate the hydraulic behavior of drainage systems with actual rainfall data, different of project rain.

Keywords: floods; urban planning; rainwater drainage; SWMM.

INTRODUÇÃO

Alguns dos maiores problemas urbanos decorrem da falha dos sistemas de drenagem pluvial. Redes de macro e microdrenagem bem projetadas e construídas fazem enorme diferença na qualidade de vida urbana, pois cidades com constantes alagamentos, interrupções de tráfego e congestionamentos representam prejuízo certo para moradores e comerciantes, além de graves riscos à saúde pública. Para Meller (2007), o aumento da frequência das inundações urbanas nas últimas décadas tem tornado cada vez mais importante a incorporação de ferramentas que auxiliem no processo de tomada de decisão no gerenciamento da drenagem urbana.

Este artigo objetivou mostrar a importância do uso de ferramentas computacionais para simular o comportamento hidráulico de um sistema de drenagem sob o efeito de chuvas reais. Essa aplicação é valiosa,

pois permite a antecipação de situações, bem como o estabelecimento de medidas preventivas úteis, como a manutenção das redes de drenagem.

Com frequência, a imprensa noticia alagamentos e a população sofre e se comove. Cabe aqui perguntar: seriam previsíveis tais alagamentos? Poderiam ser evitados? A resposta a essas importantes perguntas pode ser dada a partir de estudos de Engenharia, desenvolvidos com o uso de programas simuladores de redes de drenagem. Um dos mais utilizados é o código computacional livre *Storm Water Management Modelling* (SWMM), ou, em português, Modelo de Gestão de Águas Pluviais Urbanas.

As ações públicas frequentes apenas transferem enchentes para montante ou jusante. Além de tal atitude não resolver o problema, torna-se ainda mais grave quando se soma ao aumento de sedimentos e à qualidade da água pluvial (DAEE/CETESB, 1980).

¹Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Professor Titular da Universidade da Amazônia (UNAMA) - Belém (PA), Brasil.

²Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP). Professor Adjunto da Universidade do Estado do Pará (UEPA) - Belém (PA), Brasil.

³Graduado em Engenharia Civil pela UNAMA - Belém (PA), Brasil.

Endereço para correspondência: Marco Valério de Albuquerque Vinagre - Avenida Alcindo Cacela, 287 - Umarizal - 66060-000 - Belém (PA), Brasil - E-mail: valeriovinagre@unama.br

Recebido: 16/11/12 - **Aceito:** 01/12/14 - **Reg. ABES:** 106515

Para Tucci (1993), o conhecimento dos parâmetros utilizados nos modelos para representar os processos hidrológicos é de grande importância, e a atribuição de valores constantes para esses parâmetros se torna difícil devido à heterogeneidade do solo, à vegetação e à topografia, principalmente quando analisados para diferentes eventos de chuva que variam no espaço e no tempo. Assim, o estudo e o conhecimento dos sistemas urbanos de drenagem são extremamente importantes, pois disso depende a garantia da salubridade e integridade urbana, evitando perdas materiais e humanas.

A grande preocupação dos sistemas de drenagem urbana é a água das chuvas locais e sua interação com a água proveniente do resto da bacia (MAKSIMOVIC, 2001).

O processo de ocupação do espaço urbano da bacia do Paracuri, em Belém (PA), não reflete aspectos fundamentais do planejamento, implicando em grandes transtornos e custos ao ambiente (VALADARES, 2009), além de muitos problemas ao município, tais como inundações, deterioração ambiental e da qualidade da água. Tais problemas têm se ampliado com a urbanização e o aumento da área impermeabilizada, ocasionando o aumento da vazão máxima (DIAS, 1996).

Esses fatos têm contribuído para um ambiente degradado (que nas condições atuais da Bacia do Paracuri somente tende a piorar), resultante de um processo que infelizmente não está sendo contido, mas ampliado à proporção que o limite urbano aumenta. A situação se torna ainda mais grave com a chegada das chuvas (de dezembro a junho), período em que os meios de comunicação noticiam diariamente a ocorrência de ruas alagadas e intrafegáveis na área do Paracuri.

METODOLOGIA

Os projetos de drenagem urbana são desenhados para operar sob condições parametrizadas referentes à impermeabilização do pavimento (o que influi sobre o deflúvio superficial); ao terreno, como as áreas das bacias de contribuição e sua topografia; ou ainda às condições meteorológicas, que determinam as denominadas chuvas de projeto, com sua intensidade, duração e frequência.

O presente estudo foi desenvolvido com o uso do código computacional livre e gratuito SWMM, desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA). Foi simulado o comportamento hidráulico da rede de macrodrenagem da bacia do Paracuri, em Belém (PA), sob o efeito de uma precipitação intensa real.

A Bacia Hidrográfica do Igarapé Paracuri

O bairro do Paracuri é um dos mais representativos do Distrito de Icoaraci, na cidade de Belém (PA). Limita-se com os bairros Agulha, Ponta Grossa e Parque Guajará. O acesso ao centro de Belém se dá pelas rodovias Augusto Montenegro e Artur Bernardes. O bairro do Paracuri tem sua importância pela produção artesanal, sendo

confeccionados artesanalmente vasos indígenas, que são exportados e muito apreciados mundo afora, em especial os dos estilos Tapajônico e Marajoara. O bairro conta com um polo de artes e ofícios mantido pela prefeitura, para transmitir e preservar as técnicas de produção dos artefatos cerâmicos. O bairro é cortado pelos Igarapés Paracuri e Livramento, que juntos formam a Bacia Hidrográfica do Paracuri, com uma área de 14,60 km². Das margens dos igarapés é extraída a argila com a qual são feitos os artefatos. A circunferência sobre a Figura 1 delimita a área em estudo.

Urbanização da Bacia do Paracuri

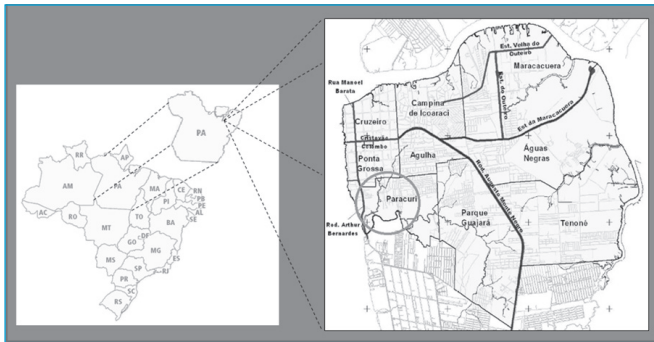
Apesar de sua importância e tradição, grande parte do bairro do Paracuri não é urbanizada e mantém aspectos de bucolismo em plena região metropolitana. Por outro lado, o bairro apresenta ocupações informais no leito do Igarapé Paracuri, causando problemas ambientais e de saúde pública, bem como reflexos na economia local. De acordo com os artesãos locais, a criação de uma área de preservação ambiental é fundamental para se contrapor ao processo de urbanização espontânea que está ocorrendo. O projeto de urbanização da área prevê a intervenção no Igarapé Paracuri por meio da realocação das famílias atualmente assentadas em condições de risco nas margens e no leito do igarapé para zonas especiais de interesse social a serem criadas, incluindo obras para ampliação e melhoria das redes de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e construção de rede de microdrenagem para erradicar pontos de alagamento, proporcionando melhoria das condições ambientais e sanitárias da região, de forma a contribuir para a melhoria da saúde pública com a minimização das doenças de veiculação hídrica e/ou focos de proliferação de doenças (LIMA JUNIOR, 2011). A Figura 2 mostra uma proposta de reserva ambiental para o bairro do Paracuri.

A área da Bacia do Paracuri necessita melhorar o ordenamento urbanístico, dotando-a de bens de serviços públicos, tais como saúde, educação, lazer, vias pavimentadas, redes de drenagem, água e esgoto, iluminação pública e eliminação das sub-habitações existentes, com transferências de algumas famílias para assentamentos adequados. As Figuras 3 e 4 ilustram a área de atuação do projeto.

Aplicação do Storm Water Management Model para a Bacia Hidrográfica do Paracuri

Previamente à execução da simulação, é necessária a inserção de informações e parâmetros determinados pelo usuário, tais como:

1. método de escoamento; no caso, o escolhido foi o roteamento dinâmico, que é o tipo mais usual e completo, devendo teoricamente produzir resultados mais precisos. É o método recomendado para sistemas sujeitos a efeitos de remanso, devido a restrições de fluxo a jusante;
2. unidade de fluxo, a qual utilizou metros cúbicos por segundo;



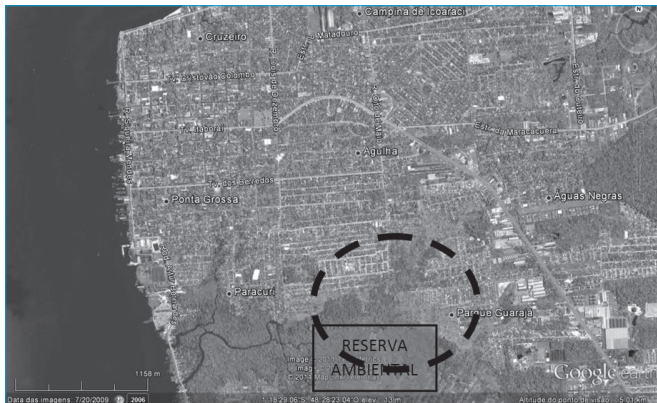
Fonte: PMB-SEGE (2006), modificado.

Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Igarapé Paracuri.



Fonte: Lima Junior (2011).

Figura 4 – Canal Paracuri – habitações estrangulando o canal.



Fonte: Google Earth (2011), modificado.

Figura 2 – Bairro do Paracuri – proposta de reserva ambiental.



Fonte: PMB-SEURB (2008).

Figura 3 – Área de atuação do projeto.

3. método de infiltração; foi selecionado o *Green-Ampt*, pois ele considera o solo inicialmente úmido e tem como parâmetro de entrada o déficit da umidade inicial.

A quantificação da impermeabilização urbana é útil para a previsão de enchentes e muito importante como parâmetro urbanístico (GAROTTI & BARBASSA, 2011). Dadas as condições de uso e ocupação do solo, foi

adotado para o coeficiente de deflúvio 70%. Assim, este é o percentual do volume que escoar para os coletores pluviais em relação ao volume precipitado. Para os cálculos, foram adotados os seguintes parâmetros:

1. uso da fórmula de Manning;
2. coeficiente de rugosidade de Manning (n) para concreto ($n=0,015$), concreto sujo ($n=0,020$) e para canal em terra com grama ($n=0,030$);
3. declividade (i)= $0,0010$ m/m (0,10% ou 1,0‰).

Discretização da Bacia do Paracuri

A Figura 5 mostra a área em estudo, com o canal projetado.

A área a ser drenada é de 260,00 ha, sendo que a bacia foi discretizada em 8 sub-bacias ao longo do canal, buscando a melhor representatividade das características naturais, onde foram consideradas as variações da topografia e da homogeneidade das características urbanas, conforme a Tabela 1.

Dados do canal

O canal foi projetado com seção trapezoidal, seção única, funcionando como bacia de acumulação, largura da base de 5,00 m, talude de 2H:1V, sem revestimento. Apresenta extensão de 1.060,00 m. O canal terá a cota nas paredes laterais ao canal em 4,20 m e as paredes do canal prolongadas até a cota 4,70 m, além do guarda corpo de proteção. A Tabela 2 explicita esses dados.

A Figura 6 mostra as curvas de nível do canal do Paracuri. Nela se vê o caminho percorrido pelo fluxo até o exutório.

Todas as junções apresentaram profundidade de 4,00 m, e todos os condutos utilizados na simulação tiveram base de 5,00 m e taludes direito e esquerdo de 6,50 m. As Tabelas 3 e 4 mostram as cotas das junções e os comprimentos dos condutos.

Dados pluviométricos

A quantificação da precipitação é um dos fatores mais relevantes para o estudo do sistema de drenagem e assim deve ser estabelecida

em função de dados médios publicados nos âmbitos nacional, regional ou local, assim como considerando séries históricas de chuva na região. Tais informações foram obtidas no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A Figura 7 apresenta a chuva acumulada mensal em Belém (PA) no ano de 2011.

A NBR 10844 – Instalações prediais de águas pluviais apresenta em sua “Tabela de Chuvas Intensas para o Brasil”, para a cidade de Belém (PA), a precipitação de 157 mm/h de intensidade, duração de 5 minutos, para o



Fonte: Google Earth (2011), modificado.

Figura 5 – Projeto do Canal Paracuri.

período de retorno de 5 anos. Os dados básicos pluviométricos utilizados no dimensionamento do canal foram baseados na estação pluviométrica de Belém, adotados os coeficientes publicados em “Chuvas intensas no Brasil” (PFAFSTETTER, 1957), e comparados com a equação intensidade-duração-frequência do município de Belém (PA). O interesse deste estudo foi simular o escoamento com o uso do programa SWMM e verificar o comportamento do canal projetado sob o efeito de uma chuva real.

A Tabela 5 mostra eventos de chuva ocorridos na cidade de Belém, cujos dados foram coletados pela estação de monitoramento do INMET que se encontra instalada na EMBRAPA, no bairro do Curió-Utinga, distando 22 km do bairro do Paracuri, local estudado.

A partir dos dados da Tabela 5, selecionou-se como realista para a simulação a série temporal denominada de TS1, com a precipitação de 82,4 mm de chuva ocorrida no dia 14 de abril de 2011, em um intervalo de tempo de 6 horas.

A Figura 8 mostra os dados e o gráfico da série temporal.

Tabela 2 – Dados do canal projetado.

Trecho	De A a B (Estaca 0+53 a 0+00)
Seção transversal	Trapezoidal
Base (m)	5,00
Altura (m)	2,13 a 3,20
Talude	2 H: 1 V
Cota fundo (m)	2,07 a 1,00
Cota topo (m)	4,20
Declividade (m/m)	0,001
Revestimento fundo	Solo
Paredes	Solo com grama
Tirante de água (m)	1,53 a 2,60
Extensão (m)	1.060,00
Vazão (m³/s)	13,0 em A (Est. 0+53) 22,9 em B (Est. 0+00)

Fonte: PMB-SEURB (2008).

Tabela 1 – Sub-bacias do Paracuri.

Sub-bacia	Área (ha)	Área acumulada (ha)	Caminho de fluxo até canal (m)
S1	Tv. Souza Franco – Tv. Berredos L.D.	86,0	321,72
S2	TV. Souza Franco – Tv. Berredos L.E.	57,0	357,67
S3	Tv. Berredos – Tv. Andradadas L.D.	40,0	211,23
S4	Tv. Berredos – Tv. Andradadas L.E.	30,0	289,45
S5	Tv. Andradadas – Tv. Soledade L.D.	18,0	154,35
S6	Tv. Andradadas – Tv. Soledade L.E.	14,0	167,89
S7	Tv. Soledade – Jusante canal L.D.	5,0	93,51
S8	Tv. Soledade – Jusante canal L.E.	10,0	72,18

Fonte: adaptado de PMB-SEURB (2008) e Lima Junior (2011)

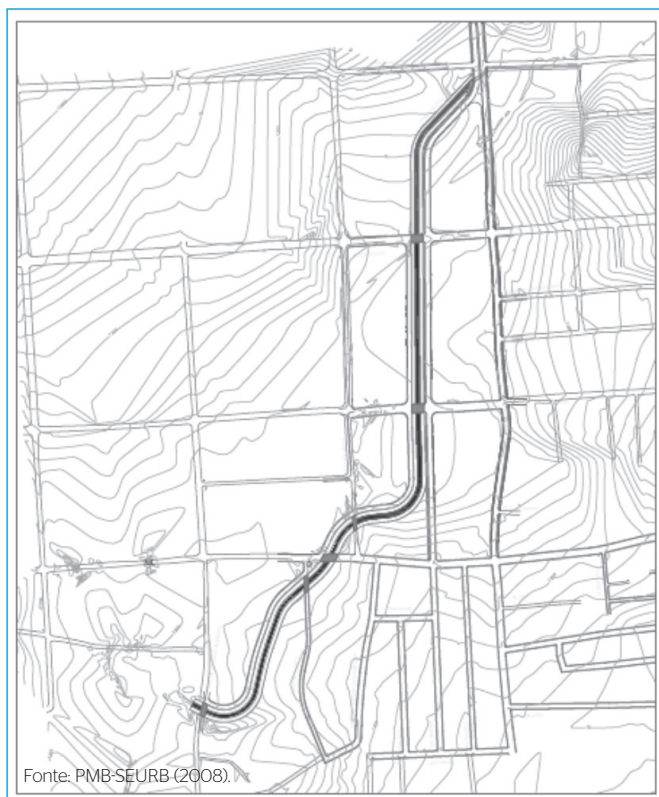


Figura 6 - Curvas de nível do Canal Paracuri.

Tabela 3 - Cotas das junções.

Junção	Cota (m)
J1	14,327
J2	14,242
J3	13,821
J4	13,527
J5	13,362
J6	13,166
J7	12,248
J8	12,168

Fonte: Lima Junior (2011).

Tabela 4 - Comprimento dos condutos.

Conduto	Comprimento (M)
C1	120,00
C2	120,00
C3	240,00
C4	120,00
C5	120,00
C6	120,00
C7	160,00
C8	80,00

Fonte: Lima Junior (2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estudar o comportamento hidráulico da bacia, foram simulados dois cenários: o primeiro cenário consiste na situação proposta pelo projeto; o segundo considera a diminuição da profundidade do canal devido ao assoreamento e à falta de manutenção, condições bastante frequentes nas áreas urbanas.

Cenário 1 - Canal projetado em perfeitas condições

A simulação foi bem-sucedida, ocorrendo erros mínimos, sendo -0,00% para escoamento superficial e -0,03% para fluxo de roteamento. Verifica-se, para o Cenário 1, que o canal projetado estava em perfeitas condições de funcionamento, considerando-se, na simulação, as cotas projetadas (Tabela 2), como a profundidade máxima de projeto, declividade 0,001 m.m⁻¹ e vazão de montante de 13,0 m³.s⁻¹ e de jusante de 22,9 m³.s⁻¹. A Figura 9 mostra o momento da lâmina d'água máxima no canal, fenômeno que ocorre sete horas após o início da chuva.

Observa-se na Figura 9 que não houve transbordo em nenhuma junção, portanto o canal projetado suporta bem a chuva simulada, com intensidade de 82 mm e duração de 6 horas, e atende às especificações para as quais foi projetado, contando com folga para atender as maiores precipitações.

Cenário 2 - Canal projetado com assoreamento de 50 cm

Para a segunda análise, foram considerados os mesmos eventos e o mesmo volume de precipitação considerado para o cenário 1. Levou-se em consideração, para o cenário 2, a simulação de um assoreamento de 50 cm

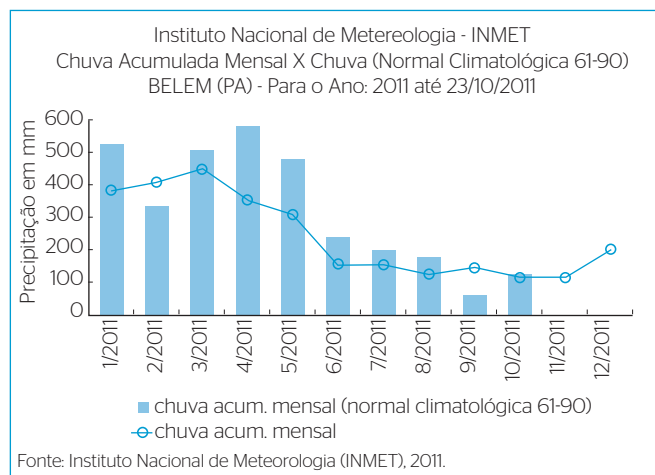


Figura 7 - Chuva acumulada mensal em Belém (2011).

Tabela 5 - Dados meteorológicos em Belém em abril e maio de 2011.

Data	Temp. Mín. (°C)	Temp. Máx. (°C)	Umidade Relativa (%)	Chuva (mm)
11/05/2011	25,00	30,60	79,00	52,2
10/05/2011	23,10	33,10	74,00	57,6
24/04/2011	23,20	30,70	81,00	100,3
14/04/2011	22,00	29,70	84,00	82,4

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2011

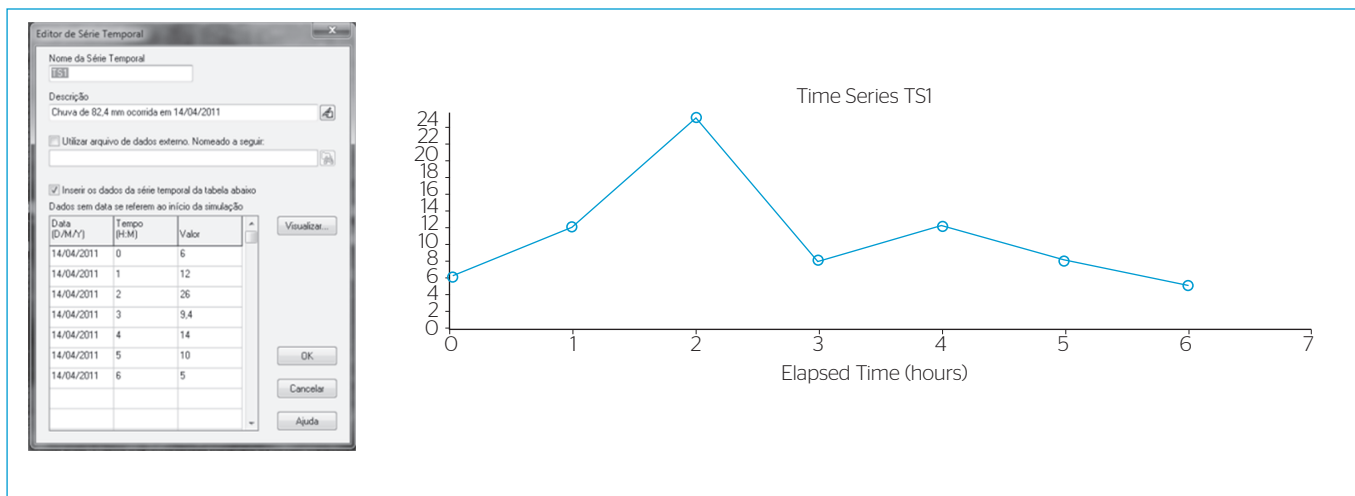


Figura 8 - Dados e gráfico da série temporal.

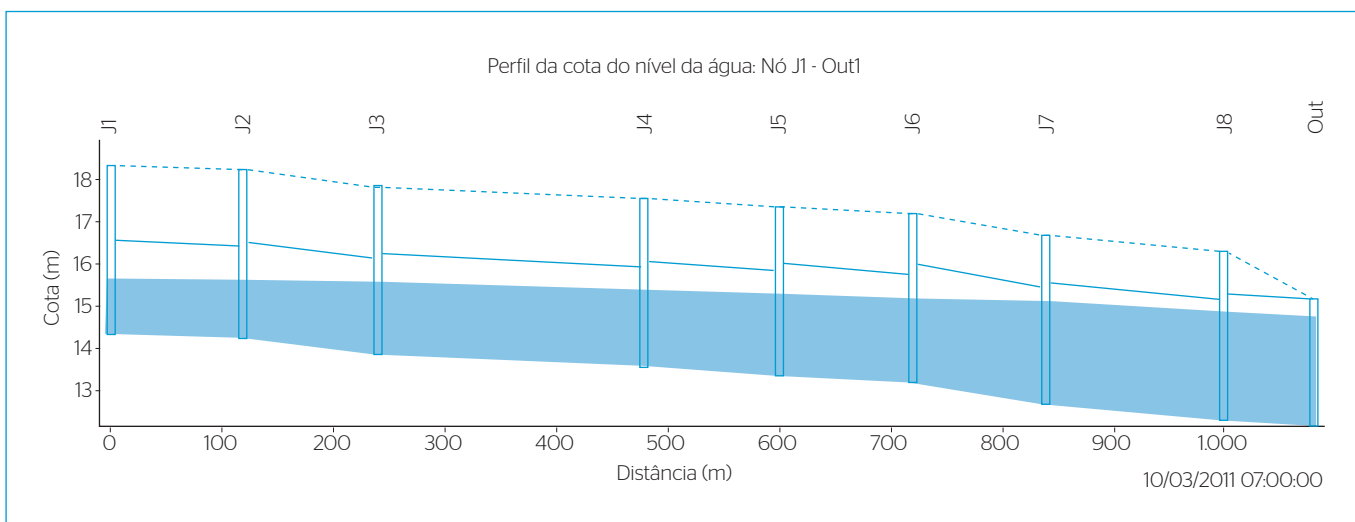


Figura 9 - Gráfico da lâmina máxima de escoamento no canal para o Cenário 1.

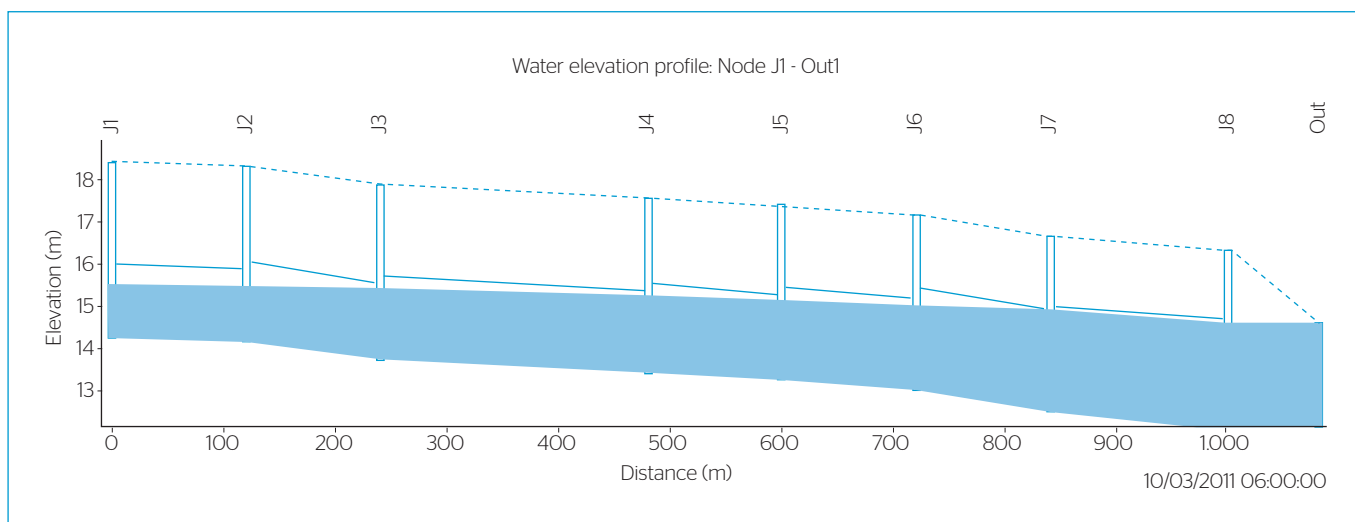


Figura 10 - Gráfico da lâmina máxima de escoamento no canal para o Cenário 2.

ao longo do canal devido à falta de manutenção. A intenção de rebai-xar a cota do canal é exatamente para elevar o nível máximo de água escoada, para então analisar quais sub-bacias ficariam alagadas caso não houvesse manutenção no canal. A Figura 10 mostra o gráfico da lâmina máxima de escoamento no canal para o Cenário 2.

A Figura 11 mostra que a vazão máxima ocorre sete horas após o início da chuva.

A Figura 12 mostra que as sub-bacias S1 a S6 não sofreram alaga-mentos, enquanto a sub-bacia S7 sofre alagamento parcial e a sub-bacia S8 sofre alagamento completo.

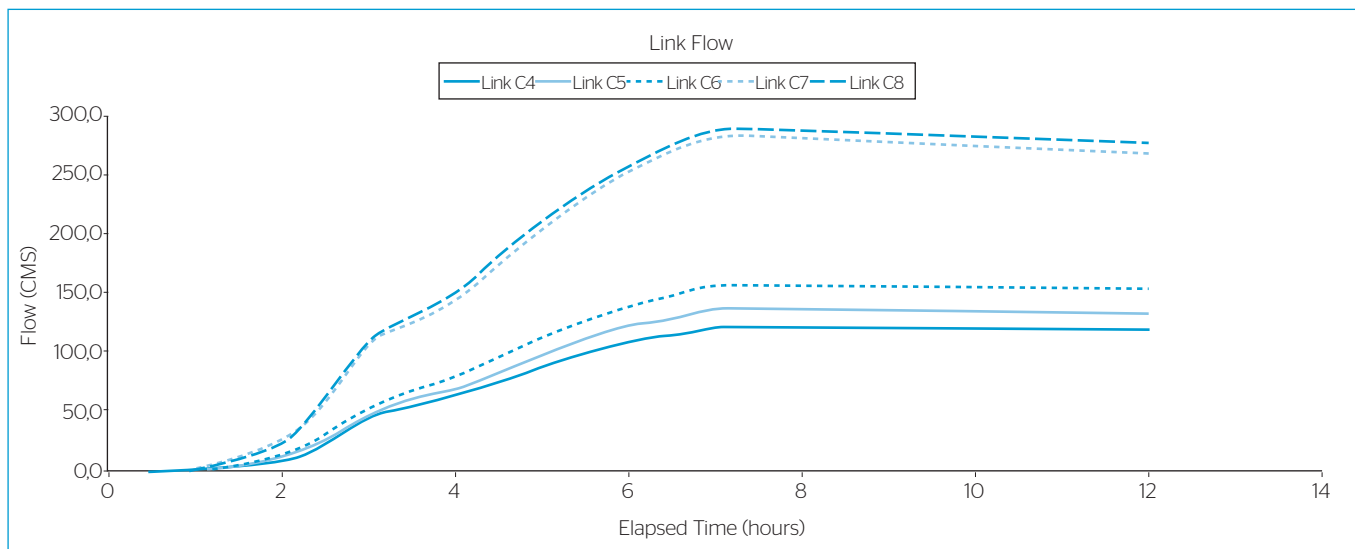


Figura 11 - Gráfico fluxo (m³.s⁻¹) x tempo (h).



Figura 12 - Sub-bacias da área de estudo.

A Figura 12 demonstra a utilidade do estudo da bacia com o uso do SWMM, simulando-se um estado futuro do canal e verificando-se seu comportamento.

CONCLUSÕES

Este trabalho utilizou o programa SWMM para estudar o comportamento hidráulico e os impactos causados pelos processos de urbanização nos eventos de cheia, bem como o aumento das áreas de inundação na Bacia Hidrográfica do Paracuri, localizada na cidade de Belém (PA), com área de 14,60 km².

Na avaliação do comportamento da bacia foram analisados dois cenários de escoamento da rede de macrodrenagem do local de estudo. O acurado estudo da área permitiu a obtenção de informações fundamentais para o entendimento dos processos e a simulação do comportamento hidráulico do sistema de drenagem. Verificou-se, no primeiro cenário simulado, que o canal projetado para a Bacia do Paracuri atende perfeitamente às demandas de contribuição das sub-bacias para uma intensidade pluviométrica de 82 mm em um intervalo de tempo de 6 horas.

No segundo cenário simulado, considerando um assoreamento de 50 cm ao longo do canal e a mesma intensidade pluviométrica do

primeiro cenário, verificou-se que as duas sub-bacias de jusante do canal apresentaram alagamentos.

A simulação de cenários futuros apresenta-se de grande utilidade para a análise do comportamento do sistema de drenagem urbano, com a possibilidade de ser estudada a influência do processo de urbanização sobre o sistema de drenagem, pois aumentos na vazão de pico, no volume escoado e na profundidade de inundações, verificados em diferentes cenários, mostram a necessidade de projetar e executar a urbanização de maneira sustentável, já que frequentemente os planos diretores municipais preocupam-se em estabelecer índices de ocupação, porém não restringem a impermeabilização total dos lotes.

Assim, os modelos hidrológicos e hidráulicos servem como uma ferramenta indispensável para o gerenciamento e planejamento da drenagem pluvial no ambiente urbano, possibilitando a verificação e antecipação dos impactos produzidos pela urbanização.

Finalmente, fica clara a importante contribuição do modelo computacional SWMM como uma valiosa ferramenta para possibilitar medidas de prevenção e controle de alagamentos e inundações nas cidades, contrapondo-se ao cotidiano de nosso país, no qual cenas de alagamentos se constituem, infelizmente, em rotina.

REFERÊNCIAS

DAEE/CETESB - Departamento de Águas e Energia Elétrica/Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (1980) *Drenagem Urbana*. 2 ed. São Paulo: DAEE/CETESB.

DIAS, M.B. (1996) *Industrialização e a produção do espaço urbano de Icoaraci, Belém-PA*. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GAROTTI, L.M. & BARBASSA, A.P. (2010) Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, n. 1, p. 19-28.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2011) *Parâmetros Meteorológicos - Mensal*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2011.

LIMA JUNIOR, D.L. (2011) *Contribuições para um plano diretor setorial de drenagem pluvial para o distrito de Icoaraci - Belém-PA*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade da Amazônia, Belém.

MAKSIMOVIC, C. (2001) General overview of urban drainage principles and practice. In: Unesco - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. *Urban drainage in Specific climates*. Volume 1: urban drainage in humid tropics. Paris: Unesco.

MELLER, A. & PAIVA, E.M.C.D. (2007) Simulação hidrodinâmica 1D de inundações em sistema de drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, p. 1-11.

PFRAFSTETTER, O. (1957) *Chuvvas intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 246 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. (2006) *Anuário Estatístico de Belém*. Belém: SEGEP.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. (2008) *Bacia Hidrográfica do Paracuri*. Belém: SEURB.

TUCCI, C.E.M. (1993). *Hidrologia*. Ciência e Aplicação. São Paulo: EDUSP.

VALADARES, L. (2009) *Análise da Drenagem no Perímetro Urbano de Imperatriz - MA*. Disponível em: <<http://www.wegartigos.com>>. Acesso em: 14 mar. 2011.