

## EFEITO DA DISCRETIZAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL NA ESTIMATIVA DO HIDROGRAMA DE PROJETO

*Manuel José Mahunguana<sup>1\*</sup>; Juan Martín Bravo<sup>2</sup>; Rafael Kayser<sup>3</sup>; Felipe Mamedio<sup>4</sup>; Fernando Mainardi Fan<sup>5</sup>; Taison Bortolin<sup>6</sup>; Eliane Conterato<sup>7</sup>; Mino Viana Sorribas<sup>8</sup>; Carlos Echeverria<sup>9</sup>*

**RESUMO** --- Os custos econômicos e perdas potenciais de vidas humanas resultantes de falhas em infraestruturas hidráulicas podem ser consideráveis, aumentando a necessidade de procura de melhores métodos de dimensionamento hidrológico desses. O método de precipitação de projeto é um dos mais usados para a estimativa do hidrograma de projeto. Entretanto, esse método tem suas limitações e incertezas que podem influenciar o hidrograma de projeto resultante. No presente trabalho é apresentada uma análise preliminar do impacto da escolha da posição do pico do hietograma, do intervalo de tempo adotado no seu cálculo e da discretização espacial da bacia no hidrograma de projeto resultante. Os resultados sugerem que a variação da posição do pico do hietograma aumentou em 85% o pico dos hidrogramas. A discretização da bacia aumentou os mesmos em 10% e 47%, e o aumento do intervalo do tempo reduziu os mesmos em 13% e 25%.

**Palavras-chave:** Hidrograma de projeto, posição do pico, discretização.

## THE EFFECT OF SPACE AND TEMPORAL DISCRETIZATION ON DESIGN HYDROGRAPH ESTIMATION

**ABSTRACT** ---The economic costs and potential losses of human lives due to failure in hydraulic structures can be significant, calling for an improvement in techniques used for its design. The design storm approach is widespread used in formulating design hydrograph from historical rainfall data. Therefore, this approach has its uncertainties which can affect the resulted hydrograph. In this study is presented an assessment of the impact of the adopted value of the design rainfall peak position, the time steps used in its computing, and the spatial discretization of the watershed, on the design hydrograph. The results suggest that the variation of the rainfall peak position caused an average increase of 85% in hydrograph peak. The watershed discretization caused an average increase of 10% and 47%, and the time step caused a reduction of 13% and 25% in hydrograph peak, respectively.

**Keywords:** Design hydrograph, peak position, discretization.

## INTRODUÇÃO

O hidrograma de projeto é uma sequência temporal de vazões relacionadas a um risco de ocorrência, caracterizada pelo seu volume, distribuição temporal e seu pico, usada no dimensionamento de infraestruturas hidráulicas (Tucci, 2005). As melhores estimativas deste estão

<sup>1</sup>Mestrando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS (mahunguanamanuel@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor adjunto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS (jumarbra@iph.ufrgs.br)

<sup>3</sup> Mestrando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS (rafaelkayser@hotmail.com)

<sup>4</sup> Mestrando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS (fmp\_mamedio@hotmail.com)

<sup>5</sup> Mestrando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS (fernando.fan@ufrgs.br)

<sup>6</sup> Mestrando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS (taisonbortolin@yahoo.com.br)

<sup>7</sup> Mestrando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS (eliconterato@hotmail.com)

<sup>8</sup> Doutorando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) - UFRGS (mino\_vs@hotmail.com)

<sup>9</sup> Mestrando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS (echeverriacarlosy@gmail.com)

limitadas na disponibilidade de dados confiáveis (Smithers et al., 1997). Porém, na maioria das vezes, não existem dados de vazão nos locais de interesse (Quader e Asce, 2006; Smithers et al., 1997), sendo necessário estimar o hidrograma de projeto com base nos dados de precipitação.

Dentre os métodos usados para estimativa do hidrograma de projeto com base nos dados históricos de precipitação, os mais reportados na literatura são: o “*método de simulação contínua*” e o “*método de evento singular*”, também designado “*método de precipitação de projeto*”, ambos envolvendo a análise de frequência de dados hidrológicos e o uso de modelos de chuva-vazão (Akan e Houghtalen, 2003).

O *método de simulação contínua* exige a aplicação de modelos sofisticados, os quais necessitam de grande quantidade de dados de precipitação, e a simulação pode consumir muito tempo, principalmente quando pequenos intervalos de tempo são requeridos para garantir a precisão dos resultados. Essas limitações fazem com que o *método de precipitação de projeto* seja o mais utilizado em muitas aplicações de dimensionamento hidrológico de infraestruturas hidráulicas.

Entretanto, este método tem suas limitações e incertezas que podem influenciar as características do hidrograma de projeto resultante, incertezas que são, em consequência, transferidas ao dimensionamento hidráulico das obras propostas, podendo não apenas influenciar o seu custo, mas também o seu desempenho.

No presente trabalho é apresentada uma análise preliminar do impacto da escolha da posição do pico do hietograma de projeto, do intervalo de tempo adotado no seu cálculo, e da representação espacial da bacia, na estimativa do hidrograma de projeto em uma bacia hidrográfica.

## OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto dos valores adotados nos critérios de projeto durante o dimensionamento hidrológico de infraestruturas hidráulicas.

## METODOLOGIA

Para o alcance dos objetivos, foi considerada uma bacia hipotética com área total de 10 km<sup>2</sup> e coeficiente *CN* ponderado de 85. O período de retorno usado foi de 10 anos e as durações de precipitação foram de 90 minutos e 24 horas. As simulações foram feitas utilizando o programa IPHS1.

Em uma primeira fase a bacia foi considerada concentrada, onde para cada duração foram geradas através do *Método de Blocos Alternados*, hietogramas de projeto com os picos localizados no início, a 25%, a 50%, a 75% e no final da duração. Através do *Método da Curva Número do SCS*, foram calculadas precipitações efetivas, sendo posteriormente transformadas em vazão através do *Hidrograma Unitário Sintético Triangular SCS*. Assim, em total foram gerados dez hidrogramas considerando as cinco posições do pico da precipitação e as duas durações dos hietogramas. O intervalo de tempo utilizado foi de 5 minutos.

Em uma segunda fase, a bacia foi discretizada em duas sub-bacias, uma urbana com área de 5 km<sup>2</sup> e coeficiente *CN* de 95, e outra rural com área igual a 5 km<sup>2</sup> e coeficiente *CN* de 75. As sub-bacias afluíam, uma a montante e outra como aporte lateral de um trecho de canal retangular com

1000 metros de comprimento, 5 metros de largura do canal, 10 metros de altura, 0,015 de coeficiente de rugosidade de Manning e declividade de 1 metro por quilômetro.

Usando a mesma metodologia, para cada sub-bacia foram calculados os hidrogramas para as cinco posições do pico, propagados através do canal e somados, sendo os hidrogramas resultantes no exutório, avaliados. A propagação no canal foi feita através do modelo de Muskingum-Cunge Linear.

Os cálculos foram feitos para duas situações distintas:

- Posicionando a sub-bacia rural na cabeceira e a urbana como aporte lateral;
- Posicionando a sub-bacia urbana na cabeceira e a rural como aporte lateral;

Todo o procedimento foi repetido para quatro curvas IDF da cidade de Porto Alegre, RS, sendo que com o uso de cada curva foram ainda considerados dois tempos de concentração diferentes, conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 1- Tempos de concentração e curvas IDF utilizadas no estudo.

Descrição	Tempo de concentração em minutos							
	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc	Tc
Bacia Concentrada	40	60	40	60	40	60	40	60
Sub-bacia Rural	30	50	30	50	30	50	30	50
Sub-bacia Urbana	10	10	10	10	10	10	10	10
IDF	$i = \frac{826.8 \times T^{0.143}}{(t+13.3)^{0.79}}$		$i = \frac{1265.67 \times T^{0.052}}{(t+12)^{0.79}}$		$i = \frac{1297.9 \times T^{0.171}}{(t+11.6)^{0.85}}$		$i = \frac{509.859 \times T^{0.196}}{(t+10)^{0.72}}$	
Estação (Porto Alegre)	Aeroporto		Redenção		8° Distrito		IPH	

Para analisar o efeito do intervalo de tempo no hidrograma de projeto, foi feito um teste para as representações concentrada e discretizada com sub-bacia rural a montante e urbana como aporte lateral do canal. Foi considerada apenas a duração de 90 minutos, período de retorno de 10 anos, IDF do Aeroporto e tempos de concentração de 60, 50 e 10 minutos, para a bacia concentrada, sub-bacia rural e sub-bacia urbana, respectivamente. As simulações foram feitas para os intervalos de tempo constantes de 1, 4, 6 e 10 minutos, fixando o pico do hietograma no meio (posição 50%) da duração para todos os casos.

## RESULTADOS

Por causa das limitações de espaço no trabalho, foram ilustrados apenas gráficos dos hidrogramas resultantes da IDF do Areoporto (figuras 1, 2, 3 e 4). Contudo, os resultados das 4 IDF foram ilustrados em forma de tabela (tabela 3).

As Figuras 1, 2, e 3 apresentam os hidrogramas de projeto resultantes no exutório da bacia, para as cinco posições do pico do hietograma, três representações espaciais da bacia, duas durações de precipitação e um intervalo de tempo. A figura 4 apresenta os hidrogramas resultantes para duas representações espaciais, uma duração e quatro intervalos de tempo. Os detalhes dos dados usados para cada figura estão sumarizados na tabela 2.

Tabela 2- Dados usados para as simulações apresentadas nas quatro figuras.

Figura	Representação Espacial da Bacia	$t_c(min)$	$t_c(min)$	Duração	$\Delta t (min)$
1	Bacia concentrada	40 (linha tracejada)	60 (linha contínua)	90 e 24 h	5
2	Sub-bacia rural a montante e urbana no aporte lateral	Sub-bacia rural=30 Sub-bacia urbana=10 (linha tracejada)	Sub-bacia rural=50 Sub-bacia urbana=10 (linha contínua)	90 e 24 h	5
3	Sub-bacia urbana a montante e rural no aporte lateral	Sub-bacia rural=30 Sub-bacia urbana=10 (linha tracejada)	Sub-bacia rural=50 Sub-bacia urbana=10 (linha contínua)	90 e 24 h	5
4	Bacia concentrada e discretizada com sub-bacia rural a montante e urbana no aporte lateral	Bacia concentrada=60 Sub-bacia rural=50 Sub-bacia urbana=10		90	1, 4, 6 e 10
<b>IDF</b>	Aeroporto				

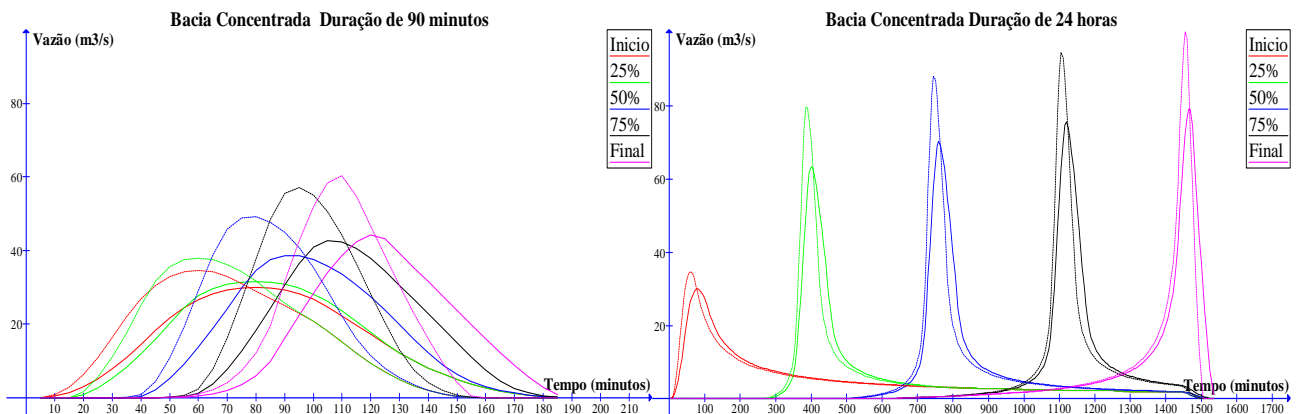


Figura 1 - Hidrogramas de projeto da bacia concentrada para as 5 posições do pico do hietograma de projeto, calculados com tempos de concentração de 60 minutos (linha contínua) e 40 minutos (linha tracejada), e período de retorno de 10 anos.

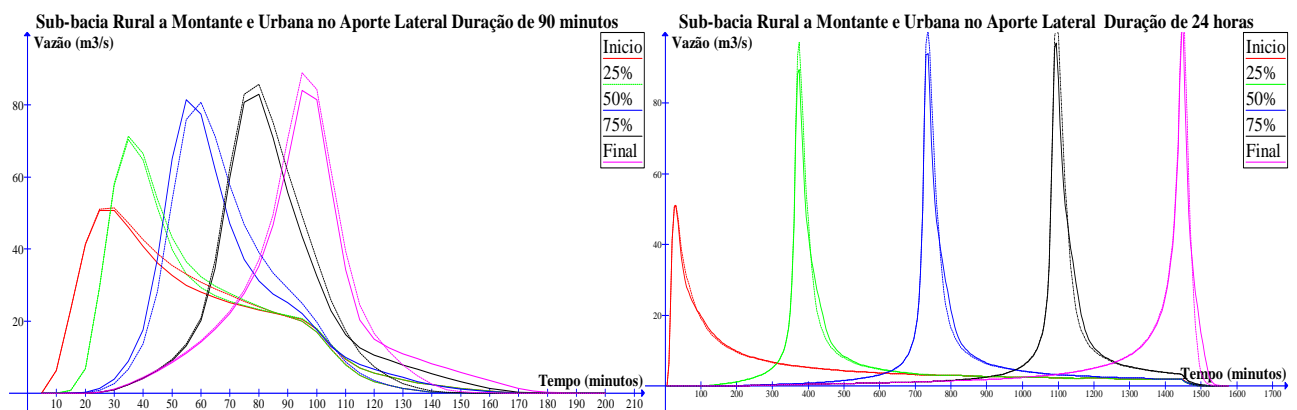


Figura 2 - Hidrogramas de projeto da bacia discretizada, para as 5 posições do pico do hietograma de projeto, calculados com tempos de concentração de 50 e 30 minutos (linha contínua) e 30 e 10 minutos (linha tracejada), para as sub-bacias rural e urbana, e período de retorno de 10 anos.

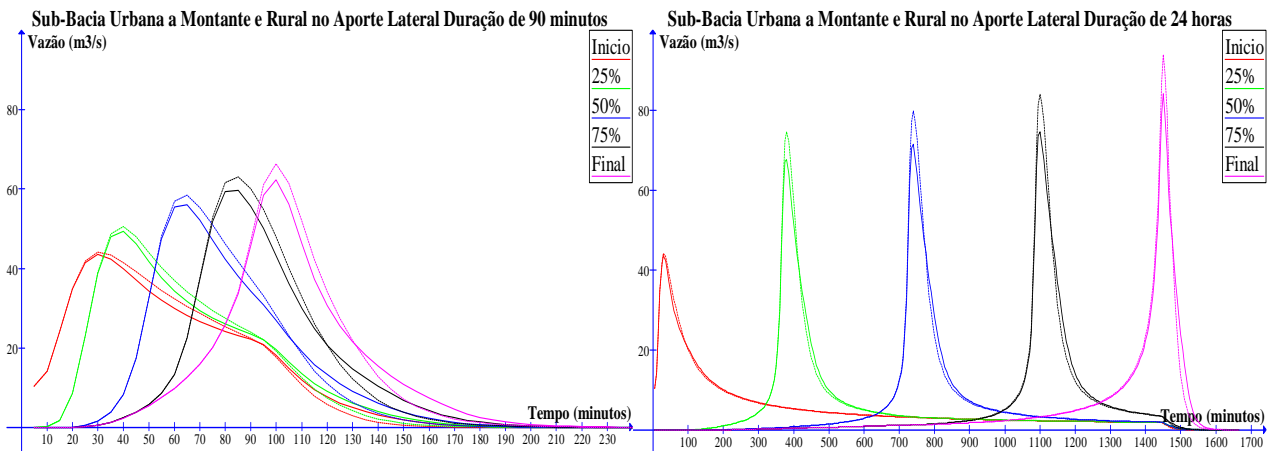


Figura 3 - Hidrogramas de projeto da bacia discretizada, para as 5 posições do pico do hietograma de projeto, calculados com tempos de concentração de 50 e 10 minutos (linha contínua) e 30 e 10 minutos (linha tracejada), paras as sub-bacias rural e urbana, e período de retorno de 10 anos.

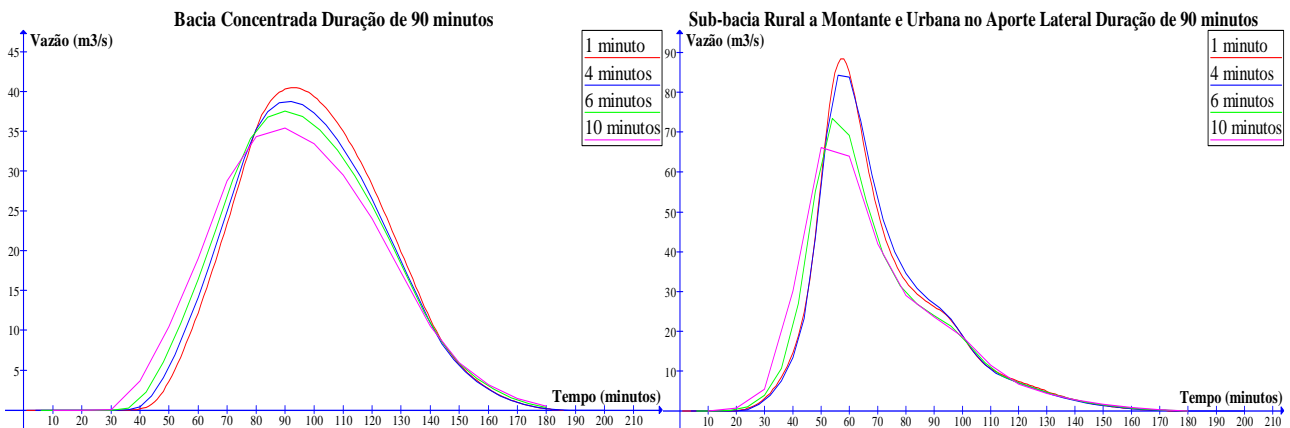


Figura 4 - Hidrogramas de projeto resultantes no exutório da bacia, para as representações concentrada (a) e discretizada (b), com o pico do hietograma fixo no meio da duração (posição 50%) e intervalos de tempo de 1, 4, 6 e 10 minutos.

Na tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos para as quatro curvas IDF usadas no estudo. Para cada posição do pico do hietograma, são apresentados o pico do hidrograma resultante (parte superior) e o seu respectivo tempo de pico (parte inferior).

Tabela 3- Picos e tempos de pico dos hidrogramas de projetos para as diferentes representações espaciais.

Qmax (m3/s) e Tempo de pico da Vazão (minutos)	Posição de pico do hietograma; Tr=10 anos; duração de 90 minutos					Posição de pico do hietograma; Tr=10 anos; duração de 24 horas					IDF
	início	25%	50%	75%	fim	início	25%	50%	75%	fim	
Representação espacial da bacia	início	25%	50%	75%	fim	início	25%	50%	75%	fim	$i = \frac{826,8 \times T^{0,143}}{(t + 13,3)^{0,79}}$
	Concentrada (tc=60 min)	30,03	31,57	38,62	42,71	44,17	30,03	63,47	70,33	75,6	
	80	80	90	105	120	80	400	760	1120	1465	
Sub-rural a montante (tc=50,10)	50,65	70,3	81,31	82,91	83,84	50,65	89,53	94,11	97,01	102,31	
	30	35	55	80	95	30	375	735	1095	1445	
Sub-bacia urbana a montante (tc=50,10)	43,57	49,49	56,09	59,65	62,42	43,57	67,66	71,46	74,64	84,15	
	30	40	65	85	100	30	380	740	1100	1450	
Concentrada (tc=40)	34,68	37,92	49,12	57,13	60,39	34,68	79,55	88,07	94,65	100,09	
	60	60	80	95	110	60	385	745	1105	1455	
Sub-Rural a montante (tc=30, 10)	51,31	71,29	80,66	85,65	88,9	51,31	97,26	101,92	105,31	109,68	
	30	35	60	80	95	30	75	735	1095	1450	
Sub-bacia urbana a montante (tc=30, 10)	44,12	50,64	58,44	63,01	66,41	44,12	74,65	79,84	84,04	93,85	
	30	40	65	85	100	30	380	740	1100	1450	
Concentrada (tc=60 min)	45,61	48,63	59,32	65,08	66,46	45,61	90,54	98,2	103,96	105,57	
	75	75	90	105	120	75	400	760	1120	1465	
Sub-rural a montante (tc=50,10)	71,45	95,39	105,15	110,58	113,63	71,45	117,61	121,14	123,63	128,08	
	25	35	60	75	95	25	375	735	1095	1450	
Sub-bacia urbana a montante (tc=50,10)	57,97	61,85	69,09	73,4	76,85	57,97	83,38	87,78	91,22	102,5	
	30	40	65	85	100	30	380	740	1100	1450	
Concentrada (tc=40)	53,57	59,82	75,97	86,57	90,05	53,57	114,21	123,73	130,91	133,74	
	55	55	75	95	110	55	385	745	1105	1455	
Sub-Rural a montante (tc=30, 10)	72,35	97,12	108,41	113,83	113,58	72,35	125,9	129,82	132,6	138,62	
	25	35	60	80	95	25	375	735	1095	1455	
Sub-bacia urbana a montante (tc=30, 10)	59,54	64,4	73,36	79,08	83,19	59,54	93,44	99,24	103,78	114,8	
	30	40	65	85	100	30	380	740	1100	1450	

$$i = \frac{1265,67 \times T^{0,052}}{(t + 12)^{0,79}}$$

Concentrada (tc=60 min)	48,8	52,86	63,26	68,91	70,67	48,8	89,4	95,99	101,34	107,02	$i = \frac{1297,9 \times T^{0,171}}{(t + 11,6)^{0,85}}$
	70	70	90	105	120	70	400	760	1120	1470	
Sub-rural a montante (tc <sup>10</sup> =50,10)	81,22	106,36	115,99	122,11	121,92	81,22	125,26	127,78	129,92	134,27	
	25	35	55	75	95	25	375	735	1095	1450	
Sub-bacia urbana a montante (tc=50,10)	63,82	65,08	71,37	75,18	78,96	63,82	82,29	85,3	88,08	99,96	
	30	40	65	85	100	30	380	740	1100	1450	
Concentrada (tc=40)	58,72	66,74	82,48	92,06	97,23	58,72	114,97	123,32	130,14	137,1	
	50	50	75	95	110	50	385	745	1105	1460	
Sub-Rural a montante (tc <sup>11</sup> =30, 10)	82,61	109,25	119,04	123,77	123,8	82,61	132,41	135,45	137,83	144,19	
	25	35	60	80	100	25	375	735	1095	1450	
Sub-bacia urbana a montante (tc=30, 10)	65,99	68,17	75,99	80,96	85,07	65,99	91,32	95,7	99,51	111,92	
	30	40	65	85	100	30	380	740	1100	1450	
Concentrada (tc=60 min)	28,94	30,28	37,19	41,42	42,75	28,94	66,43	74,26	79,8	80,69	$i = \frac{509,859 \times T^{0,196}}{(t + 10)^{0,72}}$
	85	85	95	105	120	85	400	760	1120	1465	
Sub-rural a montante (tc=50,10)	47,29	66,42	78,41	79,74	80,38	47,29	90,27	94,26	97,31	101,2	
	30	35	55	80	95	30	370	735	1095	1445	
Sub-bacia urbana a montante (tc=50,10)	41,31	47,5	54,35	58,27	60,98	41,31	68,61	73,47	77,03	85,77	
	30	40	65	80	100	30	380	740	1100	1450	
Concentrada (tc=40)	32,7	35,55	46,96	55,26	58,27	32,7	82,67	92,33	99,2	101,03	
	60	60	80	95	110	60	385	745	1105	1455	
Sub-Rural a montante (tc=30, 10)	47,79	67,2	77,11	82,36	85,19	47,79	97,31	102,54	106,08	109,45	
	30	35	60	80	95	30	375	735	1095	1450	
Sub-bacia urbana a montante (tc=30, 10)	41,75	48,49	56,54	61,37	64,89	41,75	76,41	82,7	87,39	95,6	
	30	40	65	85	100	30	380	740	1100	1450	

<sup>10</sup> Tempo de concentração de 50 minutos para sub-bacia rural e 10 minutos para a sub-bacia urbana

<sup>11</sup> Tempo de concentração de 30 minutos para sub-bacia rural e 10 minutos para a sub-bacia urbana

## CONCLUSÕES

Dos resultados apresentados acima (4 curvas IDF) é possível concluir que os picos e tempos de pico dos hidrogramas de projeto resultantes aumentaram à medida que o pico do hietograma usado era deslocado para a direita do intervalo de tempo, chegando a atingir um aumento médio de 85% entre as posições inicial e final.

Em todas as 4 IDF, para as mesmas posições do pico do hietograma, a discretização da bacia em sub-bacias causou aumento nos picos dos hidrogramas resultantes e reduziu os tempos de pico, tendo em média aumentado os mesmos em 10% para a discretização com sub-bacia urbana a montante e rural no aporte lateral, e em 47% para a discretização com sub-bacia rural a montante e urbana no aporte lateral,

O aumento do intervalo de tempo usado no cálculo causou o amortecimento dos picos dos hidrogramas de projeto, tendo em média reduzido os mesmos em 13% na representação concentrada e em 25% na representação discretizada com sub-bacia rural a montante e urbana no aporte lateral, para a IDF do aeroporto,

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAN, A, O., HOUGHTALEN R, J, 2003, *Urban Hydrology, Hydraulics and Stormwater Quality: Engineering Applications and Computer Modelling*, JohnWiley & Sons, Inc,USA, Cap,2, p.16-17.

QUADER A., Y, G, M, 2006, Peak Discharge Estimation Using Analytical Probabilistic and Design Storm Approaches, J, Hydrol, Eng,11:46-54, 1 p,

SMITHERS J., SCHULZE R., KIENZLE S, 1997, Design Flood Estimation Using A Modelling Approach: A Case Study Using The Acru Model, Iahs, Publ, 240, 1 p,

TUCCI, C, E, M, 2005, Modelos Hidrológicos, Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 415 p,