

MANANCIAL ALAGADOS – ANÁLISE EVOLUTIVA DOS HIDROGRAMAS DE ENCHENTE PARA VÁRIOS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO

Alceu Gomes de Andrade Filho (UEPG) E-mail: agafilho@uepg.br
Eveline Manosso Janik Brik (UEPG) E-mail: eve.brik@hotmail.com
Guilherme Sandaka (UEPG) E-mail: sandaka-guilherme@hotmail.com

Resumo: O presente trabalho teve por objetivo investigar a aplicação de modelos hidrológicos na bacia hidrográfica do Manancial Alagados em Ponta Grossa, no Estado do Paraná; construindo os hidrogramas de enchente correspondentes às sub-bacias monitoradas pela Sanepar (Companhia de Saneamento do Estado do Paraná) através da aplicação dos métodos CUHP (*Colorado Urban Hydrograph Procedure*) e do Hidrograma Unitário Triangular desenvolvido pelo SCS (*Soil Conservation Service*) dos Estados Unidos da América (USA), analisando a evolução dos hidrogramas obtidos para várias hipóteses de ocupação das bacias de contribuição. Esses estudos devem subsidiar ações de prevenção de enchentes, formação de processos erosivos, assoreamento e mitigação de impactos ambientais, bem como, possibilitar o dimensionamento de estruturas de drenagem que possam comportar o aumento do volume de água escoado superficialmente devido à crescente ocupação observada no local.

Palavras-chave: Hidrograma, Enchente, Simulações.

MANANCIAL ALAGADOS - EVOLUTIONARY ANALYSIS OF FLOOD HYDROGRAPHS FOR VARIOUS SCENARIOS FOR OCCUPANCY

Abstract: The present work had for objective investigate the application of hydrological models at watershed of the Manancial Alagados in Ponta Grossa, Paraná state; building the flood hydrograph corresponding to the sub-basins monitored by Sanepar (Sanitation Company of the State of Paraná) by applying the methods CUHP (Colorado Urban Hydrograph Procedure) Triangular Unit Hydrograph and developed by SCS (Soil Conservation Service) of the United States of America (USA), analyzing the evolution of hydrographs obtained for various hypotheses occupancy basins contribution. These studies should support programs to prevent flooding, erosion formation, sedimentation and mitigation of environmental impacts, as well as enabling the design of drainage structures that can accommodate the increased volume of water from surface runoff due to increased occupancy observed on site.

Keywords: Hydrograph, Flood, Simulations.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Manancial Alagados, possui uma área total de contribuição hídrica de 375,7 km², sendo abrangida em 13,9% pelo município de Ponta Grossa, 36,4% pelo município de Carambeí e 49,7% pelo município de Castro, tendo como principais tributários o rio Pitanguí e o rio Jotuba. (PILATTI et al, 2002)

A profundidade máxima da represa é de 14 metros e acumula cerca de 27,7 milhões de m³ de água. Apresenta vazão máxima de 13 m³/s e vazão mínima de 6 m³/s, resultando em aproximadamente 9,4 m³/s de média, segundo dados fornecidos pela SANEPAR (GOULART, 2001).

A principal atividade realizada no perímetro da bacia é a agricultura, destacando-se o cultivo de grãos e também as atividades ligadas à pecuária tais como a criação de gado leiteiro, aves e suínos.

Com o aumento da população urbana, podem ocorrer sérios problemas relacionados à ocupação do solo. O uso intenso e não planejado do mesmo pode acarretar sérios efeitos à população. Sua ocupação desordenada e conseqüentemente o aumento de construções, leva a um aumento do escoamento superficial, ou seja, a água que precipita e não consegue infiltrar, devido à presença das benfeitorias na região de contribuição da bacia hidrográfica.

Sendo o escoamento superficial amplificado, podem ocorrer as enchentes, as quais trazem efeitos catastróficos do ponto de vista econômico e social para as regiões atingidas. Para tentar se evitar ou minimizar os efeitos de enchentes em um determinado local se faz necessário o conhecimento das características da bacia hidrográfica e da rede de drenagem. Com isso é possível se prever cenários futuros e procurar medidas preventivas e mitigadoras dos impactos que possam vir a ocorrer.

Um dos meios de se analisar o comportamento de uma bacia hidrográfica face à urbanização, é através da análise de seus hidrogramas de enchente. Para tanto se faz necessário conhecer a precipitação efetiva crítica, a qual é determinada pela equação da precipitação local e, com isso é elaborado o hidrograma unitário triangular que é baseado no método do SCS (*Soil Conservation Service*), dos Estados Unidos da América (USA).

Após a elaboração do hidrograma unitário triangular, é feita a conversão para o formato curvilíneo, que a seguir é tabulado em intervalos de tempo igual ao de duração da chuva unitária (10 minutos). Com as vazões obtidas para os intervalos de tempo de duração da chuva unitária, é elaborado o hidrograma de enchente segundo o método CUHP (DENVER,2008).

Neste projeto de investigação, pretende-se efetuar uma ligação entre os estudos hidrológicos feitos através da precipitação efetiva e dos hidrogramas de enchente, para as sub bacias monitoradas pelo órgão gestor, as ações antrópicas que se manifestam na ocupação da bacia hidrográfica, construções de edificações e diminuição da capacidade de infiltração da água da chuva no solo e a preservação ambiental na bacia hidrográfica do Manancial Alagados, principal fonte de abastecimento urbano no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná.

O estudo foi desenvolvido, elaborando-se os hidrogramas de enchente para as sub bacias, levando-se em consideração vários cenários, com diferentes tipologias de recobrimento do solo e taxa de impermeabilização. Ainda, foram usadas diferentes metodologias de cálculo para o tempo de concentração da bacia.

Os resultados e suas análises obtidos nesta investigação deverão subsidiar a construção de um banco de dados de informações suficientes para orientar ações e diretrizes de planejamento urbano sustentável no local investigado.

Embora esta metodologia tenha sido aplicada na bacia hidrográfica do Manancial Alagados, ela pode ser aplicada em diferentes bacias quando se busca conhecer a sua resposta com relação à urbanização e mudança da tipologia de recobrimento do solo e, verificar se o local de estudo terá condições de suportar o acréscimo do escoamento superficial sem a geração de danos ou ainda, prever possíveis obras de drenagem.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A história da humanidade e conseqüentemente o surgimento das civilizações, estão muito ligados aos recursos hídricos, sendo a água, de fundamental importância para a sobrevivência humana, a qual é utilizada de diversos modos tais como, na agricultura, dessedentação humana e animal e higiene.

Por essa razão, grandes civilizações se formaram ao redor de rios e vales, como por exemplo, no Egito, ao redor do rio Nilo, a civilização Mesopotâmica ao redor dos rios Tigre e Eufrates. Os grandes aquedutos romanos e seus complexos sistemas de irrigação podem ser citados como resultado da utilização dos recursos hídricos, ambos iniciados aproximadamente no ano 300 a.C.

Com o aumento populacional e a ocupação desordenada do solo, começaram a surgir problemas relativos ao planejamento das cidades, processos erosivos que são acelerados, degradação ambiental e enchentes. Para tentar resolver esses problemas, o estudo dos recursos hídricos é de vital importância.

Devido a urbanização, a taxa de infiltração de água no solo reduz consideravelmente, como consequência da impermeabilização do solo, através das edificações residenciais, maior fracionamento de uso do solo, instalações de confinamentos, leiterias e outras benfeitorias, causando queda no armazenamento no subsolo. Segundo Tucci (1995) dessa forma, a parcela da água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

Com isso, ocorre uma variação nos hidrogramas de cada seção estudada. Os hidrogramas são gráficos no plano cartesiano onde a vazão na seção de estudo é relacionada com o tempo em que a mesma ocorre. Como a água que precipita não consegue infiltrar com facilidade no solo, há um aumento do escoamento superficial direto, concomitantemente diminuindo o tempo que a vazão máxima na seção é atingida, ou seja, o tempo de pico.

Para estudos das vazões de enchentes, se faz necessário construir os hidrogramas de enchente das respectivas seções, iniciando no método estudado pelo hidrograma unitário de formato triangular. Com isto, a precipitação efetiva que ocorre é transformada em escoamento superficial. Segundo Tucci (1995), o hidrograma unitário triangular sintético do SCS, proposto no *National Engineering Handbook*, é um hidrograma adimensional, resultante da análise de um grande número de bacias nos Estados Unidos.

Segundo Ramos (1989), o hidrograma unitário se baseia em três princípios: no princípio da linearidade, onde chuvas efetivas de mesma duração apresentarão hidrogramas superficiais com ordenadas proporcionais aos volumes escoados; no princípio da superposição (decorrência do princípio da linearidade), onde o hidrograma superficial devido a uma dada chuva efetiva, pode ser dividido em uma série de hidrogramas superficiais parciais, cada um devido a uma chuva efetiva parcial; e no princípio da invariância no tempo, onde uma chuva efetiva de mesmo valor e duração produzirá, a qualquer tempo, um hidrograma de escoamento superficial com características semelhantes. Esses princípios foram estabelecidos por Shermann, que observou um grande número de bacias hidrográficas nos Estados Unidos.

Segundo Amaral (1998), a obtenção e aplicação do hidrograma unitário são baseadas nas seguintes hipóteses, advindas de estudos feitos por Sherman:

- a) A intensidade da chuva efetiva é constante durante a tormenta que produz o hidrograma unitário;
- b) A chuva efetiva é uniformemente distribuída em toda a área de drenagem da bacia;
- c) O tempo base ou tempo de duração do deflúvio superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante;
- d) As ordenadas de hidrogramas do deflúvio superficial direto, com tempo base comum são diretamente proporcionais aos volumes desses hidrogramas;

e) Os efeitos de todas as características de uma dada bacia de drenagem, incluindo forma, declividade, retenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de armazenamento do canal, etc; são refletidos na forma do hidrograma unitário da bacia;

f) Em uma dada bacia hidrográfica, o tempo de duração do escoamento superficial é constante para chuvas de igual duração;

g) Duas chuvas de igual duração, produzindo volumes diferentes de escoamento superficial, dão lugar a fluviogramas em que as ordenadas, em tempos correspondentes, são proporcionais aos volumes totais escoados;

h) A distribuição, no tempo, do escoamento superficial de determinada precipitação independe de precipitações anteriores.

Conhecida uma chuva crítica de uma bacia, isto é, a intensidade desta chuva, com duração que produza o máximo escoamento superficial, conhecidos o hidrograma unitário da bacia e o coeficiente de escoamento superficial, pode-se traçar o hidrograma de enchente correspondente a chuva dada. (VILLELA E MATTOS, 1978)

O hidrograma de enchente é obtido levando-se em conta o período de retorno recomendado de acordo com a intervenção pretendida no local. Segundo Villela e Mattos (1978), período de retorno ou período de recorrência de uma enchente (ou de qualquer evento) é o tempo médio em anos que essa enchente (ou evento) é igualada ou superada pelo menos uma vez

O hidrograma de enchente é utilizado para avaliação da enchente, permitindo não só o cálculo da máxima vazão resultante, como também o da própria onda de cheia. O critério para sua aplicação trata-se de uma enchente excepcional, em que as condições de escoamento devem, ser consideradas críticas. (PINTO et al, 1995)

Com as vazões de pico obtidas através do hidrograma de enchente é possível fazer o dimensionamento de obras de infra-estrutura, tais como pontes, barragens, bueiros, drenos e outras obras, em que a variação da vazão de enchente possa vir a abreviar sua vida útil e prejudicar sua função, bem como acarretar perdas e danos para a população.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado o estudo da precipitação efetiva, que é a parcela de chuva que se transforma em escoamento superficial devido ao excesso da chuva sobre a capacidade de infiltração do solo, através do Método *Colorado Urban Hydrograph Procedure* – CUHP (DENVER, 2008), levando-se em conta a caracterização geológica do solo presente na bacia hidrográfica e estimando-se a infiltração do solo a partir dessas informações levantadas por PILATTI et al (2002).

Para esse estudo, foi levada em conta a taxa de impermeabilização do solo como sendo recomendado de 15%, isto é, a taxa estimada de impermeabilização da bacia hidrográfica levando-se em conta o cenário atual da mesma. Para tal cálculo, a bacia foi dividida de acordo com as seções adotadas para monitoramento de qualidade da água pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), conforme a Figura 1, cada qual com suas características apresentadas na Tabela 1 e precipitação efetiva.

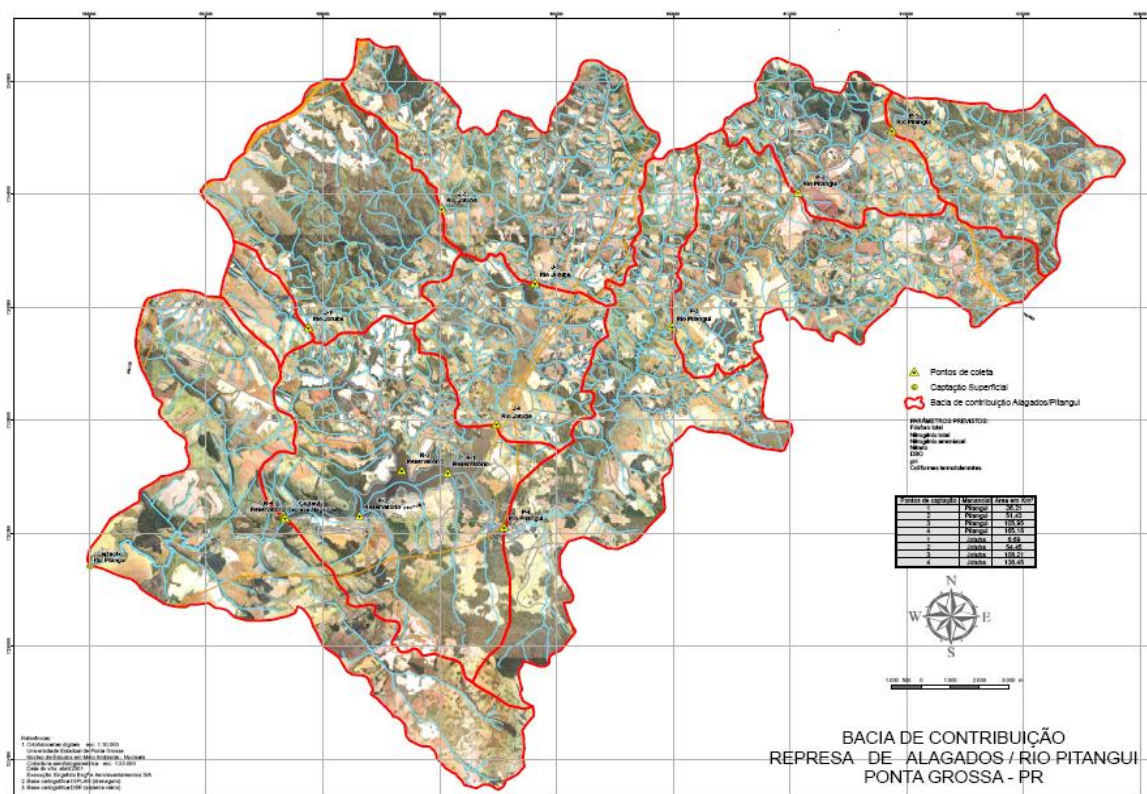


Figura 1 – Pontos de Coleta de Água (FONTE: NUCLEAM, 2001).

Tabela 1 – Principais características da bacia

Seção	Área (Km²)	Declividade (%)	Comprimento (km)	Velocidad e Média (m/s)
J1	6,69	1,57	12,321	0,28
J2	54,45	1,21	16,489	0,24
J3	106,21	0,83	25,392	0,21
J4	136,45	0,51	43,040	0,17
P1	26,21	4,23	3,547	0,54
P2	51,43	1,26	13,170	0,27
P3	105,95	0,88	21,207	0,21
P4	165,16	0,64	29,411	0,18

Fonte: Os autores (2012)

Primeiramente definiu-se o período de retorno (Tr) para estimativa da intensidade de precipitação utilizando-se a fórmula proposta por Fendrich (1998), para a cidade de Ponta Grossa. Considerando-se os estudos desenvolvidos nos canais principais de drenagem, optou-se pela concepção de macrodrenagem, resultando na utilização de período de retorno de 100 (cem) anos, conforme recomendado por Tucci (1995). Levando-se em conta as áreas de contribuição de cada seção de estudo, foram definidos para as seções P1 e P2, eventos compostos de 180 minutos e, para as seções P3 e P4 eventos de 360 minutos; para a seção J1, foi definido um evento composto com duração de 120 minutos, para a seção J2, J3 e J4, eventos com duração de 360 minutos, conforme recomendação do método CUHP. Para todos os casos, os dados foram tabulados em intervalos de 10 minutos, considerados como períodos unitários, para assim compor a tormenta crítica de projeto. Também, as alturas de precipitação

foram rearranjadas para obter-se um padrão de tormenta mais crítico. Após a reordenação dos dados, os mesmos foram ajustados através da multiplicação pelos fatores de correção recomendados pelo método.

O método CUHP (DENVER, 2008) propõe o tratamento diferenciado dos dados de precipitação decompondo-se as estimativas em duas parcelas, sendo a primeira correspondente a área permeável e a segunda correspondente a área impermeável.

A área permeável conceitualmente seria aquela região no seu estado natural apresentando vegetação composta de campos, áreas cultivadas e locais com vegetação nativa ou exótica. Nesses locais há possibilidade da água da chuva infiltrar diretamente no solo, utilizando da taxa de infiltração recomendada pelo método equivalente a 12,7mm/h na primeira meia hora, para período de retorno igual a 100 anos. A segunda parcela corresponde as perdas por detenção e armazenamento em depressões. A taxa de armazenamento para a área permeável é sugerida pelo método CUHP (DENVER, 2008), conforme a cobertura do solo. Neste estudo, considerou-se o ambiente como “grandes terrenos gramados”, o que resultou em um valor limite de 7,60 mm. Calculou-se a altura pluviométrica referente à área permeável da bacia deduzindo-se as perdas fracionadas em cada intervalo de tempo de 10 (dez) minutos, o valor obtido deve ser multiplicado pela diferença entre a área total e a taxa de impermeabilização da bacia, resultando assim na altura pluviométrica efetiva referente à parte permeável. Somando-se valores finais de cada intervalo de tempo obtém-se o total de precipitação efetiva para a área permeável.

A área impermeável corresponde à região onde há edificações, estradas, locais de benfeitorias, ou seja, locais onde não há possibilidade da água da chuva infiltrar diretamente no solo. Determinou-se para a área impermeável a taxa de detenção e armazenamento por depressões. Porém, para as áreas impermeáveis a taxa de armazenamento sugerida pela tabela do método CUHP é de 1,3 mm (grandes áreas pavimentadas) visto que nas áreas construídas ou pavimentadas a água não infiltra com facilidade como nas áreas de menor cobertura artificial.

Determinadas as perdas por detenção e armazenamento em depressões, foram calculadas as perdas adicionais para a área impermeável. O método nos diz que estas perdas podem chegar à ordem de 5%. Para descobri-las, diminuimos as perdas por detenção da altura pluviométrica corrigida e, em seguida, tomamos 5% desse total. Sendo essas as perdas adicionais.

A parcela de precipitação efetiva para a área impermeável corresponde à altura pluviométrica corrigida, deduzidas as perdas por detenção, armazenamento e perdas adicionais, conforme previsto pelo método CUHP. Para se conhecer a contribuição da área impermeabilizada que contribuirá para o escoamento superficial direto, utilizou-se a taxa de impermeabilização da bacia e sua altura pluviométrica efetiva. Somando todos os intervalos tabulados, obtém-se o total de altura pluviométrica efetiva na área impermeável.

A precipitação efetiva das seções de estudo é a soma da altura pluviométrica efetiva da área permeável com a altura pluviométrica efetiva da área impermeável.

Para comparações e determinação da melhor taxa de infiltração fez-se também um estudo com o método de Horton utilizando-se o solo do Grupo B (Solos arenosos pouco profundos; tem menor capacidade de infiltração e geram maiores escoamentos do que o solo A) e o solo do Grupo C (Solos argilosos; tem menor capacidade de infiltração e geram maiores escoamento do que A e B), assim foi possível verificar que ambos os métodos resultam em taxas de infiltrações muito parecidas, por isso utilizou-se do resultado do método CUHP.

A segunda etapa foi a determinação do hidrograma unitário triangular, para tanto, determinou-se a velocidade do escoamento na seção estudada. Para isto fez-se uso do ábaco para determinação da velocidade do escoamento superficial, fornecido pelo *Soil Conservation Service (1974)*, a velocidade é baseada na declividade da seção de estudo em percentual e também da classificação da cobertura do local. Num primeiro momento utilizou-se da tipologia quatro (terrenos cultivados em fileira).

A determinação do tempo de concentração neste primeiro estudo foi realizada através da aplicação direta da equação da velocidade média, estabelecida por Chezy-Manning. Para obtenção desse tempo, dividiu-se o comprimento total medido desde o divisor de águas até a seção de estudo pela velocidade média calculada.

O tempo da chuva efetiva unitária é estimado pela equação 1 do *Soil Conservation Service (1974)*:

$$t_d = 2 \cdot \sqrt{t_c} \quad (1)$$

Onde:

t_d = tempo de duração da chuva efetiva unitária (min)

t_c = tempo de concentração (min)

O tempo em horas, em que a vazão deverá atingir seu pico, no hidrograma unitário triangular é obtido pela metade do tempo de duração da chuva unitária, acrescido do tempo de retardamento (equação 2) da bacia hidrográfica. Aumentando esse valor em sessenta e sete por cento obtém-se o tempo de recessão.

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad (2)$$

Onde:

t_d = tempo de retardamento da bacia (min)

t_c = tempo de concentração (min)

A vazão de pico do hidrograma unitário triangular é dada multiplicando-se a altura de chuva correspondente ao volume unitário escoado superficialmente por dois e dividindo-se este valor pelo tempo base do hidrograma (t_b). Sendo t_b a soma do tempo de pico com o tempo de recessão do hidrograma em horas. Ou seja, a vazão de pico do hidrograma unitário triangular é correspondente à altura do hidrograma de forma triangular.

A conversão do hidrograma unitário triangular para o curvilíneo foi realizada utilizando-se os valores da tabela do *Soil Conservation Service (1974)*, com os valores convertidos se fez o reajuste, para manter intervalos de dez minutos, sendo necessária a interpolação das vazões em relação ao tempo. Construíram-se assim os Hidrogramas Curvilíneos para cada seção, conforme descrito por Fendrich (2008).

Com o hidrograma unitário curvilíneo obtido adotando-se a divisão de períodos de chuva unitária relativos a dez minutos e suas respectivas vazões, determinou-se o hidrograma de enchente para cada uma das seções de estudo.

A fim de se obter a precipitação excedente para cada intervalo de chuva unitária de dez minutos, multiplicou-se a vazão obtida no hidrograma unitário curvilíneo pela parcela da precipitação efetiva, dividindo-se esse produto pela precipitação unitária, para a qual adotou-se, segundo o método CUHP (DENVER, 2008), um valor correspondente a 10 mm.

Somando-se cada parcela da precipitação excedente, correspondente para cada período de chuva unitária de dez minutos, obtiveram-se as ordenadas do hidrograma de enchente para as seções de estudo, as quais correspondem à vazão do hidrograma final de projeto.

Utilizando-se da mesma metodologia descrita anteriormente, a qual levou-se em conta o cenário atual no qual a bacia está inserida, procedeu-se o estudo de simulações de possíveis cenários de urbanização, aos quais a bacia hidrográfica pode vir a ser submetida.

Num segundo cenário de ocupação da bacia, utilizou-se a precipitação efetiva calculada com uma taxa de impermeabilização ampliada para 35 %, correspondendo a um aumento no fracionamento do solo na região de contribuição, utilizando-se a tipologia de ocupação sete.

Nesse cenário modificado, foi testado a seguir o comportamento dos hidrogramas de resposta considerando o tempo de concentração estimado através da fórmula de Chezy-Manning, apresentado na equação 3.

$$t_c = \left(\frac{L}{V} \right) \quad (3)$$

Onde:

L = comprimento do talvegue (m)

V = velocidade média de percurso (m/s)

tc = tempo de concentração (s)

A velocidade de escoamento no canal principal é calculada pela equação 4.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \sqrt{RI} \quad (4)$$

Onde:

R = raio hidráulico (m)

n = Coeficiente de Manning (rugosidade)

I = declividade (m/m)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando-se o cenário atual, foram realizadas duas simulações de possíveis cenários de ocupação a que a bacia hidrográfica poderá ser submetida, tanto para o rio Jotuba, quanto para o rio Pitangui. Nota-se que embora a proximidade das bacias hidrográficas dos tributários do Manancial Alagados, ocorreram diferentes processos de desenvolvimento nesses locais.

As propriedades rurais na bacia de contribuição do rio Jotuba encontram-se bastante fragmentadas, sofrendo processos de parcelamento de uso do solo bastante intenso. Na região do Catanduva encontram-se muitas pequenas propriedades, algumas usadas como meio de subsistência de famílias, outras como locais de lazer. As atividades ali desenvolvidas estão fortemente ligadas às cooperativas e agroindústrias existentes.

As propriedades rurais encontradas na bacia de contribuição do rio Pitangui, em grande parte são mais esparsas, caracterizadas por médio e grande porte, prevalecendo atividades agrícolas, existindo também unidades ligadas às cooperativas e agroindústrias da região.

A Tabela 2 apresenta a sequência de cálculo para a precipitação efetiva referente a uma taxa de impermeabilização do solo de 15% para a seção de estudo J1. E a Tabela 3 apresenta os dados de precipitação efetiva para as taxas de impermeabilização do solo de 15% e 35%.

Tabela 2- Precipitação Efetiva com taxa de impermeabilização de 15%.

Tempo (mm)	Chuva (mm)	Incremento		Área Permeável				Área Impermeável				Precipitação Efetiva (mm)
		Natural	Arranjado	Infiltração	Detenção	Efetiva	(1-i)*Pe	Detenção	Perda	Efetiva	i*Pe	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	29,70	29,70	3,30	2,10	1,20	0,00	0,00	1,30	0,10	1,90	0,29	0,29
20,00	46,30	16,60	5,90	2,10	3,80	0,00	0,00	0,00	0,30	5,61	0,84	0,84
30,00	57,20	10,90	10,90	2,10	2,60	6,20	5,27	0,00	0,55	10,36	1,55	6,82
40,00	65,00	7,80	29,70	2,10	0,00	27,60	23,46	0,00	1,49	28,22	4,23	27,69
50,00	70,90	5,90	16,60	2,10	0,00	14,50	12,33	0,00	0,83	15,77	2,37	14,69
60,00	75,70	4,80	7,80	2,10	0,00	5,70	4,85	0,00	0,39	7,41	1,11	5,96
70,00	79,60	3,90	4,80	2,10	0,00	2,70	2,30	0,00	0,24	4,56	0,68	2,98
80,00	82,90	3,30	3,90	2,10	0,00	1,80	1,53	0,00	0,20	3,71	0,56	2,09
90,00	85,70	2,80	2,80	2,10	0,00	0,70	0,60	0,00	0,14	2,66	0,40	0,99
100,00	88,10	2,40	2,40	2,10	0,00	0,30	0,26	0,00	0,12	2,28	0,34	0,60
110,00	90,30	2,20	2,20	2,10	0,00	0,10	0,09	0,00	0,11	2,09	0,31	0,40
120,00	92,30	2,00	2,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,90	0,29	0,29
Total		92,30	92,30		7,60		50,66	1,30	4,55		12,97	63,63

Fonte: Os autores (2012)

Tabela 3 - Precipitação Efetiva

Seção	Precipitação Efetiva com i = 15% (mm)	Precipitação Efetiva com i= 35% (mm)
J1	63,63	69,00
J2	66,11	76,22
J3	68,47	78,79
J4	68,10	78,65
P1	57,10	68,10
P2	57,10	68,10
P3	60,77	78,74
P4	59,66	75,01

Fonte: Os autores (2012)

Os hidrogramas curvilíneos utilizados na elaboração dos hidrogramas de projeto estão relacionados nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 - Dados obtidos através dos hidrogramas unitários curvilíneos, tipologia 4 e i = 15%

Seções	Tempo de base (min.)	Tempo de pico (min.)	Vazão de pico (m ³ /s)
J1	670	140	6,15
J2	3410	690	9,93
J3	5810	1170	11,37
J4	8760	1760	9,71
P1	3250	650	5,02
P2	4680	940	6,85
P3	7690	1540	8,59
P4	15600	3120	6,61

Fonte: Os autores (2012)

Tabela 5 - Dados obtidos através do hidrograma unitário curvilíneo, tipologia 7

Seções	Tempo de base (min.)	Tempo de pico (min.)	Vazão de pico (m³/s)
J1	400	80	10,37
J2	1530	280	21,38
J3	2550	510	25,95
J4	3930	790	21,64
P1	1400	280	11,71
P2	1930	390	16,65
P3	3000	600	21,99
P4	6070	1230	16,87

Fonte: Os autores (2012)

Tabela 6 - Dados obtidos através do hidrograma unitário curvilíneo, tipologia 7 com tempo de concentração calculado através da fórmula de Chézy Manning

Seções	Tempo de base (min.)	Tempo de pico (min.)	Vazão de pico (m³/s)
J1	290	60	14,28
J2	1110	230	30,47
J3	1850	370	35,75
J4	2750	550	30,97
P1	980	200	16,75
P2	1340	270	23,89
P3	2190	440	30,15
P4	4160	840	24,75

Fonte: Os autores (2012)

Alterando-se a tipologia de recobrimento do solo existente no cenário atual (tipologia 4 e $i = 15\%$), onde os resultados se encontram na Figura 1 e Tabela 7 evoluindo para um cenário futuro mais urbanizado (tipologia 7 e $i = 35\%$), onde os resultados são representados na Figura 2 e Tabela 8 a resposta da bacia hidrográfica frente à este cenário é um acréscimo na vazão de pico em mais de cem por cento e a redução do tempo de pico também foi em torno de cem por cento.

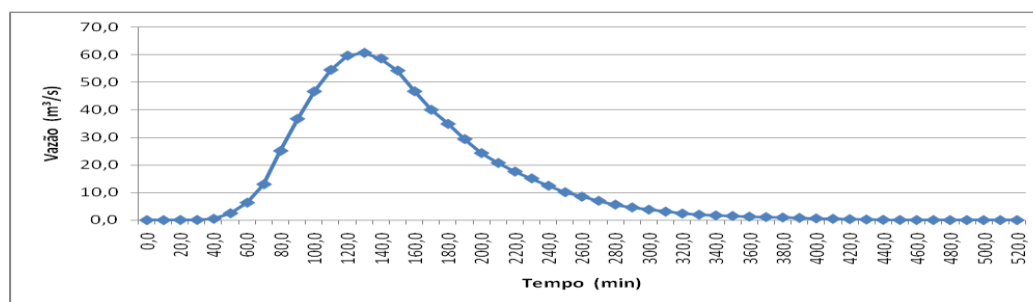


Figura 2 - Hidrograma de projeto referente à seção J1 – Tipologia 4 e $i = 15\%$

Tabela 7 - Dados obtidos através do hidrograma de projeto, tipologia 4 e $i = 15\%$

Seções	Tempo de base (min.)	Tempo de pico (min.)	Vazão de pico (m³/s)
J1	520	130	60,60
J2	1900	740	64,79
J3	2920	1220	77,46
J4	4300	1810	65,92
P1	3440	700	32,22
P2	4870	980	44,00
P3	8060	1590	58,63
P4	15970	3160	51,86

Fonte: Os autores (2012)

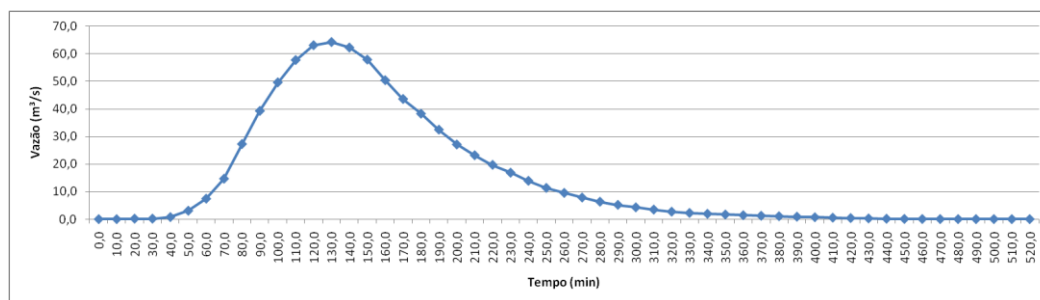


Figura 3 - Hidrograma de projeto referente à seção J1 – Tipologia 7 e i = 35%

Tabela 8 - Dados obtidos através do hidrograma de projeto, tipologia 7 e i = 35%

Seções	Tempo de base (min.)	Tempo de pico (min.)	Vazão de pico (m³/s)
J1	530	130	64,22
J2	1900	330	147,16
J3	2920	590	197,64
J4	4300	860	167,30
P1	1590	340	78,41
P2	2120	440	112,93
P3	3370	670	168,53
P4	6440	1280	125,16

Fonte: Os autores (2012)

Para as hipóteses dos cenários alterados, combinados com nova avaliação do tempo de concentração, na simulação, utilizando-se a equação estabelecida por Chezy-Manning, a vazão de pico aumenta em torno de três vezes em relação à vazão de pico do hidrograma de enchente do cenário atual e o tempo de pico sofre uma redução de aproximadamente 70%. Conforme os dados representados na Tabela 9 e na Figura 4.

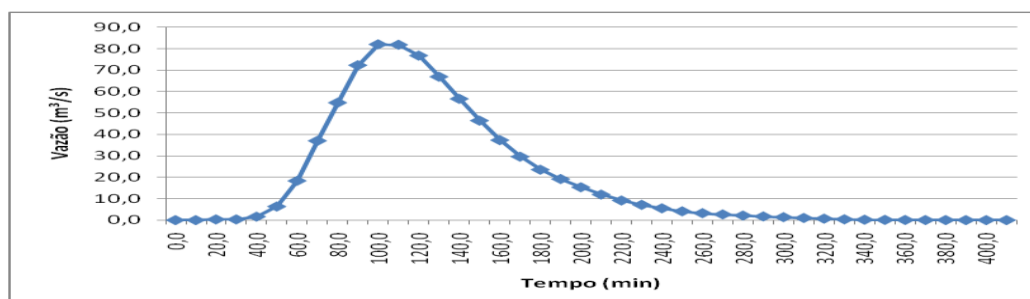


Figura 4 - Hidrograma de projeto referente à seção J1 – Tipologia 7 com tempo de concentração calculado através da fórmula desenvolvida por Chezy – Manning.

Tabela 9 - Dados obtidos através do hidrograma de projeto, tipologia 7 com tempo de concentração calculado através da fórmula desenvolvida por Chezy – Manning.

Seções	Tempo de base (min.)	Tempo de pico (min.)	Vazão de pico (m³/s)
J1	420	100	81,93
J2	1380	280	210,50
J3	2220	440	266,06
J4	3120	630	236,12
P1	1170	250	110,42
P2	1530	330	159,85
P3	2560	510	227,36
P4	4530	900	182,30

Fonte: Os autores (2012)

5. CONCLUSÕES

Os hidrogramas unitários sintéticos obtidos a partir das características físicas das bacias hidrográficas nas regiões a montante das seções de estudo são poderosas ferramentas de análise de seu comportamento. Através desses hidrogramas pode-se estimar o comportamento do escoamento superficial, as vazões de pico e também o tempo em que elas podem ocorrer. Neste trabalho fez-se uso desta ferramenta, simulando-se diferentes cenários de ocupação, as quais a bacia hidrográfica pode vir a ser submetida.

Os resultados obtidos na bacia hidrográfica do Manancial Alagados, tanto para o rio Jotuba quanto para o rio Pitanguí, evidenciam que qualquer modificação na cobertura e uso do solo pode influenciar na quantidade de água escoada superficialmente, alterando seu coeficiente de deflúvio, notando-se também, que essas alterações podem vir combinadas com a redução dos tempos de concentração nas bacias de contribuição, por efeito de construção de dispositivos de drenagem pluvial, maximizando os efeitos das enchentes. Os resultados obtidos podem contribuir para o desenvolvimento de ações de prevenção de enchentes, erosões, voçorocas, assoreamento e mitigação de impactos ambientais, bem como o dimensionamento de estruturas de drenagem compensatórias dos efeitos da urbanização progressiva dos espaços das bacias de contribuição do Manancial Alagados em Ponta Grossa, Paraná.

Recomenda-se a implantação gradativa de estruturas compensatórias nas regiões impactadas, representadas pela construção de reservatórios de retenção para mitigação das enchentes nos tributários Jotuba e Pitanguí.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual de Ponta Grossa.

REFERÊNCIAS

AMARAL, KAREN JULIANA, *Manual de utilização do método Colorado Urban Hydrograph Procedure – CUHP*, Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 1998, 81 p.

DENVER REGIONAL COUNCIL OR GOVERNMENTS. *Urban storm drainage criteria manual*. Denver. Wright-Mclaughlin Engineers, 2008, V. 1

FENDRICH, ROBERTO. *Chuvas Intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná*, Curitiba, Editora Champagnat, 1998, 99 p.

FENDRICH, ROBERTO. *Canais de Drenagem em pequenas bacias hidrográficas*, Curitiba, O Autor, 2008, 121 p.,

GOULART, C.F. *Diagnóstico e zoneamento ambiental da represa alagados*. Ponta Grossa, 2001, 51 p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

PILATTI, FERNANDO ET. AL. *Bacia Hidrográfica do Manancial Alagados, relatório técnico*, NUCLEAM, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2002.

PINTO, NELSON L. DE SOUZA; HOLTZ, ANTONIO CARLOS TATIT; MARTINS, JOSE AUGUSTO; GOMIDE, FRANCISCO LUIZ SIBUT. *Hidrologia básica*. São Paulo: Editora Edgath Blücher Ltda, 1995, 278 p.

RAMOS, FÁBIO ET. AL. *Engenharia Hidrológica*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ – ABRH 1999, 404 p.

TUCCI, CARLOS E.M., PORTO, RUBEM La LAIANE BARROS, MÁRIO T.DE. *Drenagem Urbana ABRH* / Editora UFRGS, Porto Alegre, 1995.

VILLELA, SWANNI MARCONDES. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: Mc Graw- Will, 1977, 245 p.