



Simulações e Modelagem Hidrológica de Microbacia Urbana para Previsão de Inundações: o caso do rio das Antas na cidade de Anápolis-GO

Eduardo Dourado Argolo ¹
Carlos Christian Della Giustina ²

RESUMO

Este estudo se propõe a simular as diferentes vazões do rio das Antas em trechos distintos e de suas respectivas áreas de inundação, em resposta às diferentes intensidades de chuva. A porção estudada da bacia do Rio das Antas está localizada na cidade de Anápolis, no Centro-Oeste goiano. O caso estudado exemplifica uma área urbana com riscos de inundação e alagamento pelas águas pluviais. A cidade encontra-se em franca expansão urbana, o que tem provocado, como consequência, o incremento da impermeabilização da bacia estudada. Essas vazões simuladas foram construídas a partir da interpretação do uso e da ocupação do solo na bacia em foco utilizando modelagem hidrológica por meio do método Racional e da equação de Bernoulli, no modelo de simulação hidráulica do programa computacional HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*). Para as simulações foram utilizados tempos de recorrência de 5, 10 e 50 anos. Os resultados demonstraram que ocorrem inundações e alagamentos com riscos patrimoniais e humanos quando ocorrem chuvas com intensidades correspondentes a tempos de recorrência de 10 anos em trechos específicos onde há estrangulamento dos canais de drenagem.

Palavras-Chave: Modelo Hidrológico; Run-Off; Simulação; Inundação; Solo.

¹ Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente do Centro Universitário de Anápolis. Professor no Centro Universitário de Anápolis, UniEVANGELICA, Brasil. eduardoxargolo@gmail.com

² Doutor em Desenvolvimento Sustentável pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília. Professor no Centro Universitário de Anápolis, UniEVANGELICA, Brasil. giustina@paranoaconsult.com.br

A Lei Federal nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), rege que a água é um recurso natural de disponibilidade limitada. Portanto, para fins de gestão, a observação dos aspectos qualitativos e quantitativos das bacias hidrográficas é um importante aspecto a ser monitorado. A referida lei instituiu que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implantação da PNRH (Carvalho 2007).

Cruciani (1976) define a bacia hidrográfica como sendo a área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma seção transversal, para onde converge toda a água aportada nessa mesma área.

Os estudos de simulações e modelagens hidrológicas em bacias hidrográficas permitem estimar e prever as inundações nas cidades. Assim, entender o ciclo hidrológico e os seus componentes torna-se fundamental para o planejamento de estratégias de prevenção e de mitigação de desastres relacionados às enchentes.

Para Villela & Mattos (1975), o escoamento superficial é um dos mais importantes fenômenos do ciclo hidrológico. Após o início da chuva, uma porção da água se infiltra, reabastecendo os aquíferos e umedecendo a superfície do solo. Assim que o solo atinge a saturação hídrica, a água escoar sobre a superfície, uma vez que foi reduzida a capacidade do solo em absorvê-la. A quantidade de água da chuva que se transforma em escoamento superficial se acentua com o aumento da precipitação e da impermeabilização do solo.

A urbanização desordenada agrava o problema das enchentes, quando se intensifica o desmatamento e o aumento das áreas impermeáveis nas bacias contribuintes. A supressão da vegetação reduz a interceptação da água, fazendo-a cair diretamente no solo, o que, sem a cobertura vegetal, acentua a parcela de água que se transformará em escoamento superficial e, conseqüentemente, acarretará no aumento dos picos de vazão (Santos 2010).

Conforme o *Center for Research on the Epidemiology of Disaster* (CRED 2011), com base no banco de dados do EM-DAT (*Emergency Events Database*), o tipo mais relevante de desastre natural no Brasil é o de inundações, responsável por mais de 60% das mortes e das perdas patrimoniais entre os anos de 1982 e 2010.

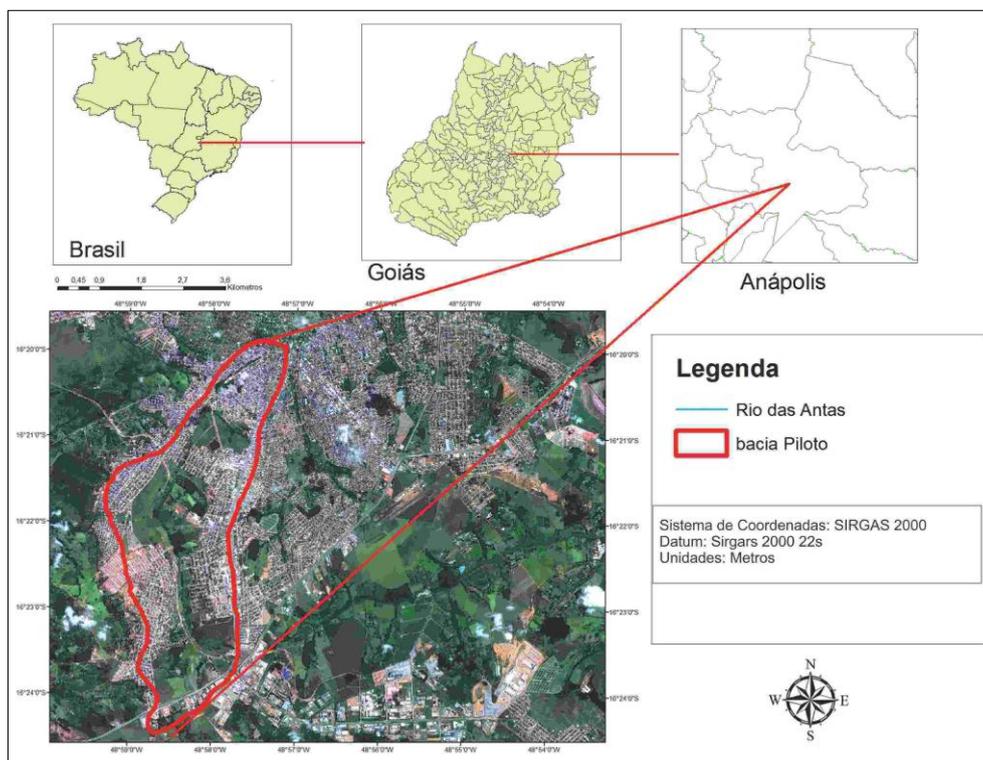
Nesse sentido, a utilização de ferramentas de sensoriamento remoto orbital e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) pode auxiliar na resolução de problemas relacionados à inundação. O SIG permite calcular de maneira rápida e precisa as características do uso do solo e de aspectos hidrológicos, tais como a localização e características planialtimétricas dos canais, desde que se

disponha de dados consistentes. Assim, o presente trabalho justifica-se por contribuir com o aprimoramento dos métodos de cálculo das vazões críticas necessárias para estimar o coeficiente de escoamento superficial direto (*run-off*), além de, eventualmente, subsidiar projetos de engenharia urbanos da Prefeitura Municipal, visto que a cidade é assolada periodicamente por episódios de enchentes.

A bacia escolhida foi um dos trechos do rio das Antas, entre sua nascente e um ponto localizado na região central da cidade de Anápolis. Esta bacia, ao longo dos últimos 30 anos, foi ocupada sem o necessário planejamento de infraestrutura e de urbanismo. Assim, diferentes áreas dessa bacia hidrográfica foram desmatadas e impermeabilizadas sem a verificação da capacidade de suporte dos corpos receptores, no caso, a drenagem pluvial. O resultado da ocupação desordenada foi observado pela população, haja vista os recorrentes episódios de enchentes ocorridos nos períodos chuvosos ao longo dos últimos anos na cidade em tela.

ÁREA DE ESTUDO

Figura 01. Localização da Bacia de estudo no rio das Antas.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

O centro do município de Anápolis se localiza nas coordenadas 16°19'6" de latitude Sul e 48°57'10" de longitude Oeste. Em relação à drenagem das águas, as nascentes dos córregos e rios do

município drenam para as bacias dos rios Paraná, Tocantins e Araguaia, sendo que o rio Antas desagua no rio Corumbá que posteriormente termina no rio Paranaíba em Minas Gerais. No aspecto geomorfológico, Anápolis está situada no “Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba” com presença de formas de dissecação tabulares e convexas (Novaes 1983). Com relação aos solos, predominam os latossolos nas áreas planas e os argissolos em áreas de relevo acidentado (EMBRAPA 1981).

O clima do município de Anápolis, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), é do tipo tropical com estação seca. A temperatura, durante o ano, varia entre a mínima média de 18° C e a máxima média de 28° C. A precipitação pluviométrica anual (média) é de 1.450 mm, com maior concentração das chuvas de novembro a março.

A área-piloto estabelecida para realização do presente trabalho consiste em parte da bacia hidrográfica do rio das Antas (Figura 01), que compreende o trecho de nascente até o exutório na sua confluência com o córrego dos Cesário.

MATERIAL E METÓDOS

A modelagem hidrológica realizada neste estudo foi realizada por meio dos programas computacionais Excel (ver. 14.0, Pacote Microsoft Office), ArcGis (ver. 10.1. Pacote Arcmap, Esri) e Hec-Ras (ver. 4.1.0, *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) para relacionar as diferentes equações empíricas na determinação da simulação chuva- vazão e para validar estas simulações. O modelo segue a premissa de estudos anteriores em outras bacias pelo mundo e é referência para memoriais de cálculo em projetos de engenharia (Tucci 1995).

O modelo matemático tem como premissa sua própria resolução, e um dos primeiros passos é determinar o contorno. Para se resolver o problema é necessário dispor de informações como tamanho e a forma do domínio a se modelar, as equações de fluxo, as condições iniciais do problema (Távora 2010 apud Freeze & Cherry 1979).

A construção do modelo seguiu as seguintes etapas:

1. Caracterização geométrica da bacia: Cálculo da área e do perímetro da bacia, do comprimentos dos talwegues principais e secundários, da hipsometria e das declividades locais e média;
2. Cálculo da intensidade pluviométrica;
3. Simulação do coeficiente de escoamento (run-off);
4. Simulação de tempos de pico;
5. Simulação de tempos de concentração;

6. Simulação de vazões pelo método Racional;
7. Simulação e validação das vazões na calha do rio.

Entre as metodologias utilizadas para a estimativa de vazões máximas, o método Racional é o mais usual, por ser de fácil aplicabilidade no sentido matemático. Entretanto, este método apresenta alguns limites de aplicação, relacionados o tamanho da bacia (Tabela 01) e relacionados à estimativa do coeficiente de escoamento em função dos usos múltiplos do solo.

Tabela 01. Limite para utilização de cálculo empírico de chuvas em vazões pelo método Racional em bibliografias diversas.

Métodos de cálculo vazões máximas	Área (km ²)
Plano diretor Porto Alegre (Racional)	<2 km ²
Plano diretor Porto Alegre (Unitário-SCN)	>2 km ²
Tucci e Villela (2004) (Racional)	2 a 5 Km ²
Pinto (1975) - Racional para bueiros em Estrada	25 km ²
Moth (1998) - (Racional)	<10 km ²
WSDOT (1997) - (Racional)	< 4 km ²

Fonte: Os Autores.

A bacia-piloto escolhida abrange 16 km², desde a nascente do rio das Antas até a região central da cidade de Anápolis, especificamente no seu encontro com o córrego dos Cesáreos. A escolha dessa bacia se deu em função da crescente urbanização desordenada em seu interior e da observação *in loco* de diferentes pontos de alagamento quando da ocorrência de chuvas torrenciais. A nascente sofreu alterações no seu curso natural devido à construção do túnel da ferrovia Norte-Sul e pela instalação de novos loteamentos, além da construção do Centro de Convenções de Anápolis.

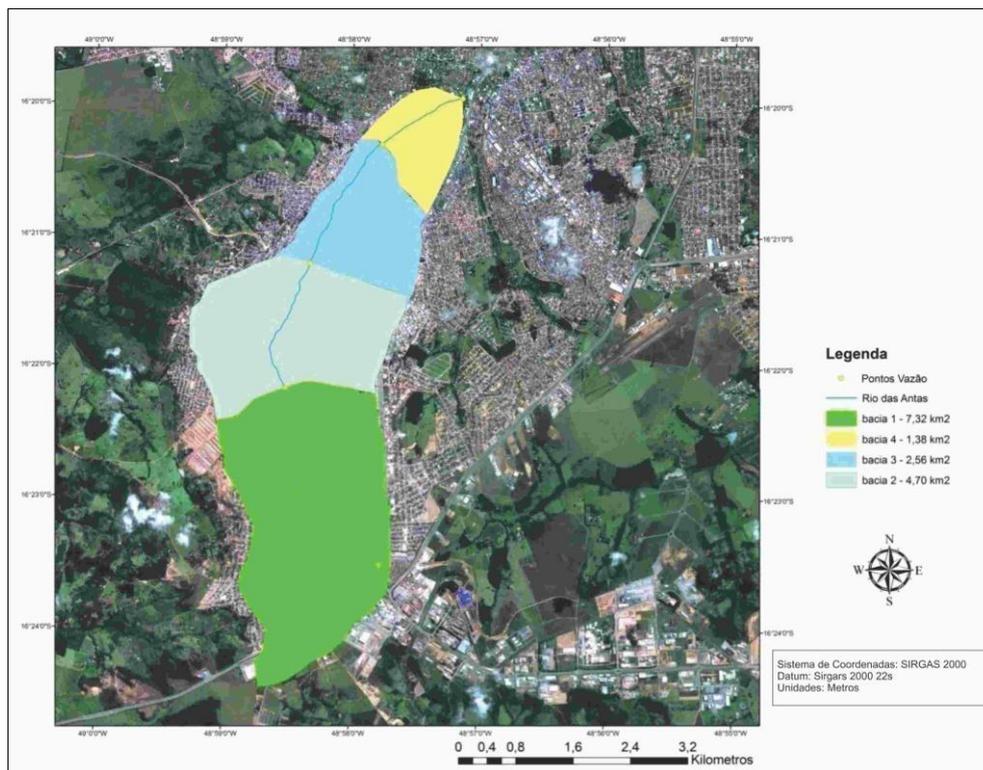
A classificação supervisionada do uso do solo foi realizada por meio do software ArcMap 10.1, utilizando a imagens do Satélite Geoyes com resolução de 1 metro, do ano de 2010, disponibilizada pela prefeitura municipal de Anápolis.

Na classificação foram escolhidos clusters de imagens por aglomeração, que por verossimilhança, agrupam “pixels” semelhantes entre si e separam os diferentes, foram geradas 10 classes distintas de uso do solo e foi utilizada análise supervisionada. O resultado dessa classificação foi utilizado para a determinação do coeficiente de escoamento *run-off* (C), que mede a parcela da precipitação que se transforma em escoamento superficial. Utilizando estes padrões de semelhança pode-se verificar a ocorrência de vegetação até por meios não visuais típicos e considerando o comprimento de onda (Peres 2012).

A modelagem hidrológica foi feita a partir dos resultados de equações estabelecidas no Modelo Racional. Para possibilitar a estimativa de vazões máximas foram utilizados períodos de

retorno diferentes e projetados cenários atuais e futuros para o *run-off* (C), este último em função da impermeabilização da bacia. A bacia foi dividida em quatro sub-bacias de contribuição conforme ilustra a figura 02. As áreas dessas subbacias, de montante para jusante, são respectivamente 1,38 km², 2,56 km², 4,7km² e 7,32km². Para encontrar os valores de C foi calculada uma média ponderada, utilizando-se os percentuais de abrangência de cada alvo identificado na classificação para cada subbacia como ponderador.

Figura 02. Delimitação das áreas de contribuição na bacia de estudo.



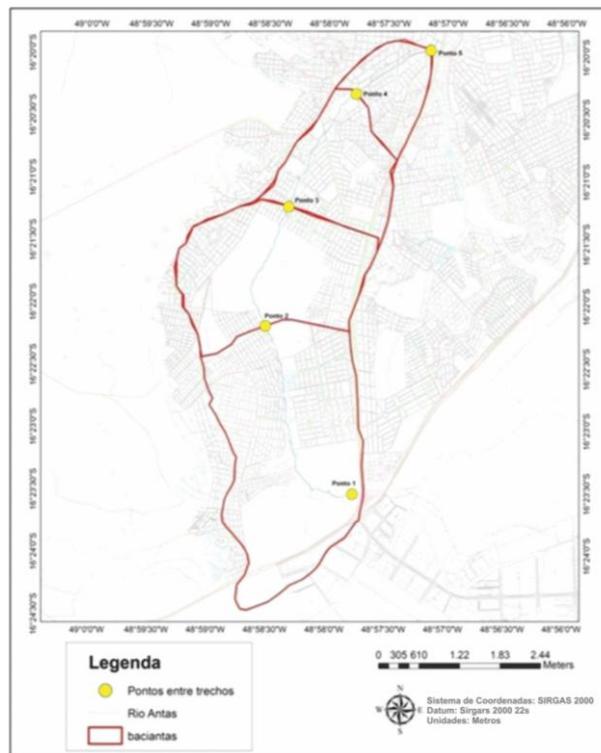
Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

A partir das curvas de nível, com equidistância de 1 metro, do mapa urbano georreferenciado disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Anápolis foi criado o Modelo Digital de Elevação - MDE. As curvas de nível foram processadas por meio da extensão createTin3D do ArcGis. O resultado obtido foram cortes no TIN do MDE - Modelo Digital de Elevação. Este TIN foi utilizado como banco de dados de entrada no HEC-RAS para modelagem do canal e conseqüentemente para a simulação de velocidade da água.

Para a simulação de áreas de inundação foi utilizado o regime permanente de vazões, com base nos quatro exutórios ilustrados na figura 03, que consiste na premissa hidráulica de Bernoulli, que é a conservação de energia com a geração das perdas de cargas a partir de Manning e para tanto, foi utilizado o software de modelagem hidráulica Hec-Ras.

No Hec-Ras, o princípio de Bernoulli é colocado em prática: considerando esta partícula submetida a um campo gravitacional, levando-se em conta as energias cinéticas e potenciais de posição e de pressão, de resultados de expansão e alagamento em pontos de maior retenção de energia (USACE 2011).

Figura 03. Pontos de controle na bacia de estudo.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

Por fim, no intuito de verificar a coerência do modelo proposto, foi feita uma visita à avenida Isadora Rodrigues no bairro Parque das Primaveras. A intenção foi verificar indícios visuais das inundações no local, como marcas nas casas e erosões na via, para corroborar com os dados do modelo proposto.

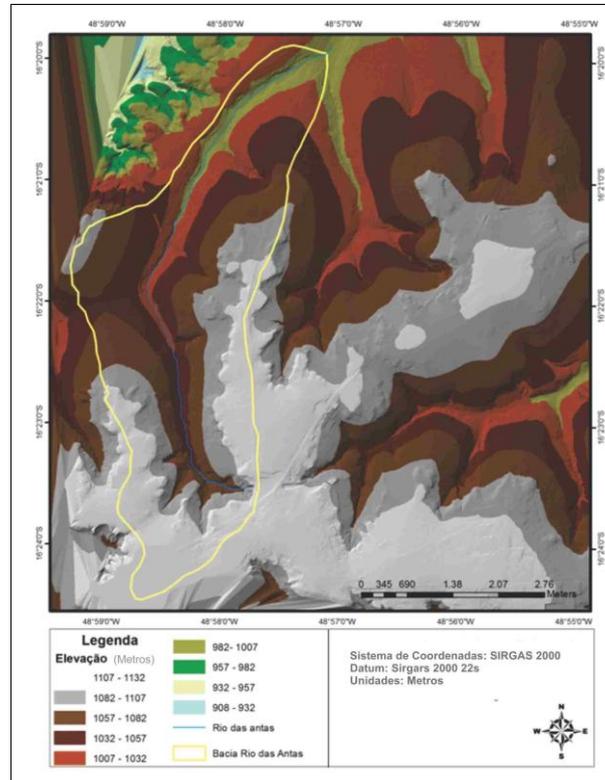
RESULTADOS E DISCUSSÃO

MODELO DE ELEVAÇÃO

As modelagens do relevo realizadas a partir dos dados topográficos disponíveis resultaram no MDE apresentado na Figura 04. Conforme os resultados da modelagem, a porção da bacia analisada, abrange uma área de 16 km², apresenta um desnível de 147 metros, sendo que a nascente do rio das Antas está localizada a 1095 metros de altitude e o ponto mais a jusante da área delimitada, com 985

metros. O comprimento do canal principal foi calculado em 8,88 km, de forma que a sua declividade média na área estudada é da ordem de $12,5 \text{ mkm}^{-1}$.

Figura 04. Modelo digital de elevação em imagem Vetorial TIN.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA

Os resultados obtidos na classificação supervisionada da imagem de satélite do ano de 2010 (Figura 05) demonstraram uma predominância de áreas impermeabilizadas pela construção de edificações, discriminadas no padrão escolhido para o projeto para valores de *Run-off*. O percentual de cada alvo identificado na classificação supervisionada está discriminado na Tabela 02.

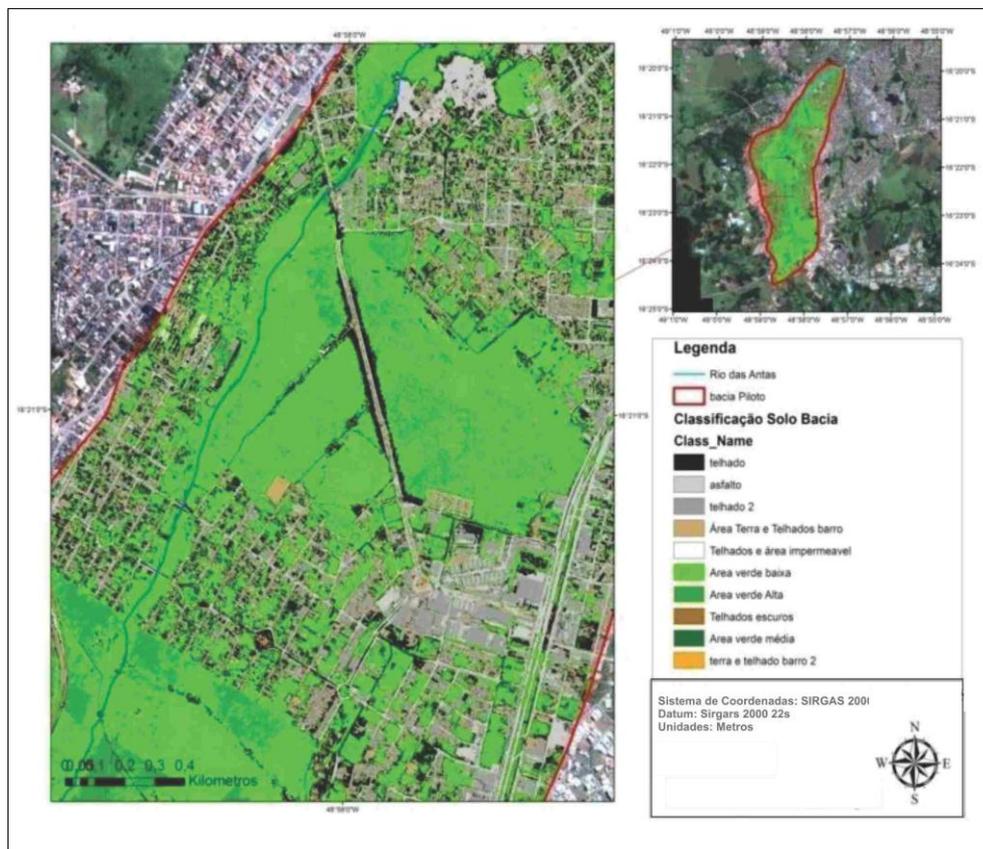
Tabela 02. Padrões de uso do solo e resultados de Run-off.

Padrão utilizado para uso do solo	Área (%)
Asfalto padrão	7,2
Telhado	52,6
Vegetação baixa	34,2
Vegetação alta + área verde média	5,9
Terra	0,2
Total	100,0

Análise do Escoamento Superficial
Por média ponderada dos <i>clusters</i> - run-off calculados:
- Área 1 --- C = 0,38 (38%)
- Área 2 --- C = 0,39 (39%)
- Área 3 --- C = 0,44 (44%)
- Área 4 --- C = 0,55 (55%)

Fonte: Os Autores.

Figura 05. Análise de uso do solo na bacia de estudo.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

Os valores obtidos para C foram compatíveis com as características urbanas da bacia em estudo. Em porções da bacia mais próximas ao centro da cidade, verifica-se um aumento da urbanização nas margens do rio, visto que esse processo ocorreu de jusante para montante. Esse padrão pode ser verificado pelo aumento do valor de C das microbacias na medida em que elas se distanciam da nascente.

EXPANSÃO URBANA NA BACIA ESTUDADA

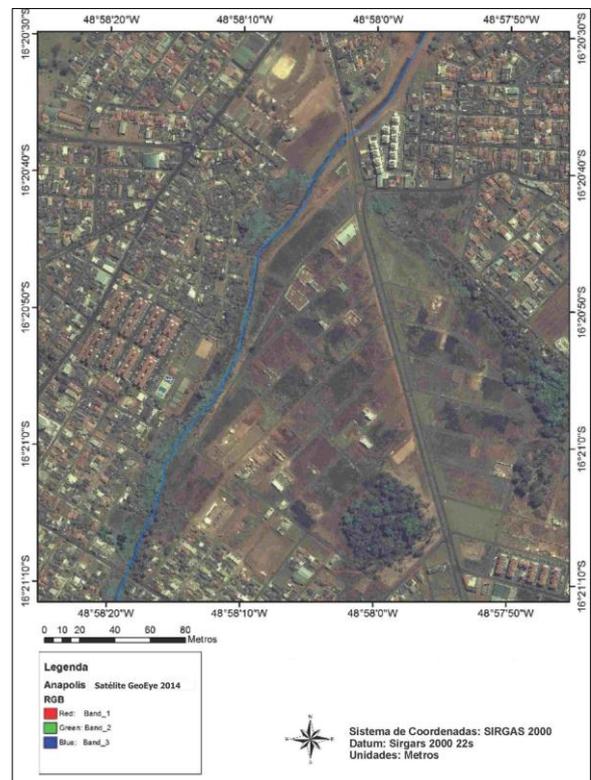
O crescimento da cidade está afetando diretamente a bacia nas áreas 1 e 2 próximas a nascente (conforme legenda figura 02), com a instalação de novos loteamentos autorizados pela Prefeitura. Comparando as imagens dos anos de 2010 (Figura 06) e de 2014 (Figura 07) do bairro Jamil Miguel, localizado na área 2 é notável a supressão de área verde para a construção de loteamentos, visto a abertura de novas vias de circulação.

Figura 06. Imagem GeoEye 2010 Bairro Jardim Miguel Anápolis.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

Figura 07. Imagem GeoEye 2014 Bairro Jardim Miguel Anápolis.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

APLICAÇÃO DO MODELO NA BACIA ESTUDADA

Para o período de retorno de 5 anos verificou-se o aumento de vazões na calha do rio a medida que se aproxima da exutória (ponto 5). O tempo de duração da chuva (t) foi obtido a partir de tempo de concentração (T_c) para diferentes seções modeladas na bacia.

A partir do método Racional modificado (TUCCI 2004) os resultados de vazões foram explanados na tabela 03, para este período de retorno não se observa inundações que superam a calha do rio quando se exporta para o modelo proposto. Devido ao baixo risco de ocorrência de chuvas intensas em 5 anos de retorno.

Tabela 03. Para $T=5$ anos e run-off na imagem GeoEye para o ano de 2010, nas diferentes sub-bacias e em pontos distintos.

Trecho Área anterior	C run-off	Montante Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Jusante
t1-2	0,26	0	12,36
t2-3	0,29	12,36	6,48
t3-4	0,33	18,84	3,84
t4-5	0,39	22,69	2,49

Fonte: Os Autores.

As tabelas 04 e 05 demonstram aumento progressivo das vazões nas áreas de contribuição da bacia, o modelo propõe que cada área contribui ao mesmo tempo no momento da chuva, gerando vazões a montante cada vez maiores em função do tamanho da área e de sua impermeabilidade, conforme a premissa do Método Racional. Verificasse que a partir de tempos de retorno de 10 anos a intensidade das vazões são capazes de extrapolar a calha do rio e gerar energia suficiente para inundação.

Tabela 04. Para T= 10 anos e run-off na imagem GeoEye para ano de 2010, nas diferentes sub-bacias e em pontos distintos.

Trecho Área anterior	C run-off	Montante Racional(m ³ s ⁻¹)	Jusante	
t1-2	0,26	0	15,67	15,67
t2-3	0,29	15,67	8,21	23,89
t3-4	0,33	23,88	4,88	28,76
t4-5	0,39	28,76	3,15	31,92

Fonte: Os Autores.

Como resultado, foi possível a partir das vazões a montante e a jusante dos trechos analisados, modelar a mancha de inundação no relevo da bacia para os diferentes tempos de recorrência, apresentados nas tabelas 03 e 04. A Figura 08 demonstra a modelagem hidrológica do canal principal em terceira dimensão na bacia de estudo.

Tabela 05. Para T= 50anos e run-off na imagem GeoEye para o ano de 2010, nas diferentes sub-bacias e em pontos distintos.

Trecho Área anterior	C run-off	Montante Racional(m ³ s ⁻¹)	Jusante	
t1-2	0,26	0	27,18	27,18
t2-3	0,29	27,18388	14,25	41,43
t3-4	0,33	41,43378	8,46	49,89
t4-5	0,39	49,89	5,48	55,37

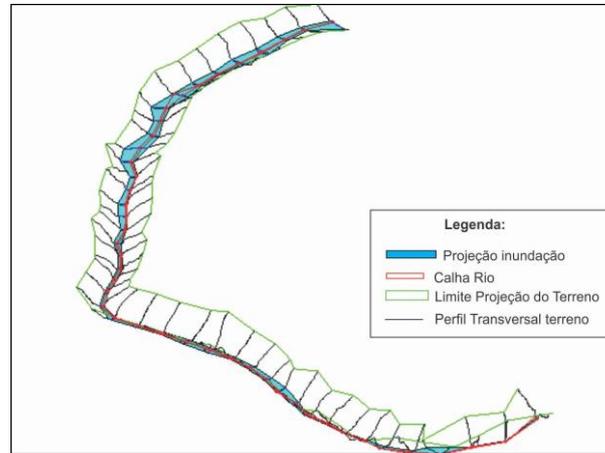
Fonte: Os Autores.

Os resultados gerados para as vazões nas seções de controle foram agrupados pelas vazões calculadas nas tabelas 03, 04 e 05. A fim de exemplificar e condensar os resultados das cheias, conforme a Tabela 06.

As vazões máximas foram executadas e validadas no programa Hec-Ras, que utiliza o Modelo Hidráulico de Regime Permanente de Vazões, o princípio da conservação de massa e energia nos fluidos. As vazões máximas previamente obtidas na modelagem hidrológica, assim como os elementos da rede de drenagem e seções transversais e limites de calha foram inseridas utilizando o regime de

escoamento permanente, contido na resposta de vazões no Hec-Ras, para determinação de velocidades e da perda de carga do fundo de canal.

Figura 08. Resultado Modelagem da Bacia de Estudo.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

Os resultados da tabela 06 são de velocidade da água, área do fluxo (Fluxo Área) levando-se em conta o corte transversal da calha e a Altura da lamina (distancia do centro do canal ao máxima posição da inundação). Levando-se em conta a declividade de cada trecho analisado.

Nos locais onde não há estruturas para se conter a água, como trincheiras ou matas ciliares, se tem o extravasamento do canal. A partir da estação 8 já se tem alguns pontos no trecho do Rio que se verifica o atingimento de equipamentos urbanos. Os pontos 37 e 44 verificasse que já foram tomadas as providencias ao longo dos anos pelo poder público de construir no rio canais artificiais devido as cheias, não respeitando a manutenção das matas ciliares.

Tabela 06. Dados simplificados da simulação de inundação no Hec-Ras no regime permanente para período de retorno (T) 10 anos.

No estação	Q Total (m ³ s ⁻¹)	Min (m)	W. S. Elev (m)	Lâmina (m)	Elevação Lâmina (m)	Declividade (m.m ⁻¹)	Velocidade (mm ⁻¹)	Fluxo Área (m ²)	Altura (m)
1	1	1089,49	1088,20	1088,26	1088,32	0,050		0,92	7,88
8	10	1047,00	1047,40	1047,35	1047,56	0,015	0,75	9,12	22,48
15	16	1033,00	1033,02	1033,24	1033,37	0,032	0,69	10,78	37,48
26	20	1007,00	1007,30	1007,30	1007,46	0,030	0,80	14,24	43,40
37	20	995,00	995,19	995,19	995,28	0,060	0,84	17,40	96,63
44	24	986,00	986,17	986,17	986,25	0,047	0,67	19,12	117,30

Fonte: Os Autores.

Conforme ilustra a Figura 09, os pontos de maior retenção de energia estão destacados em azul mais escuro. Essas áreas indicam locais de maior profundidade de água no canal e com maior

probabilidade de inundação. Foi observada no extravasamento da calha, uma região ainda não plenamente ocupada pela urbanização (entre os pontos 1 e 2 da figura 03) e que, na data estudada, não causaria danos diretos à população em caso de inundação no local.

Destaca-se, nesta região, que a mata ciliar ainda é relativamente preservada, mas há diversas intervenções que a segmentam tais como estradas e equipamentos urbanos. A região sofre pressão para urbanização nas áreas permeáveis remanescentes, podendo futuramente contribuir ainda mais com o aumento do Run-off.

Figura 09. Mapeamento das áreas inundáveis para um período de retorno de 5 anos no rio das Antas.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

Figura 10. Imagem área inundável período de retorno de 10 anos entre o Loteamento Primavera e o Bairro Jamil Miguel.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

A Figura 10 ilustra um trecho da bacia de estudo onde a urbanização é mais intensa que em outras porções da mesma bacia. Observa-se que a mancha de inundação, para o tempo de retorno de 10 anos, indica que a área inundável atinge diversas edificações e equipamentos urbanos, caracterizando risco iminente à população.

Pela modelagem constata-se que a mancha de inundação é proeminente e real na Avenida Isadora Sabino Rodrigues, compatíveis com as linhas de inundação para período de retorno (T) de 10 anos conforme visualizado na figura 11.

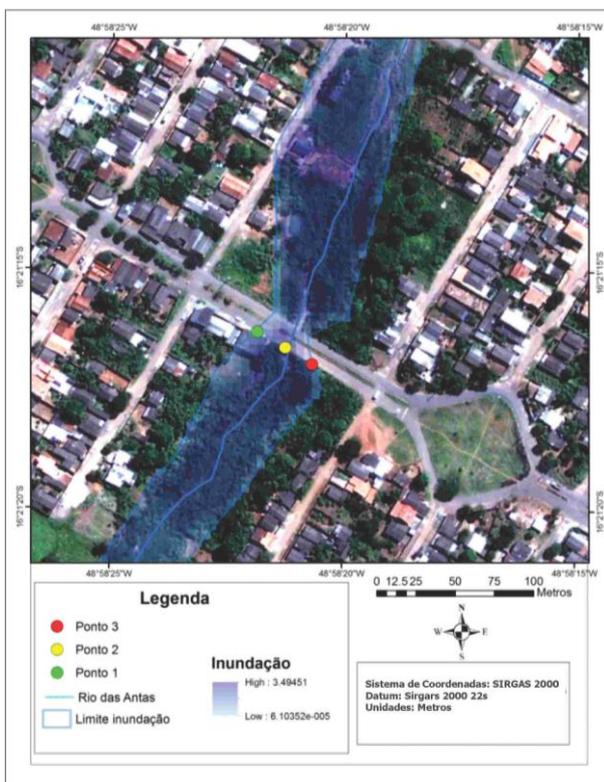
Foram feitos cálculos para período de retorno de 50 anos para verificar um caso de chuva intensa com grandes riscos, tabela 07. Verificou-se um aumento na casa de 20 % nas cotas próximas a exutória e somente uma estação com um aumento de 40 % no início da calha em relação ao período de retorno de 5 anos. Logo, com este período de retorno aumentaria a inundação nos trechos onde já havia problemas em um período de retorno de 10 anos.

Tabela 07. Dados simplificados da simulação de inundação no Hec-Ras no regime permanente para um período de retorno de 50 anos e comparativo de aumento de cota com um período de retorno de 5 anos.

Número Estação	Q Total (m ³ ·1) (m ³ /s)	Elevação (m)	Elevação Lâmina (m)	Declividade (m) (m/m)	Vel. Canal (m ⁻¹)	Fluxo Área (m ²)	Altura cota (m)	Porcentagem Aumento da cota (%)
1	1	1089,49	1088,32	0,051078		0,92	7,88	0,00
8	35	1047,00	1048,07	0,018319	1,26	1971	29,13	43,15
15	40	1033,00	1033,69	0,028818	1,06	21,25	45,86	27,51
26	57	1007,00	1007,96	0,011090	0,93	36,96	52,41	25,12
37	65	995,00	995,59	0,049189	1,21	39,25	104,59	9,16
44	75	986,00	986,52	0,038052	0,99	43,66	143,78	23,95

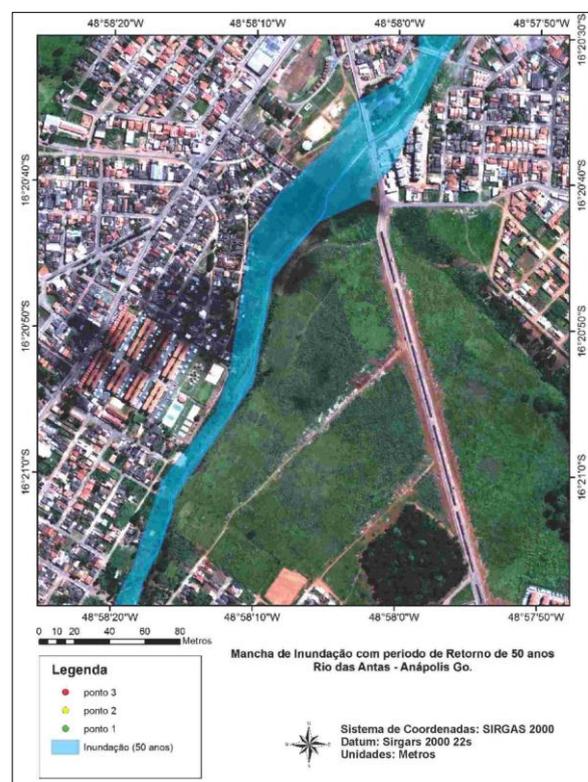
Fonte: Os Autores.

Figura 11. Área de inundação no bairro Parque Primavera em Anápolis, para um período de retorno de 10 anos.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

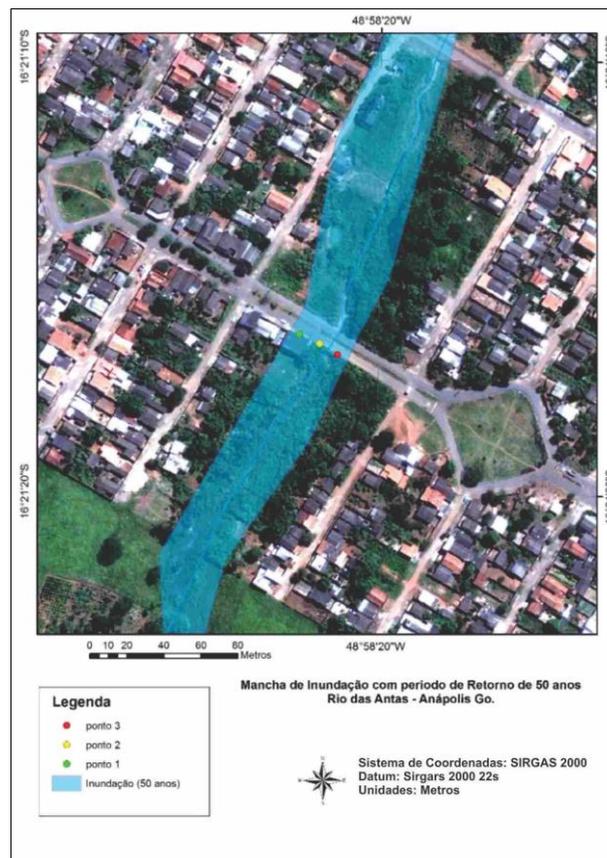
Figura 12. Imagem da área inundável para um período de retorno de 50 anos entre o Loteamento Primavera e o Bairro Jamil Miguel.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

A partir dos dados da tabela 07 (Período de Retorno de 50 anos) foram feitas as simulações no relevo e constatou-se uma maior cobertura da mancha de inundação, com maiores possibilidades de danos a patrimônios e equipamentos públicos. Para efeito de comparação, o aumento médio das cotas de inundação do Período de Retorno de 5 para 50 anos foi aproximadamente de 22%. As figuras 12 e 13 demonstram as manchas de inundações destas simulações.

Figura 13. Área de inundação no bairro Parque Primavera em Anápolis, para um período de retorno de 10 anos.



Fonte: Adaptado de Argolo 2015.

IDENTIFICAÇÃO IN SITU DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS AO LONGO DA CALHA DO RIO DAS ANTAS.

No loteamento Primavera, no ano de 2013, ocorreram inundações nos meses de janeiro e fevereiro, causando vários prejuízos à população local (Figuras 14 e 15), conforme foto na avenida Isadora Sabino Rodrigues. A imagem retrata que a calha do rio das Antas não suportou o volume de água em um episódio de chuva intensa.

Com a urbanização crescente da cidade de Anápolis, o rio das Antas vem sofrendo transformação em seu canal natural. Em vários trechos se observa a deterioração ambiental do rio e sua

mudança para uma função única de drenagem de águas pluviais, somente, em detrimento de funções ecológicas.

Figura 14. Inundação do rio das Antas no loteamento Primavera (janeiro 2013) na Av. Isadora Sabino Rodrigues - pontos sinalizados na Figura 12.



Fonte: Corpo de Bombeiros Militar de Anápolis 2013.

Figura 15. Inundação do rio das Antas no loteamento Primavera (janeiro 2013) na Av. Isadora São Rodrigues - pontos sinalizados na Figura 11.



Fonte: Corpo de Bombeiros Anápolis 2013.

Na Figura 16 tem-se uma fotografia da década de 1970, na qual se visualiza o extravasamento da calha natural do rio das Antas, demonstrando que se trata de uma região naturalmente desfavorável para a ocupação urbana. Populares confirmam que havia uma grande área de várzea no local. Ainda neste local foi construído um aterro onde, posteriormente, foi construída a Prefeitura Municipal de Anápolis.

Figura 16. Inundação no córrego das Antas na década de 1970.



Fonte: Museu de História de Anápolis.

Figura 17. Obras de rebaixamento de parte do leito rochoso do ribeirão das Antas para aumento da profundidade do rio.



Fonte: Pedro Henrique 2011. Disponível em: http://www.panoramio.com/user/2350468/tags/An%C3%A1polis?photo_page=37.

A Figura 17 demonstra a tentativa da prefeitura em minimizar os problemas de aumento de vazão durante chuvas no ano de 2011. A medida drástica foi a alteração do fundo do canal natural do rio das Antas, para aumentar a calha de maneira artificial - ação remediadora pontual.

A simulação de vazão no Hec-Ras identificou áreas de inundação compatíveis com aquelas verificadas *in loco*, onde esse fenômeno é observado historicamente. Portanto, pode-se considerar a confiabilidade do modelo como satisfatória, visto que há coerência entre o modelo e a realidade.

A simulação da modelagem sugere que as áreas de retenção de energia propostas no modelo, caracterizam de forma representativa os problemas já enfrentados com inundações históricas na região. A substituição dos canais naturais por artificiais no rio das Antas já é prática antiga na cidade, criando soluções não “ecológicas” à drenagem das chuvas na área urbana da cidade.

CONCLUSÕES

Como o controle público sobre a urbanização não segue controle rigoroso no que tange à capacidade de suporte de lançamento de águas pluviais sobre as drenagens, há consequentemente um aumento significativo na frequência das inundações. As ocupações de áreas inundáveis é uma tendência ao longo das margens do rio das Antas e os resultados demonstram que há risco aos bens patrimoniais e às vidas humanas. Riscos reais são iminentes na bacia quando submetida a uma chuva com recorrência de 10 anos.

Este trabalho se propôs a simular vazões dentro do contexto de urbanização e frequência de chuvas intensas. Verificou-se que, com o aumento de tempo de retorno de 10 para 50 anos, há um aumento de aproximadamente 20% nas vazões críticas ao longo da bacia-piloto, aumentando a probabilidade de inundações em pontos críticos determinados no modelo.

Com as visitas em campo pode-se verificar a acurácia satisfatória do modelo, visto que os resultados obtidos no modelo são condizentes com evidências de campo e com os relatos de moradores dos locais identificados como potencialmente sujeitos a inundações. Espera-se que o modelo ora construído possa servir de subsídio aos gestores públicos para remediação da bacia do rio das Antas e para planejamento de novas áreas de expansão da cidade de Anápolis.

A sugestão de soluções no viés de macrodrenagem teria impactos sobre o uso do solo e que poderiam aliviar os picos de vazão por contribuir com o aumento do tempo de concentração da bacia. Medidas como aumento de áreas permeáveis no solo por meio de regras definidas do plano diretor do município e em outras leis específicas poderiam forçar os novos empreendimentos e os existentes a reter água na própria origem, com aumento de área para permeabilidade da água, gerando amortização

de águas nas chuvas intensas, por exemplo. Essas ações evitariam que grandes intervenções fossem necessárias para conter as cheias nos trechos de jusante. Exemplos de soluções para sanar estes aspectos seriam a instalação de jardins entre avenidas, loteamentos com capeamento de paralelepípedos em substituição às camadas asfálticas, calçadas mistas com grama e outras medidas para diminuir a velocidade do escoamento superficial.

REFERÊNCIAS

Argolo ED 2015. *Simulações e Modelagem Hidrológica de Microbacia Urbana para Previsão de Inundações: o caso do rio das antas na cidade de Anápolis-GO*. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA, 90 pp.

Carvalho ICM 2007. San Diego (California): University of san diego, *California/Cilas*, 24:10-46.

CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) 2009. *Emergency Events Database Em-Dat: The International Disaster Database*. [cited 2011 Feb. 21]. Available from: <http://www.emdat.be>.

Cruciani DE 1976. *Hidrologia*. ESALQ, Piracicaba. 134 pp.

Peres LF 2012. NDVI - Temperatura da Superfície Continental. Departamento de Meteorologia, Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), *Meteorologia por Satélite Aplicado à Agricultura*, Inpe/Cptec.

Santos LCC 2010. *Estimativa de Vazões Máximas de Projeto por Métodos Determinísticos e Probabilísticos*. 172 pp.

Távora BE 2010. *Estudo da Contaminação do Lençol Freático por Hidrocarbonetos Utilizando Modelagem Computacional*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 78 pp.

Tucci CEM 1995. *Drenagem Urbana*. Editora da Universidade/Ufrgs, Porto Alegre.

USACE (U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC) 2010. *Geospatial Sciences*. VicksburgMS. Available from: <http://www.erd.c.usace.army.mil/Library.aspx>.

Villela SM, Mattos A 1975. *Hidrologia Aplicada*. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 245pp.

Simulation and Hydrologic Modeling of Urban Watershed for Flooding Forecast: The case of the Rio das Antas in the city of Anápolis-GO

ABSTRACT

The study area is located along the Rio das Antas basin in the city of Anápolis, Goiás. This study exemplifies an urban area exposed to flooding by rainwater. Decline in the permeability of the river

basin area is result of significant real state development in recent years. This study proposes to simulate water flows and respective flooding areas along different sections of the River in response to different rainfall intensities. The simulated flow rates are the result of interpretation of land use scenarios and hydrologic modeling of the river basin area. The rational method and the Bernoulli equation were used in the hydraulic simulation model of the computer program HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System). Recurrence times of 5, 10 and 50 years were used for the simulations. The results demonstrated occurrence of flooding, with risks to property and human life, when rainfall reach a 10-year recurrence intensities. This occurred in the constrained sections along the drainage channels.

Keywords: Hydrologic Modeling; Run-Off; Simulation; Inundation; Waterproofing Soil.

Submissão: 27/05/2016

Aceite: 31/10/2016