

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA REDE DE DRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SERRINHA, EM GOIÂNIA (GO) EMPREGANDO O STORM WATER MANAGEMENT MODEL - SWMM.

Ana Carolina Seibt¹ & Thálita Maria Francisco da Silva²; Klebber Teodomiro Martins Formiga³.

RESUMO: O aumento da densidade populacional aliado ao processo de urbanização sem o adequado planejamento originou problemas no desempenho do sistema de drenagem urbana. Tal evento pode ser notado na bacia hidrográfica do Córrego Serrinha, situado na região sul do município de Goiânia – GO. A pesquisa consiste em obter maior conhecimento na eficiência quantitativa e ambiental do funcionamento das redes de drenagem pluvial, para identificação e entendimento de seu funcionamento e possíveis correções de futuros projetos. Perceber o funcionamento da rede de drenagem além de proteger a qualidade ambiental e o bem estar social, minimiza impactos de erosão, reduz sistematicamente o nível de danos causados pelas inundações e diminui a exposição da população perante tal problema. Para entender a rede de drenagem do local, foi utilizado o software Stormwater Management Model – SWMM, para a modelagem matemática do sistema de drenagem utilizou-se tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos e curva número correspondente a 40 e 85. Tal modelagem permite comparar soluções para o projeto de drenagem urbana na região e avaliar o redimensionamento das redes. Verificou-se que a área impermeável afeta diretamente no escoamento superficial, em todos os tempos de retorno.

ABSTRACT: The increased population density coupled with the process of urbanization without adequate planning led to problems in the performance of urban drainage system. Such an event can be seen in the basin Serrinha creek, located in the southern city of Goiânia - GO. The research is to gain more knowledge in quantitative and environmental efficiency of the operation of storm drainage networks for identification and understanding of its functioning and possible fixes for future projects. Understand the functioning of the drainage systems while protecting environmental quality and social welfare, minimizing impacts of erosion, systematically reduce the level of flood damage and decreases the exposure of the population faced with this problem. To understand the drainage network of local software was used Stormwater Management Model - SWMM for mathematical modeling of the drainage system was used turnaround times of 2, 5 and 10 years and curve number corresponding to 40 and 85. This modeling allows you to compare solutions for the design of urban drainage in the region and evaluate the scalability of networks. It was found that the area directly affects the impervious surface runoff, at all times return.

Palavras-chaves: drenagem urbana; modelagem matemática; SWMM.

¹ Engenheira Ambiental - UFG. Av. Universitária, s/n St. Universitário, Campus I. Goiânia-GO. E-mail: anaseibt@gmail.com

² Bióloga- UFG. Av. Universitária, s/n St. Universitário, Campus I. Goiânia-GO. E-mail: thalita_bio@yahoo.com.br

³ Professor Adjunto – UFG, EEC. Av. Universitária, s/n St. Universitário, Campus I. Goiânia-GO. E-mail: klebber.formiga@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os problemas inerentes à drenagem urbana que ocorrem no município de Goiânia – GO originam-se do aumento da densidade populacional e do processo de urbanização. Como consequência direta da carência de observação de normas que impeçam a ocupação de cabeceiras e de várzeas de inundação são ocupados terrenos inadequados ao assentamento. Enquadra-se em tal situação residências com declividade maior que 30%, ocupação de fundos de vales e encostas, além da impermeabilização de lotes já aprovados.

Nas últimas décadas observou-se no Brasil, um crescimento significativo da população urbana, criando-se então, a partir da década de 60 as chamadas regiões metropolitanas. Tal crescimento deu-se de forma acelerada e sem planejamento, não sendo possível, portanto, aumentar de forma igualitária a infraestrutura urbana.

De acordo com Tucci *et al.* (2007), a ocupação da bacia hidrográfica tende a ocorrer no sentido de jusante para montante, devido às características do relevo. Os fatores hidrológicos diretamente afetados pela urbanização são: o volume do escoamento superficial direto, a vazão de pico das cheias e o tempo de concentração. Os efeitos citados são ocasionados pelas alterações da cobertura do solo, modificações hidrodinâmicas nos sistemas de drenagem e as invasões das várzeas.

As alterações na cobertura do solo tendem a deixá-lo exposto à ação das enxurradas, produzindo a erosão superficial e conseqüentemente o aumento do transporte sólido na bacia e sedimentação nos drenos principais, de menor declividade em relação ao comprimento e amplitude da encosta. As áreas construídas e pavimentadas aumentam gradativamente a impermeabilização dos solos da bacia, reduzindo sua capacidade natural de absorver as águas das chuvas, o que aumenta o escoamento superficial direto.

Na cidade de Goiânia, pode-se observar tal fenômeno, no Córrego Serrinha, na região Sul/Sudoeste da capital. Dentre os principais problemas desta região, pode-se destacar: assoreamento maciço e impedimento das drenagens naturais da área, moradias com áreas intensamente assoreadas e sistema de captação de águas pluviais destruídos.

As principais modificações do curso hídrico em questão devem-se as características hidráulicas das calhas, que decorrem de obras de canalização. Estas envolvem retificações, ampliações de seções e revestimento de leito, ou ainda, as substituições das depressões e dos pequenos leitos naturais por galerias. Os canais artificiais apresentam menor resistência ao escoamento e, conseqüentemente, maiores velocidades.

Na busca pela atenuação dos impactos ambientais ocasionados no álveo Serrinha devido à ocupação inadequada da bacia hidrográfica, o presente trabalho visa obter maior conhecimento na eficiência quantitativa e ambiental do funcionamento das redes de drenagem pluvial, para identificação e entendimento de seu funcionamento e possíveis correções de futuros projetos.

O presente trabalho consiste em modelar o sistema de drenagem de águas pluviais da região do Córrego Serrinha, empregando o SWMM (Stormwater Management Model), e ainda:

- definir hietograma de projeto para diferentes tempos de retorno (2, 5 e 10 anos);
- calcular as vazões de projeto com base nos hietogramas de projeto;
- definir critérios para o cálculo do impacto do sistema;
- avaliar o impacto do sistema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para Azevedo Netto *et al.* (1998), as soluções da drenagem urbana são tratadas em duas partes distintas: I) a microdrenagem, que se inicia nas edificações, coletores pluviais, prosseguindo no escoamento das sarjetas e entrando nos bueiros e galerias, e II) a macrodrenagem, a qual interessa mais a área total da bacia, seu escoamento natural, sua ocupação, cobertura vegetal, fundos de vale e os cursos d'água urbanos.

A sequência da evolução da drenagem urbana é dada por: a) conceito higienista, que visava como medida de saúde pública a eliminação sistemática das águas paradas ou empoçadas nas cidades, assim como, dejetos domésticos lançados em vias públicas; b) racionalização e normatização dos cálculos hidrológicos, que procurava estabelecer o melhor cálculo hidrológico para dimensionamento das obras hidráulicas, e c) abordagem científica e ambiental do ciclo hidrológico urbano, o mais usado atualmente, que reconheceu a poluição do esgoto pluvial e objetiva que todo o esgoto doméstico seja tratado (SILVEIRA, 1998).

O termo drenagem urbana é entendido como o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (TUCCI *et al.* 2007).

Pode-se afirmar que dentre os melhoramentos urbanos, o sistema de drenagem possui uma particularidade: o escoamento das águas superficiais sempre ocorrerá, existindo ou não um sistema adequado de drenagem. A qualidade do sistema é que determinará se os benefícios ou prejuízos à população serão maiores ou menores.

De acordo com Baptista e Nascimento (2002) o desenvolvimento de métodos hidrológicos de estimativa de eventos extremos, aprimoramento de cálculos hidráulicos e a evolução de materiais permitiram ganhos em racionalidade de concepção e projeto de sistemas de drenagem de águas pluviais em meio urbano. No entanto, os progressos obtidos durante a concepção higienista sofreram poucos aprimoramentos no Brasil ao longo de décadas.

Para o Ministério das Cidades (2006), o aumento da vazão devido à impermeabilização e a canalização pode ser amortecido através de dispositivos como tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos ou no subsolo, entre outros.

Esses dispositivos são denominados de controle a jusante, ou medidas compensatórias, e têm como objetivos: (1) promover o retardamento dos escoamentos de forma a propiciar o aumento dos tempos de concentração e as conseqüentes reduções das vazões máximas; (2) amortecer os picos de enchentes através da retenção em reservatórios; (3) conter o escoamento na fonte através da melhoria das condições de infiltração ou ainda em tanques de detenção. Tais medidas podem ocorrer na fonte, na microdrenagem e/ou na macrodrenagem. As vantagens de tais medidas devem-se ao custo reduzido tanto em operação quanto em manutenção, e facilidade de administrar a construção. Porém, as desvantagens consistem em dificuldades de locais adequados, custo de aquisição de área, oposição da população a reservatórios maiores, e em alguns casos, menor eficiência na recarga do lençol freático (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

A tendência moderna no conhecimento de drenagem urbana é a busca da manutenção das condições de pré-urbanização, atuando na fonte de geração do mesmo. Para tanto deve-se utilizar de dispositivos de acréscimo de infiltração e retardo do escoamento (ARAÚJO; TUCCI & GOLDENFUM, 2000).

Uma microdrenagem deficitária devido à falta ou localização incorreta de bocas de lobo, a implantação de tubulações subdimensionadas para vazão de escoamento superficial, ao excesso de lançamentos concentrados em um único ponto, resultam em problemas de alagamentos locais como também, sobrecarregam a rede de macrodrenagem.

Um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos é o período de retorno, pois, quanto maior o período de retorno maior será o diâmetro da rede de drenagem. O aumento do período de retorno poderá elevar o custo da obra, porém garante maior eficiência e menor custo com manutenção e evita danos materiais e humanos. Como definido por diversos autores, período de retorno é o tempo médio em que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez.

Segundo Meller (2004), deve-se adotar a incorporação de ferramentas para a planificação de ações preventivas e corretivas da drenagem urbana de maneira integrada na bacia como os modelos matemáticos.

Modelos são ferramentas que permitem simular quantitativamente o escoamento necessitando primeiramente, de um modelo hidrológico para transformar a precipitação em escoamento superficial. Posteriormente, é possível ajustar um modelo para propagação do escoamento em redes de condutos, como faz o Stormwater Management Model – SWMM, que fornece subsídios para o conhecimento das redes e possibilita avaliação e comparação de soluções.

O SWMM foi desenvolvido pela U.S. E.P.A. (Environmental Protection Agency) no final da década de 60 e é um software bastante difundido e com grande aplicação para bacias urbanas.

Utilizando-se um modelo computacional é possível analisar os problemas relacionados à drenagem e averiguar alternativas de controlar o escoamento superficial. O SWMM é adequado para aplicação em áreas urbanizadas. A aplicação será para grandes escalas espaciais, de modo a imitar os esforços dos modelos atualmente adotados.

De acordo com Meller (2004), o SWMM é o aplicativo mais utilizado para simulação de drenagem urbana por ser de domínio público e ter seu código de programação aberto.

O software processa as rotinas de ciclo hidrológico urbano e qualidade da água com base em dados de precipitação, degelo, infiltração em áreas permeáveis, retenção na superfície, escoamento na superfície e em canais, podendo ser utilizado para simulação de eventos isolados ou contínuos (BARCO; WONG & STENSTROM, 2008).

O software permite ainda a análise quali-quantitativa dos problemas relacionados à drenagem e a investigação de alternativas de controle de escoamento, oferecendo subsídios para estimativas de custo para estruturas de armazenamento e tratamento. As soluções adotadas podem ser avaliadas por simulações que fornecem hidrogramas como resultados (MELLER, 2004).

Desde a sua criação, o SWMM tem sido utilizado em diversos de estudos sobre redes de águas pluviais em todo o mundo (ROSSMAN, 2008). As aplicações típicas incluem: (1) concepção e dimensionamento dos componentes do sistema de drenagem para controle de inundação; (2) dimensionamento das instalações de retenção e seus acessórios para o controle de qualidade da água; (3) proteção natural da planície aluvial por mapeamento do canal; (4) projetar sistemas estratégicos de controle para minimizar o transbordamento de esgoto; (5) avaliação do impacto da infiltração do esgoto sanitário e outros.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida foi da bacia hidrográfica do Córrego Serrinha, situada na região Sul do Município de Goiânia-GO, possuindo uma área de drenagem de 6,18 km². A área foi escolhida devido o acentuado grau de urbanização da mesma. Foram realizadas visitas de campo durante vários dias esporádicos para análise pontual da situação atual do Córrego em estudo.

O Córrego Serrinha possui uma extensão de 3,5 km, sendo afluente do Córrego Cascavel. Fazem parte de sua bacia os setores: Parque Amazônia, Jardim América e Vila Divino Pai Eterno, tais setores, segundo o Plano Diretor do Município de Goiânia (2007), se enquadram como zona de alta densidade populacional, conforme a Figura 1.

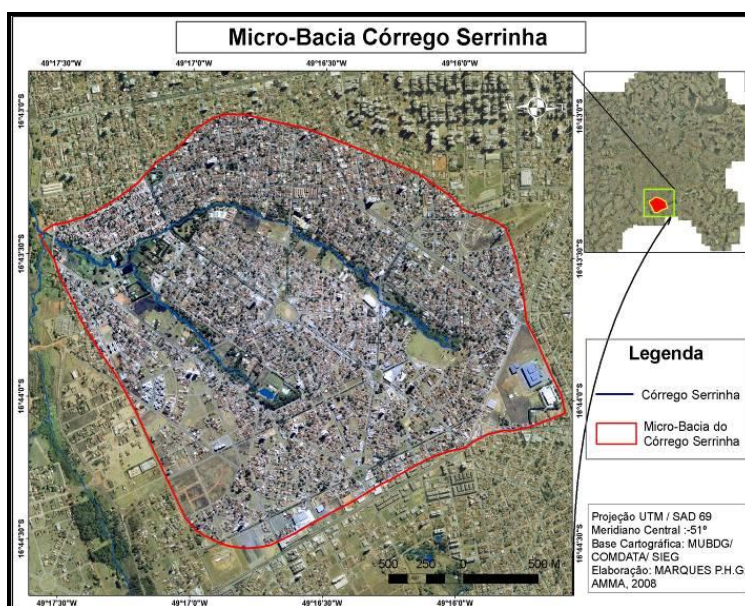


Figura 1 - Bairros circundantes do córrego Serrinha.
Fonte: ORTOFOTO, 2006.

A Figura 2 representa a bacia hidrográfica do Córrego Serrinha com curvas de nível de 05 em 05 metros.

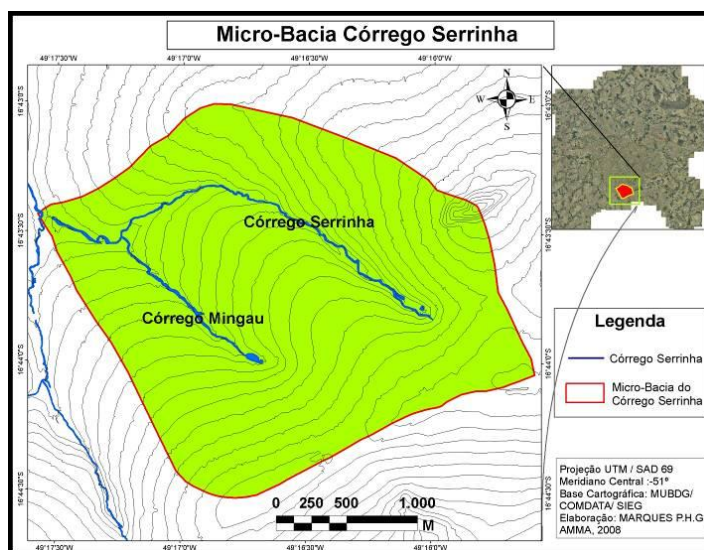


Figura 2 - Bacia Hidrográfica do Córrego Serrinha
Fonte: MUBDG

O clima regional se caracteriza pela existência de um período seco entre maio e setembro. Há também um período chuvoso entre outubro e março, com índices mensais superiores a 100 mm. De novembro a março a precipitação média mensal supera os 200 mm, correspondendo a 82,9% da precipitação anual e em janeiro, mês de maior precipitação, as chuvas ultrapassam os 300 mm, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

O solo mineral hidromórfico da área é mal drenado, encharcado, ocorrendo em áreas baixas, com textura argilosa de baixa atividade, saturação de bases baixa, originando solos distróficos, com a presença de lençol freático alto e frequente risco de inundação. Grande parte da cobertura vegetal nativa foi suprimida para a ocupação humana extensiva. Nas margens do córrego em estudo a vegetação da floresta ciliar encontra-se bastante antropizada, chegando a inexistir pontualmente em diversos locais.

4. METODOLOGIA

A área da bacia hidrográfica em questão foi delimitada utilizando-se a ferramenta computacional de geoprocessamento – ArcGIS, versão 3.2. Realizou-se o levantamento de mapas e imagens de satélite e fotos aéreas de abrangência da bacia hidrográfica (Ortofoto, julho/2006), para melhor conhecimento da área e possível comparação da bacia, demonstrando sua situação atualmente e situações de anos anteriores.

A discretização da área é o primeiro passo na simulação e posteriormente a entrada dos dados da área a ser simulada e os critérios de escolha desses dados. Para tanto, foi necessário realizar uma

divisão em áreas menores. A área é representada por um conjunto de subáreas com canais de propagação interconectados, priorizando a forma mais simplificada de modo a representar o mais próximo do real.

Para a realização dos cálculos e obtenção dos resultados, considerou-se apenas o trecho que inicia na nascente e termina na foz com o Córrego Mingau (2,64 Km), para efeito de lançamento da rede fluvial, dividiu-se o Córrego Serrinha em 07 (sete) sub-bacias. Sendo a sub-bacia 01 localizada na cabeceira do manancial, as sub-bacias 02, 03 e 04 situadas na margem direita e as sub-bacias 05, 06 e 07 localizadas na margem esquerda do referido córrego, conforme Figura 3.

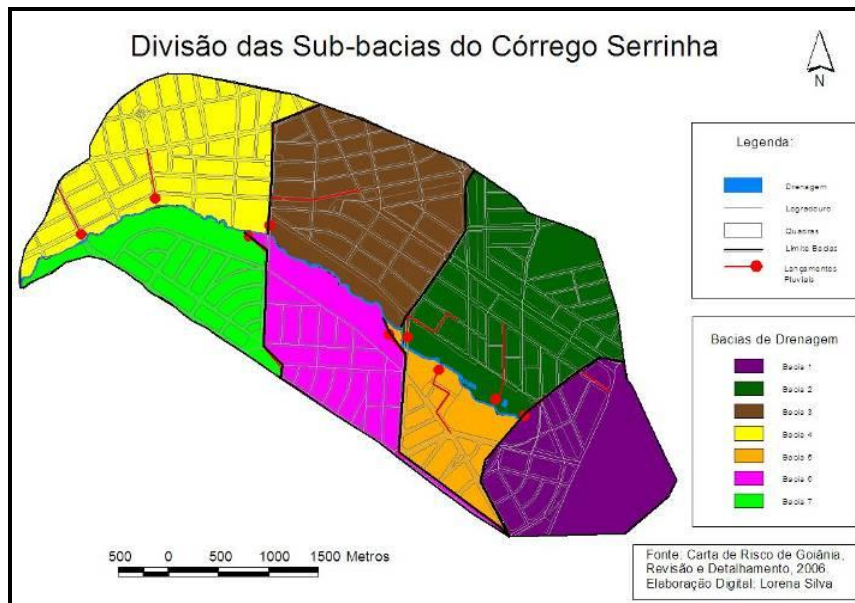


Figura 3 - Divisão das sub-bacias do Córrego Serrinha
Fonte: ArcGIS

As informações topológicas sobre a rede são dados importantes para a simulação de um sistema de drenagem. Órgãos públicos municipais como a Agência Municipal de Meio Ambiente (AMMA) e a Agência Municipal de Obras (AMOB) são fundamentais para a aquisição de materiais e informações a cerca das redes de galeria de águas pluviais do manancial em questão.

Outro dado importante, para obter o cálculo do Tempo de concentração (T_c) foram utilizadas as fórmulas de Kerby (1), U.S Corps Engineers (2), Ven Te Chow (3) e Rossi (4), utilizando os seguintes dados e valores.

Tabela 1 - Dados utilizados na aplicação das fórmulas.

<i>Dados</i>	<i>Valores</i>
Comprimento do curso d'água em km (L)	2,64
a (valor fixo)	0,5
Declividade em % (I)	2,4
Área da bacia em km ² (A)	6,18

$$T_c = 37 \left(\frac{L \cdot a}{I} \right)^{0,47} \quad (1)$$

$$T_c = 0,30 \left(\frac{L}{I^{1/4}} \right)^{0,76} \quad (2)$$

$$T_c = 25,2 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \quad (3)$$

$$T_c = 0,77 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,295} \quad (4)$$

Posterior à utilização das fórmulas, foi utilizada a equação das chuvas intensas para o município de Goiânia para $TR < 8$ anos e $TR > 8$ anos (COSTA & BRITO, 1999).

Por fim, analisou-se a implementação da modelagem matemática das redes de drenagem de águas pluviais através da simulação da bacia hidrográfica pelo SWMM, versão 5.0. Foram analisados três cenários para duas curvas-número diferentes: adotou-se tempo de retorno de 2 anos, tempo de retorno de 5 anos e de 10 anos para CN de 85 e índice de impermeabilização de 75% e CN de 40 e índice de impermeabilização de 25%.

De acordo com, Wilken (1978), adota-se CN de 85 para locais de edificações muito densas, como partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas. O CN de 40 foi adotado para efeito de comparação, levando-se em conta a origem, formação dos setores que envolvem o curso d água. Este valor de CN é empregado, em localidades que contenham edificações com muitas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.

Obtidos os cálculos do tempo de concentração e da intensidade de chuva, dividiu-se o tempo em 08 (oito) intervalos de quatro minutos (4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32), calculou-se a intensidade de chuva para os seguintes tempos. Posteriormente, foram encontrados os resultados da altura precipitada acumulada, obtida através da multiplicação do tempo pela intensidade de chuva e a precipitação no período, através da diferença entre as alturas sucessivas.

Existem diversos métodos para criar uma distribuição temporal para chuvas de projeto, no entanto, nenhum deles tem uma fundamentação mais profunda. Um método freqüentemente utilizado é conhecido como método dos blocos alternados (Chow *et al.*, 1988), onde as alturas de precipitação no

período encontradas são então, colocadas de forma decrescente, partindo-se do intervalo de tempo central e colocando-se as alturas seguintes alternadamente do lado esquerdo e direito deste intervalo.

5. RESULTADOS

Inicialmente foram obtidos os resultados do tempo de concentração utilizando as quatro fórmulas descritas acima.

Tabela 2 - Resultados obtidos na aplicação das fórmulas.

<i>Fórmula</i>	<i>Tempo de concentração (min)</i>
(1) Kerby	27,93
(2) U.S. Corps Engineers	31,87
(3) Ven te Chow	35,44
(4) Rossi	33,16

Com os quatro resultados obtidos fez-se a média aritmética, conseguindo-se um valor de 32,1 min para tempo de concentração.

A partir daí, foi calculada a intensidade de chuva através da equação da cidade de Goiânia, adotando-se o tempo de duração da chuva de 32,1 minutos e tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos.

Para TR < 8 anos, utiliza-se :

$$i = \frac{56,793 \cdot \left(T^{0,14710 + \frac{0,22}{T^{0,09}}} \right)^{0,62740}}{(t + 24,8)^{0,89751}}$$

Para TR > 8 anos, utiliza-se:

$$i = \frac{64,3044 \cdot \left(T^{0,14710 + \frac{0,22}{T^{0,09}}} \right)^{0,62740}}{(t + 24,8)^{0,89751}}$$

Sendo,

i = intensidade de chuva

T = Tempo de concentração

t = duração da chuva

Tabela 3 - Intensidade de chuva obtida para cada tempo de retorno adotado.

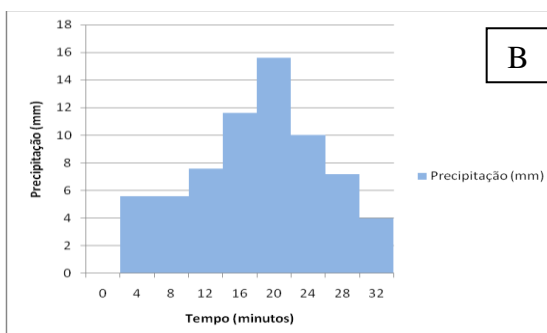
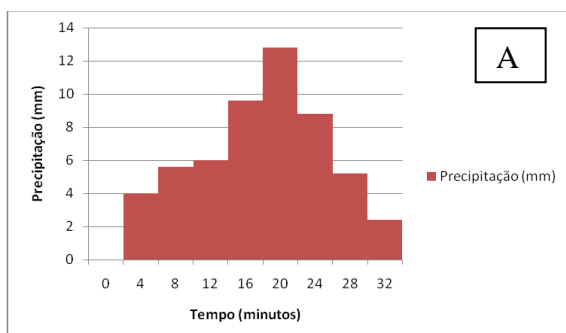
Intensidade de Chuva (mm/min)	Tempo de Retorno (anos)
1,76	2
2,12	5
2,73	10

Tabela 4 - Cálculo das intensidades de chuva nos períodos correspondentes e alturas precipitadas acumuladas e no período.

Tempo de retorno = 2 Anos						
Tempo (min)	i (mm/min)	P acumulada (mm)	P período (mm)	Blocos alternados	Precipitação (mm)	P acumulada (mm)
4	3,2	12,8	12,8	8	4	4,0
8	2,8	22,4	9,7	4	5,6	9,6
12	2,6	31,2	8,8	6	6,0	15,6
16	2,3	36,8	5,6	2	9,6	25,2
20	2,1	42	5,2	1	12,8	38,0
24	2,0	48	6,0	3	8,8	46,8
28	1,8	50,4	2,4	5	5,2	52,0
32	1,7	54,4	4,0	7	2,4	54,4
Tempo de retorno = 5 Anos						
4	3,9	15,6	15,6	8	5,6	5,6
8	3,4	27,2	11,6	6	5,6	11,2
12	3,1	37,2	10,0	4	7,6	18,8
16	2,8	44,8	7,6	2	11,6	30,4
20	2,6	52	7,2	1	15,6	46,0
24	2,4	57,6	5,6	3	10,0	56,0
28	2,2	61,6	4,0	5	7,2	63,2
32	2,1	67,2	5,6	7	4,0	67,2
Tempo de retorno = 10 anos						
4	5,0	20,0	20,0	8	5,2	5,2
8	4,4	35,2	15,2	6	8,4	13,6
12	4,0	48,0	12,8	4	9,6	23,2
16	3,6	57,6	9,6	2	15,2	38,4
20	3,3	66,0	8,4	1	20,0	58,4
24	3,1	74,4	8,4	3	12,8	71,2
28	2,9	81,2	6,8	5	8,4	79,6
32	2,7	86,4	5,2	7	6,8	86,4

Os dados do período e da precipitação são direcionados no software em uma tabela situada no diretório tempo das séries (time series). São fornecidos dados referentes à data de estudo, horário em que a precipitação ocorreu e os valores das precipitações em relação ao tempo.

Como resultado da aplicação do Método dos Blocos Alternados, obteve-se o hietograma de projeto (Figura 4 A, B e C):



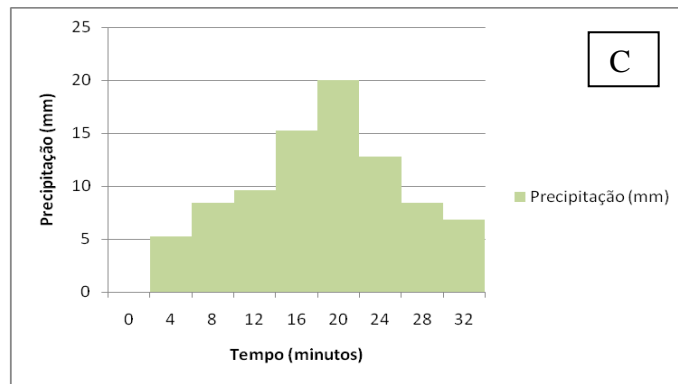


Figura 4 A, B e C. Hietograma de projeto para tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos respectivamente.

A partir dos hietogramas gerados, percebe-se que o intervalo de tempo de 20 minutos correspondeu a maior altura precipitada, atingindo os valores de 12,8; 15,6 e 20,0 mm. Posterior a esse tempo apresenta-se a recessão, o que caracteriza o fim do escoamento superficial.

Com os dados obtidos partiu-se para a modelagem matemática utilizando como ferramenta o software SWMM.

Inicialmente, foram desenhadas as 07 sub-bacias, 04 junções representando os lançamentos de águas pluviais, 03 condutos representando o manancial e a chuva de projeto, conforme a Figura 5.

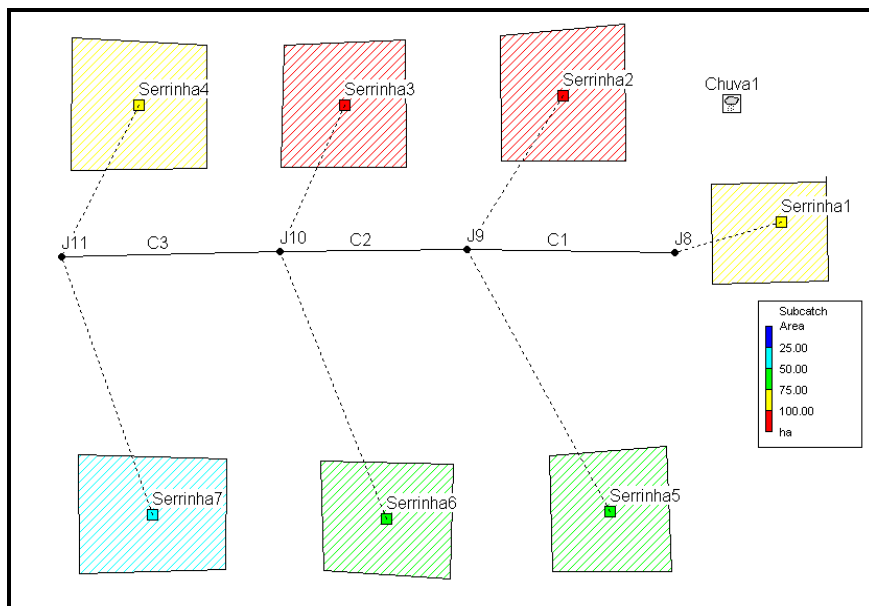


Figura 5 - Desenho das sub-bacias

As descrições das características das sub-bacias, das junções, dos condutos e da chuva, assim como todos os valores que foram adotados no Software seguem nas tabelas 5, 6 e 7 abaixo:

Tabela 5 - Características e valores adotados para as sub-bacias.

Sub-bacia	Largura (m)	Área (ha)	Chuva	Saída	%Declividade	% Imp	N Imp	N Perv	Dstore Imp	Dstore Perv	%Zero Imp	Subarea roteamento	Percent roteado	Infiltração	CN	Conduktiv.	Hora de secagen
1	905	75,9	chuva	J1	2,98	25 75	0,013	0,1	0,05	0,05	25	Impervious	100	CN	40 85	0,5	1
2	1042	106	chuva	J2	7,38	25 75	0,013	0,1	0,05	0,05	25	Impervious	100	CN	40 85	0,5	1
3	859	101,2	chuva	J3	3,39	25 75	0,013	0,1	0,05	0,05	25	Impervious	100	CN	40 85	0,5	1
4	765	90,1	chuva	J4	3,39	25 75	0,013	0,1	0,05	0,05	25	Impervious	100	CN	40 85	0,5	1
5	761	56,5	chuva	J2	5,39	25 75	0,013	0,1	0,05	0,05	25	Impervious	100	CN	40 85	0,5	1
6	693	63,8	chuva	J3	3,26	25 75	0,013	0,1	0,05	0,05	25	Impervious	100	CN	40 85	0,5	1
7	305	37,48	chuva	J4	3,26	25 75	0,013	0,1	0,05	0,05	25	Impervious	100	CN	40 85	0,5	1

Tabela 6 - Valores adotados para os condutos

	Nó de entrada	Nó de saída	Forma	Profund. Máxima	Comprimento	Rugosidade	Deslocamento	Barris	Profund. Máxima	Largura	Decliv. Esquerda	Decliv Direita
Conduto 01	J8	J9	Trapezoidal	1	400	0,01	5	1	1	1	1	2
Conduto 02	J9	J10	Trapezoidal	1	400	0,01	5	1	1	1	3	4
Conduto 03	J10	J11	Trapezoidal	1	400	0,01	6	1	1	1	5	6

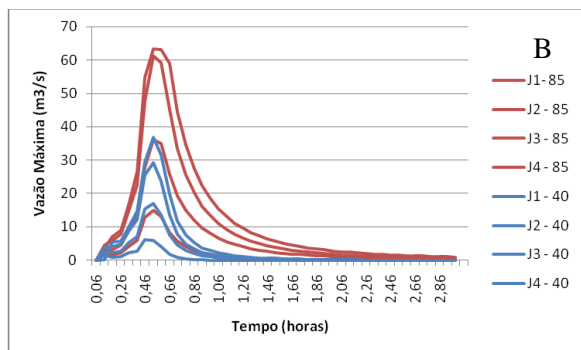
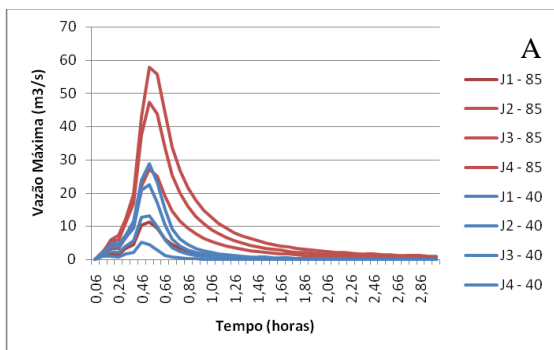
Tabela 7 - Características empregadas para a chuva de projeto

Nome	Chuva
Tipo de chuva	Cumulativa
Intervalo de tempo	00:04
Data da Informação	Séries Cronológicas
Nome das séries	2 anos, 5 anos e 10 anos

Como resultado dos dados, obteve-se a Figura 6 A, B e C abaixo, que demonstra a vazão total das águas pluviais nos lançamentos das subáreas para os respectivos tempos de retorno e ambas as curvas discretizadas, no decorrer do tempo. Nota-se que nos três casos que as curvas CN 85 atingiram um nível superior (aproximadamente três vezes maior) as obtidas pela curva CN 40, ou seja, alcançaram à máxima vazão de pico correspondente ao tempo de retorno escolhido.

Esse fenômeno ocorre devido à existência de pouca ou nenhuma superfície permeável, o que provoca aumento do escoamento superficial, ampliação do volume escoado e avanço na velocidade da água escoada.

Verifica-se que a máxima vazão de pico dos tempos de retorno adotado se dá quando a área é impermeabilizada. Quando há superfícies permeáveis, a vazão máxima atinge níveis menores e seu tempo de escoamento é menor, pois, ocorre infiltração. Já para uma área bastante adensada, a vazão máxima é maior e seu tempo de escoamento é superior, visto que a água não encontra maneiras de infiltrar.



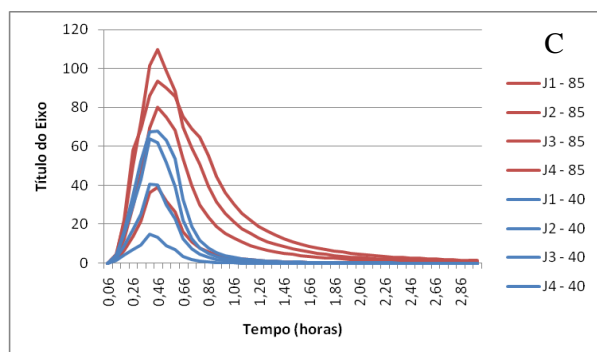


Figura 6 A, B e C - Vazões nos lançamentos para TR de 2,5 e 10 anos e CN de 40 e 85.

A urbanização amplia as vazões devido a canalização e a impermeabilização do solo.

Na análise comparativa dos sistemas (lançamentos + condutos + canal) para os referidos tempos de retorno e curvas número, foi avaliada a vazão total no decorrer do período, o resultou a Figura 7 A, B e C.

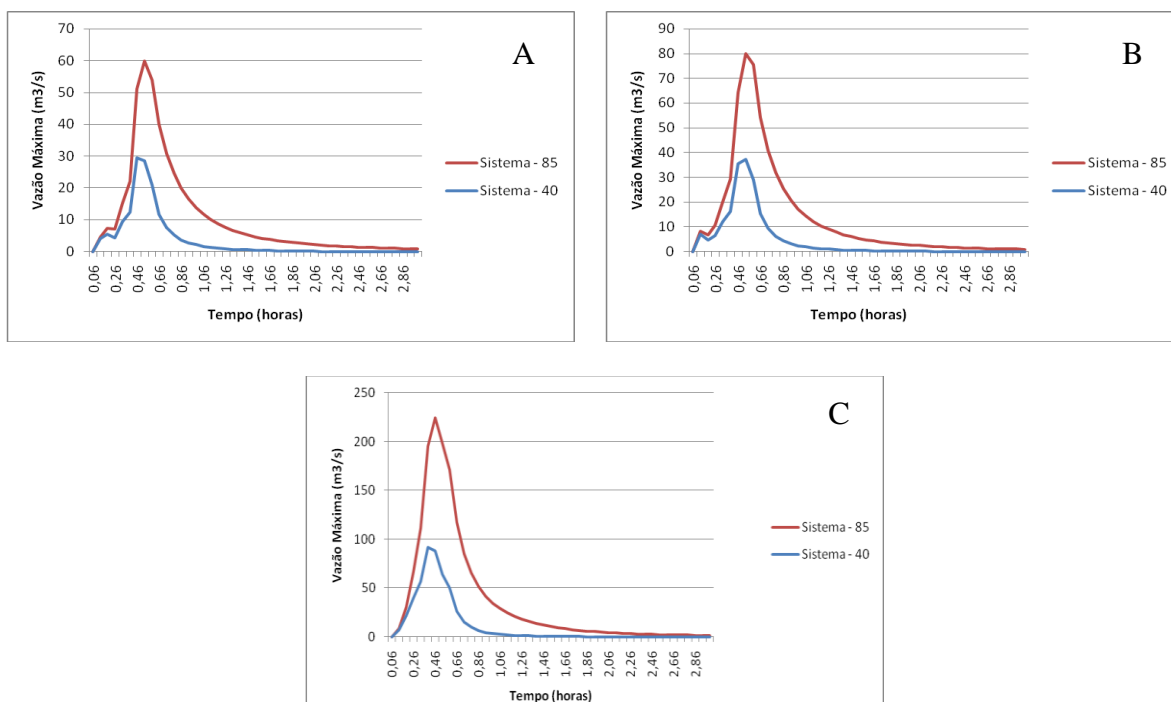


Figura 7 A, B e C - Vazões nos sistemas para TR de 2,5 e 10 anos e CN de 40 e 85.

Perante a figura acima nota-se que para o sistema de CN 85 e índice de impermeabilidade de 75% a freqüência de inundações aumenta. Os sistemas de drenagem urbana desenvolvidos há 50 anos não suportam a vazão máxima atual, já que as áreas permeáveis e a população da época eram diferentes das atuais.

A vazão máxima para TR de 2 anos no sistema para CN de 40 foi de 28,4 m³/s e para CN 85 correspondeu a 59,93 m³/s, para TR 5 anos os resultados foram respectivamente 28,9 m³/s e 75, 38m³/s

e para TR de 10 anos $91,9 \text{ m}^3/\text{s}$ e $224, 21 \text{ m}^3/\text{s}$, confirmando a ineficiência do sistema para os dias atuais.

Os resultados encontrados demonstraram que a cobertura vegetal e a presença de áreas de permeabilidade interferem no processo de precipitação-vazão, reduzindo vazões máximas, devido ao enfraquecimento do escoamento. Esse efeito pode ser observado nas curvas geradas para CN 40. Para CN 85, a ausência de cobertura e áreas de recarga, provocaram um elevado aumento da vazão máxima. E em situações de precipitações extremas a vazão elevou-se ainda mais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho contemplou uma microbacia da região Sul de Goiânia, através da modelagem matemática, empregando o SWMM (Stormwater Management Model). Foram definidos os hietogramas de projeto para os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. Os cálculos das vazões de projeto basearam-se nos hietogramas. Posteriormente o impacto do sistema foi avaliado.

Analisando o trabalho realizado percebe-se que o excesso de vazão para o local pode sofrer influências de problemas ambientais de grande relevância, como: áreas impermeabilizadas em grande escala e poucas ou quase inexistentes áreas de permeabilidade, rede de drenagem subdimensionadas e ineficazes diante do escoamento superficial produzido.

Diante disso, houve primeiramente uma discretização da área estudada, após foram efetuados os cálculos de tempo de concentração, intensidade de chuva e por fim, foram realizadas as modelagens, considerando-se as condições naturais do manancial e as condições atuais em que o mesmo se encontra.

Conclui-se que os atuais projetos de drenagem urbana devem considerar o crescimento populacional e a redução das áreas permeáveis. Os planejamentos devem prever ainda a cheia de projeto, estimada com base em uma precipitação máxima provável, voltada para eventos cada vez piores, (como em intensidades pluviométricas calculadas para 10 anos) e a frequência em que a mesma ocorrer.

Quanto maior o período de retorno adotado, maior será a proteção conferida à população, por outro lado não só o custo, como também o porte das obras e sua interferência no ambiente urbano serão maiores. Tal fato, comumente, leva os poderes decisórios a escolher períodos de retorno pequenos, imprimindo uma errônea sensação de segurança na população, encorajando-a, de certa forma, a ocupar áreas impróprias.

No dimensionamento de uma rede de drenagem as vazões devem reproduzir condições críticas possíveis de ocorrer com um determinado risco. Tais condições são identificadas dentro das mais

desfavoráveis. Neste estudo de caso, o risco a ser adotado é de 10 anos, pois aceita-se que a rede de drenagem pode ser extravasada com a referida frequência. A partir daí pode-se determinar estruturas de controle necessárias para manter as vazões de pico (TR 10 anos), ao longo de toda a galeria, e determinar os trechos que se encontram inferiores a capacidade de vazão máxima.

É necessária a quantificação do impacto das condições reais da urbanização sobre o escoamento, para que se possa disciplinar a ocupação do solo, através de uma densificação que seja compatível com os riscos de inundação.

Prevendo a redução das áreas verdes, verifica-se a necessidade da preservação dos mecanismos naturais de escoamento na implementação urbana: infiltração e conservação dos rios urbanos com implantação obedecendo a drenagem natural. A adoção de medidas de controle (poços de infiltração, valas de infiltração e /ou caixas de retenção) na área estudada podem minimizar o efeito da vazão máxima superficial, desafogando o sistema de drenagem.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, P.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol 5, n.3, jul/set 2000, p.21-28

AZEVEDO NETTO, J. M *et al.* Manual de hidráulica. 8ª ed. Editora Edgard Blucher. 1998.

BAPTISTA, M. B; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol 7, No 1, Jan/Mar, 2002.

BARCO, J; WONG, K. M; STENSTROM, M. K. Automatic calibration of the U.S.EPA SWMM model for a large urban catchment. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 134, No 4. April, 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Gestão de águas pluviais urbanas/ Tucci, Carlos. E.M – Brasília: 2006.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied hydrology*, McGraw-Hill, Singapore, 99–126. 1988.

COSTA, A. R.; BRITO, V. F. Equações de chuva intensa para Goiás e sul de Tocantins. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Belo Horizonte, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. CD – Rom (Anais).

GOIÂNIA (Município). **Lei Complementar nº 171, de 29 de maio de 2007.** Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências. Goiânia, 2007.

GOIÂNIA (Município). **Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia (MUBDG)**. Goiânia: COMDATA. 1 CD- ROM.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia (1961/1990). *Gráficos climatológicos*., Disponível em INMET: <http://www.inmet.gov.br/>

MELLER, A. Simulação hidrodinâmica integrada de sistema de drenagem em Santa Maria – RS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria – RS, 2004.

ROSSMAN, L. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. EPA/600/R-05/040, U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH. 2008.

SILVEIRA, A. L. L., 1998, Hidrologia Urbana no Brasil, in : Braga, B.; Tucci, C.E.M.; Tozzi, M., 1998, Drenagem Urbana, Gerenciamento, Simulação, Controle, ABRH Publicações nº 3, Editora da Universidade, Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M *et al.* Hidrologia – ciência e aplicação - 4ª ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.

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