

Capítulo 114

Método de Snyder

Capítulo 114- Método de Snyder

114.1 Introdução

Segundo prof. dr. Victor M. Ponce, o método de Snyder foi o primeiro hidrograma unitário sintético que foi feito no mundo em 1938 por F.F. Snyder.

O método de Snyder foi feito para bacias muito grandes e foi baseado nas bacias das montanhas dos Apalaches nos Estados Unidos.

Chow, 1988 sugere que o Método de Snyder é para bacias de 30km^2 a 30.000km^2 .

McCuen, 1998 recomenda a **calibração dos coeficientes**.

Quando não temos medidas para calibrar a bacia, é **recomendado que se use uma bacia perto ou similar de onde são conhecidos os coeficientes**.

114.2 Hidrograma unitário sintético de Snyder

A Figura (114.1) mostra um esquema da área onde podemos ver que o comprimento do talvegue L vai da seção de controle até o final da bacia e que o comprimento L_c vai da seção de controle até o centro de toda a area da bacia.

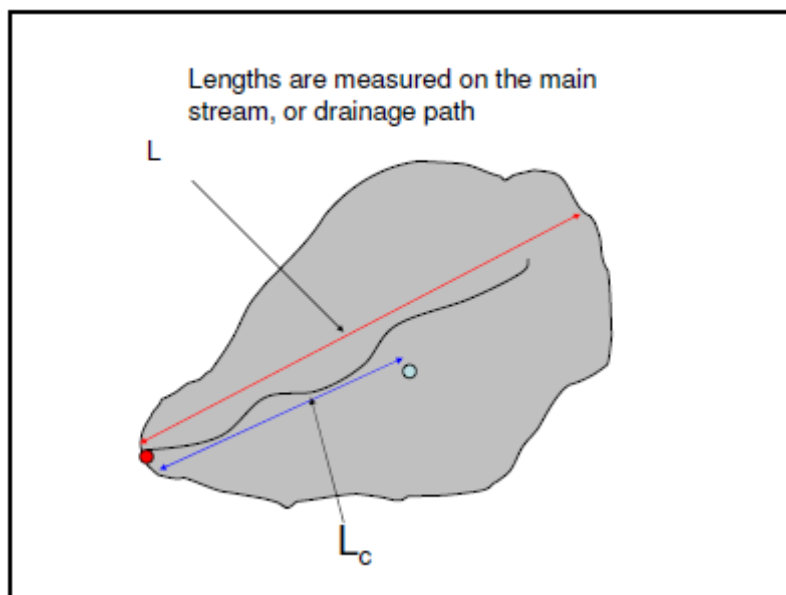


Figura 114.1- Esquema dos dados de entrada para o método de Snyder

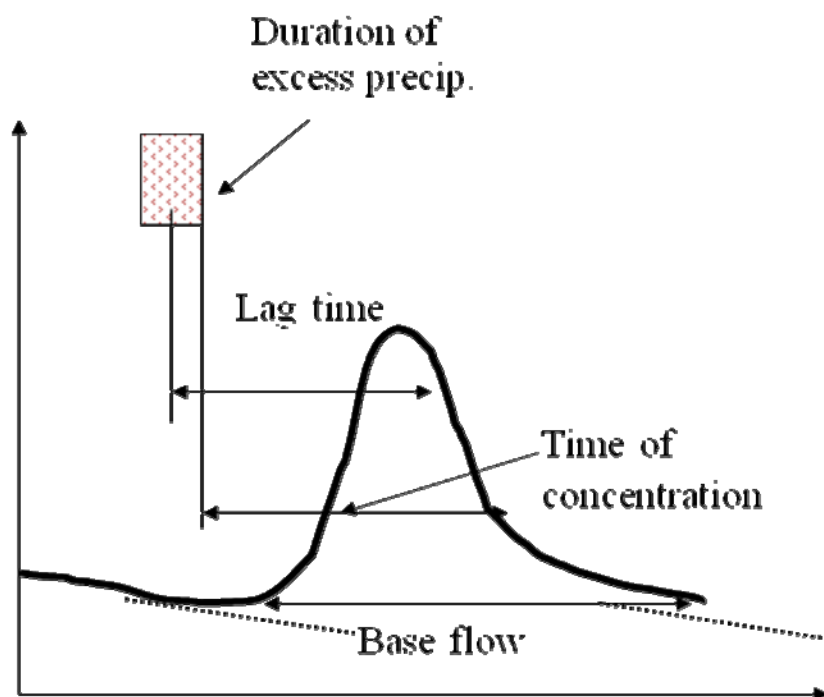


Figura 114.1- Representação gráfica

Dica: o método de Snyder precisa de 5 (cinco) dados de entrada:

1. Área da bacia (km²),
2. L=comprimento total do talvegue (km),
3. Lo=comprimento do centroide até a seção de controle
4. Coeficiente Ct
5. Coeficiente Cp

Conforme McCuen, 1998 o método de Snyder prevê as seguintes equações:

$$t_L = 0,75 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_o)^{0,3}$$

Sendo:

t_L = tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrógrafa (h).

C_t = coeficiente empírico de armazenamento na bacia e varia de 1,35 a 1,65 com média 1,5 para unidades SI. *McCuen, 1998 cita que os valores típicos de C_t estão na faixa de 1,8 a 2,2.*

Nota: para as condições brasileiras o prof. dr. Kokei Uehara informa que o coeficiente C_t varia entre 0,8 a 2,0 com uma média de 1,4 para as áreas estudadas.

L= comprimento do talvegue (km)

Lo= comprimento do centro da bacia no ponto perto do talvegue até a seção de controle (km)

Valor 0,75= C_1 e para unidades inglesas $C_1=1,00$ (Nota: alguns autores esquecem do valor 0,75)

Cuidado: Ponce, 1989 ressalta que Ct depende da unidade adotada.

$$t_L = 0,75 \cdot Ct \cdot (L \cdot Lo)^{0,3}$$

A duração padrão do escoamento superficial é achada empiricamente pela equação:

$$t_d = t_L / 5,5$$

Sendo:

t_d = duração padrão (h)

t_L = tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrógrafa (h).

Em inglês é chamado de *time lag*.

Para as condições brasileiras o prof. dr. Kokei Uehara adota:

$$t_d = t_L / 4,0$$

Os valores ajustados de t_{La} para outras durações de chuva excedente pode ser obtido por:

$$t_{La} = t_L + 0,25 (t_{da} - t_d)$$

Sendo:

t_{da} = duração alternativa do hidrograma unitário (h). É a duração da chuva excedente (**Cuidado não errar !**).

t_L = tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrógrafa (h).

t_d = duração padrão (h)

t_{La} = valor ajustado (h)

O tempo de pico t_p é achado da seguinte maneira:

$$t_p = t_{La} + 0,5 t_{da}$$

Sendo:

t_p = tempo de pico (h)

t_d = duração padrão (h)

t_{La} = valor ajustado (h)

A vazão de pico Q_p será:

$$Q_p = 2,75 \times C_p \times A / t_{La}$$

Sendo:

Q_p = vazão de pico ($m^3/s/cm$)

A = área da bacia (km^2)

t_{La} = valor ajustado (h)

C_p = coeficiente empírico entre 0,56 a 0,69 conforme Ponce, 1989.

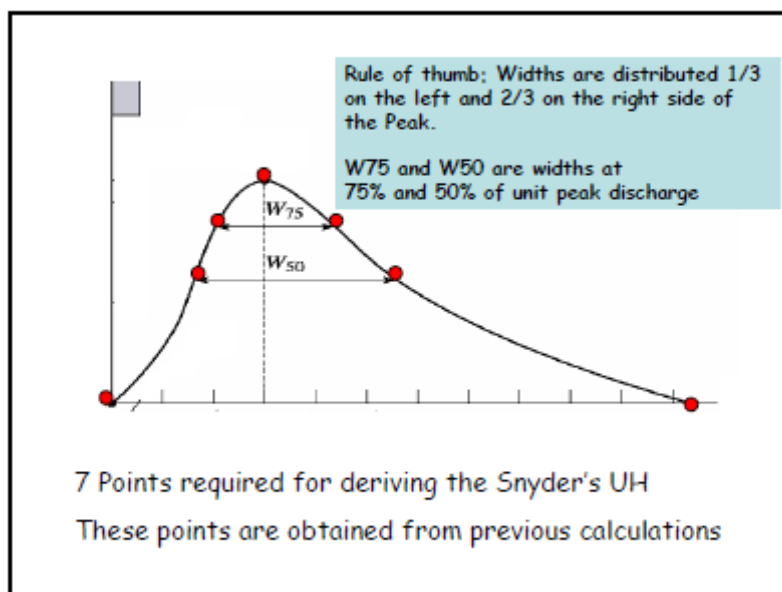
Uehara para bacias rurais em São Paulo achou $C_p = 0,67$.

O SCS usa $C_p = 0,75$.

Nota: os valores C_p e C_t são parâmetros regionais que devem ser calibrados ou obtidos em bacias simulares que possuam medições;

Ponce, 1989 recomenda expressamente que os coeficientes C_t e C_p são determinadados em base regional.

Para desenhar o hidrograma unitário sintético, Snyder criou dois parâmetros W_{50} e W_{75} que representam a largura do hidrograma unitário sintético para vazões 50% do pico e 75% do pico.



Conforme Porto et al, 1999 teremos:

$$W_{50} = 2,14 (A/Q_p)^{1,08}$$
$$W_{75} = 1,22 (A/Q_p)^{1,08}$$

Sendo:

A = área da bacia (km^2)

Q_p = vazão de pico ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

W_{50} = largura do hidrograma unitário para 50% da vazão de pico em horas

W_{75} = largura do hidrograma unitário para 75% da vazão de pico em horas

Como regra prática as larguras W_{50} e W_{75} são proporcionais para cada lado do pico de vazão na razão de 1:3, sendo o trecho menor no lado esquerdo do hidrograma unitário sintético.

McCuen, 1998 usa para tb.

$$tb = 3 \text{ dias} + 3 \cdot T_{LA}/24 \text{ (dias)}$$

$$tb = 3 \text{ dias} + T_{LA}/8 \text{ (dias)}$$

Sendo:

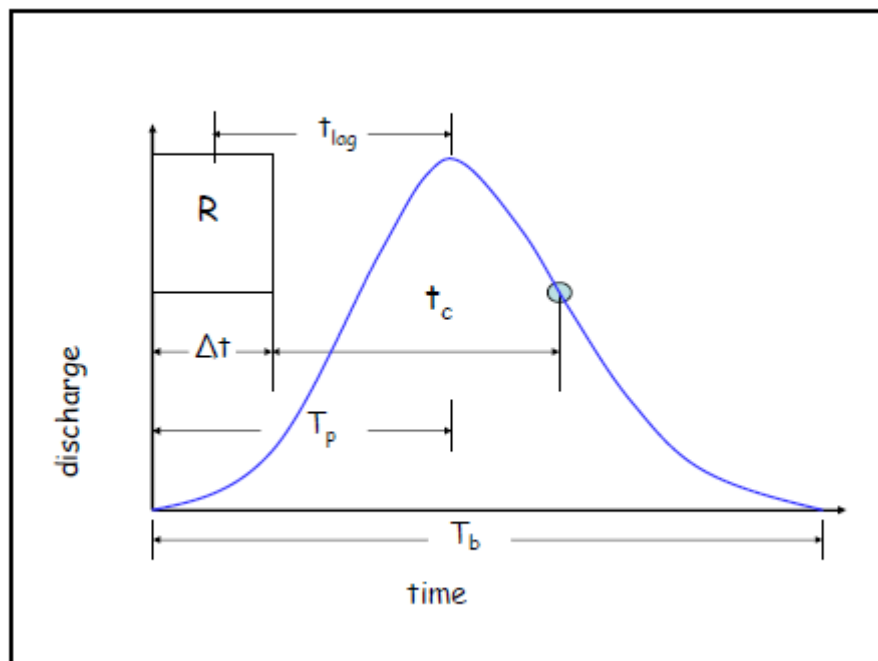
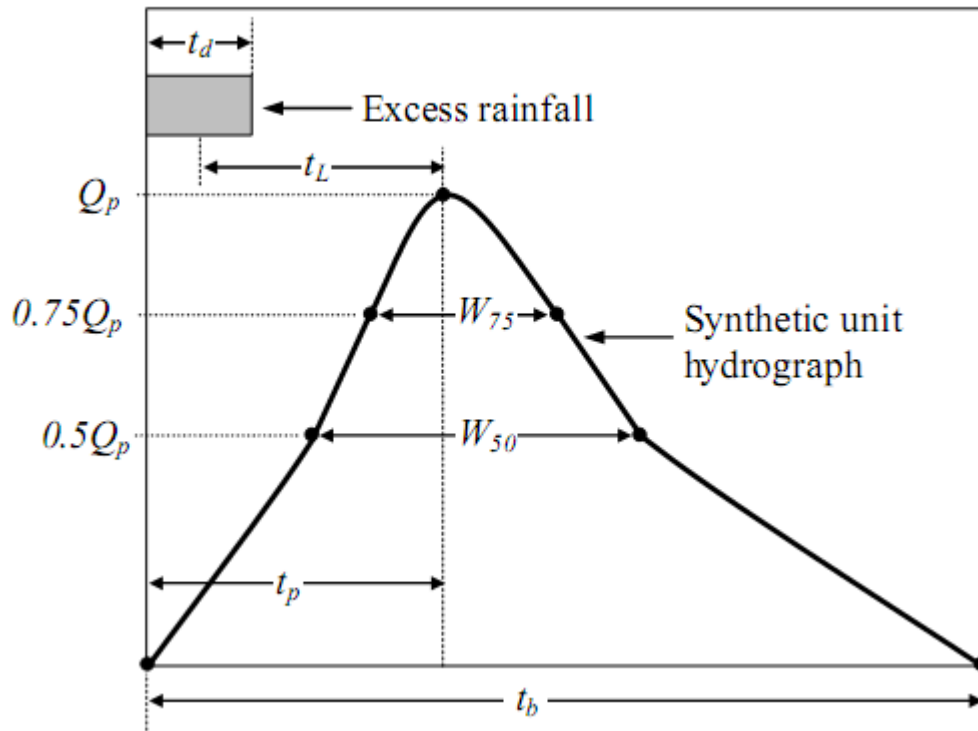
tb = tempo base (dias)

t_L = tempo do centroide até a seção de controle (h)

Quando a área é pequena costuma-se usar $tb = 5tp$. Infelizmente não é definido o que é área pequena.

A chuva excedente é considerada de 1cm, que deve ser multiplicado pelos valores obtidos no hidrograma unitário sintético.

Porto, recomenda que quando a bacia é grande usamos os 7 pontos para traçar o hidrograma, mas quando a bacia é pequena usamos somente 3 pontos.



Para se desenhar o hidrograma unitário pelo método de Snyder temos que usar os sete pontos:

Tabela 114.1- Localização dos sete pontos para traçar o hidrograma unitario pelo método de Snyder

Ponto	Abcissa	Ordenada
1	0	0
2	$t_{La} - (1/3)W_{50}$	0,5Qp
3	$t_{La} - (1/3)W_{75}$	0,75Qp
4	t_{La}	Qp
5	$t_{La} + (2/3)W_{75}$	0,75Qp
6	$t_{La} + (2/3)W_{50}$	0,50Qp
7	tb	0

114.3 Equações de chuvas intensas

Deverá ser usada a equação de chuvas intensas local.

114.4 Hietograma de chuva

Na Figura (141.1) temos quatro distribuições de Huff, 1990 sendo recomendado o seguinte:

- primeiro quartil para chuvas menores ou igual a 6h;
- segundo quartil para chuvas de 6,1h a 12h;
- terceiro quartil para chuvas entre 12,1h e 24h e o
- quarto quartil para chuvas maiores que 24h.

Dica: conforme Huff, 1990 pela duração da chuva + 30% achamos o quartil que queremos.

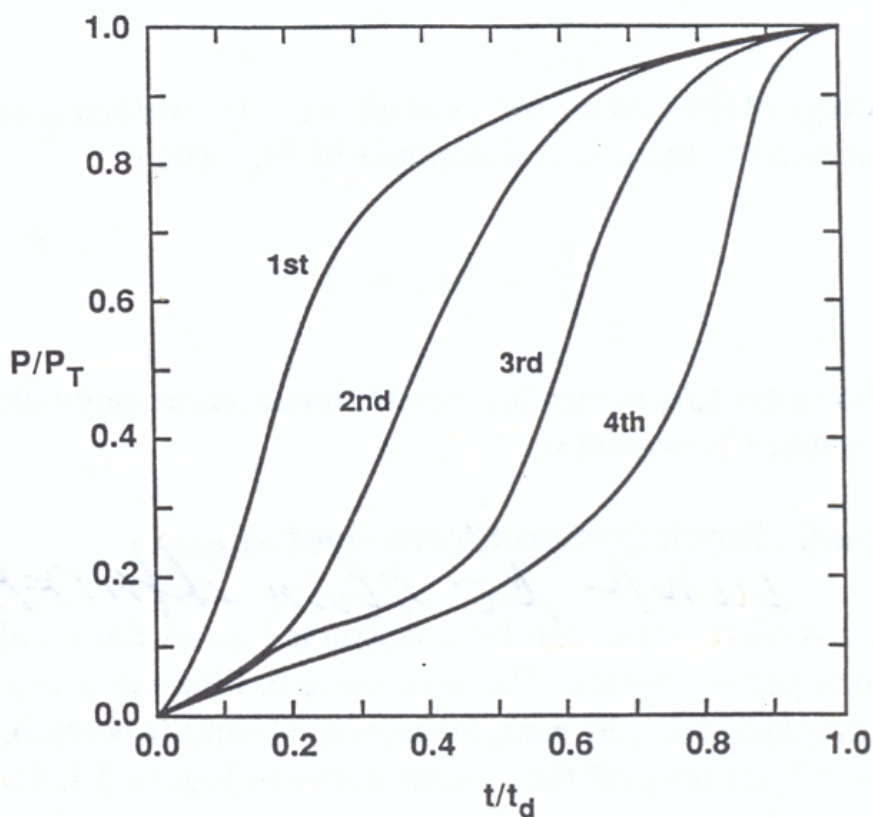


Figura 141.1- Hietograma de Huff no primeiro quartil, segundo quartil, terceiro quartil e quarto quartil. Fonte: Akan

A duração da chuva deve ser no mínimo 25% a 30% do tempo de concentração. Então se o tempo de concentração for de 15h a duração da chuva será $15h \times 1,3=19,5h$. Portanto, adotaremos a curva de Huff no terceiro quartil, ou seja, QIII que vai de chuva de 12,1h até 24h e que está na Tabela (114.1).

Tabela 114.1- Curvas acumuladas de Huff para os quartis: I, II, III e IV

% Storm time	% Cumulative storm rain			
	QI	QII	QIII	QIV
0	0	0	0	0
5	16	3	3	2
10	33	8	6	5
15	43	12	9	8
20	52	16	12	10
25	60	22	15	13
30	66	29	19	16
35	71	39	23	19
40	75	51	27	22
45	79	62	32	25
50	82	70	38	28
55	84	76	45	32
60	86	81	57	35
65	88	85	70	39
70	90	88	79	45
75	92	91	85	51
80	94	93	89	59
85	96	95	92	72
90	97	97	95	84
95	98	98	97	92
100	100	100	100	100

Na Tabela (114.1) de Huff dos quatro quartis podemos observar que tempos na coluna a esquerda os tempos que vai de 0 a 100% e para cada caso adotado tempos os valores acumulados que será adotado para achar a chuva excedente com o número CN que é o mais usado.

114.5 Chuva excedente pelo número da curva CN

Praticamente todos os métodos usam para calcular a chuva excedente o número da curva CN

Conforme TR-55 do SCS de 1986 o método do número CN da curva de runoff é fornecido pela equação:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Sendo:

Q= runoff ou chuva excedente (mm);

P= precipitação (mm);

I_a = abstração inicial (mm) e

S= potencial máximo de retenção após começar o runoff (mm).

A abstração inicial I_a representa todas as perdas antes que comece o runoff. Inclui a água retida nas depressões da superfície e interceptada pela vegetação, bem como, a água evaporada e infiltrada.

Empiricamente foi determinado nos Estados Unidos pela SCS que I_a é aproximadamente igual a :

$$I_a = 0,2 S \quad ($$

Substituindo o valor de I_a obtemos:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad \text{válida quando } P > 0,2 S$$

$$\text{sendo } S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Quando P < 0,2 S, o valor de Q=0.

Exemplo 114.1 – Como achar a chuva excedente Q baseada no numero da curva CN

Estimativa do runoff Q

Nota: usa hietograma acumulado

- $Q = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S)$
- Q= runoff ou chuva excedente (mm)
- P= precipitação (mm)
- S= potencial máximo de retenção após começar o runoff (mm)
- Condição: $P > 0,2S$
- $S = 25400 / CN - 254$ (EMPIRICO: Cuidado não errar usando polegada !)

362

Chuva excedente : Q em cm

minutos	HUFF 1. Q (%)	Precipitação	Acumulado	Chuva excedente Q	Q por faixa	Q por faixa
		por faixa		acumulada		
		mm	mm	mm	mm	cm
10	0,132	10,5	10,5	0,0	0,0	0,00
20	0,274	21,8	32,3	6,1	6,1	0,61
30	0,208	16,5	48,8	15,8	9,6	0,96
40	0,116	9,2	58,1	22,1	6,3	0,63
50	0,071	5,6	63,7	26,2	4,1	0,41
60	0,053	4,2	67,9	29,4	3,2	0,32
70	0,046	3,7	71,6	32,2	2,8	0,28
80	0,028	2,2	73,8	34,0	1,7	0,17
90	0,024	1,9	75,7	35,5	1,5	0,15
100	0,024	1,9	77,6	37,0	1,5	0,15
110	0,016	1,3	78,9	38,0	1,0	0,10
120	0,008	0,6	79,5	38,6	0,5	0,05
	1,000	79,5			38,6	3,86

361

Chuva excedente Q

com CN=67 exemplo

- $Q = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S)$
- $S = 25400 / CN - 254 = 25400 / 82,5 - 254 = 53,88 \text{ mm}$
- $0,2S = 0,2 \times 53,88 = 10,78 \text{ mm}$
- $0,8S = 0,8 \times 53,88 = 43,10 \text{ mm}$
- $Q = (P - 10,78)^2 / (P + 43,10)$
- Se $P \leq 10,78$ então $Q = 0$
- Nota: P é o acumulado !!! (truque)
- Exemplo: primeira linha $P = 10,4 \text{ mm}$
- Como $P = 10,4 \text{ mm} < 10,78$ então $Q = 0$

363

Chuva excedente

- Segunda linha:
 - P acumulado= 32,3mm
 - $Q = (P - 10,78)^2 / (P + 43,10)$
 - $Q = (32,3 - 10,78)^2 / (32,3 + 43,1) = 6,1\text{mm}$
- Terceira linha:
 - P acumulado= 48,8mm
 - $Q = (P - 10,78)^2 / (P + 43,1)$
 - $Q = (48,8 - 10,78)^2 / (48,8 + 43,1) = 15,8\text{mm}$

114.6 Convolução

Convolução é a operação de duas funções: P da chuva excedente e U do hidrograma unitário resultando numa terceira função Q do runoff.

Todos os métodos de calculo que usam o hidrograma unitario necessitam para obter os resultados de se fazer a CONVOLUÇÃO.

Assim a convolução é usada nos métodos: SCS, Snyder, Clark, Denver, Espey e outros.

SCS

Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10	Col 11	Col 12	Col 13	Col 14	Col 15	Col 16	Col 17
Tempo (min)	Hidrograma unitário (m ³ /s/cm)	Chuva excedente em cm devido a chuva de 2h obtida pelo numero da curva CN=83,5													Vazão de base (m ³ /s)	Hidrograma (m ³ /s)
		0,000	0,614	0,962	0,635	0,413	0,318	0,282	0,174	0,151	0,152	0,102	0,051	3,9		
0	0,00	0,00												0,00	0,5	0,50
10	1,47	0,00												0,00	0,5	0,50
20	4,75	0,00	0,90											0,90	0,5	1,40
30	8,88	0,00	2,91	1,41										4,32	0,5	4,82
40	10,20	0,00	5,45	4,56	0,93									10,95	0,5	11,45
50	9,19	0,00	6,26	8,54	3,01	0,61								18,42	0,5	18,92
60	7,03	0,00	5,64	9,81	5,63	1,96	0,47							23,51	0,5	24,01
70	4,41	0,00	4,32	8,83	6,47	3,67	1,51	0,41						25,21	0,5	25,71
80	2,92	0,00	2,71	6,76	5,83	4,21	2,83	1,34	0,26					23,93	0,5	24,43
90	2,00	0,00	1,79	4,24	4,46	3,79	3,25	2,51	0,83	0,22				21,09	0,5	21,59
100	1,33	0,00	1,23	2,81	2,80	2,90	2,92	2,88	1,55	0,72	0,22			18,03	0,5	18,53
110	0,89	0,00	0,81	1,92	1,85	1,82	2,24	2,59	1,78	1,34	0,72	0,15		15,24	0,5	15,74
120	0,58	0,00	0,54	1,28	1,27	1,21	1,40	1,99	1,60	1,54	1,35	0,49	0,08	12,74	0,5	13,24
130	0,39	0,00	0,36	0,85	0,84	0,83	0,93	1,25	1,23	1,39	1,55	0,91	0,24	10,37	0,5	10,87
140	0,26	0,00	0,24	0,56	0,56	0,55	0,64	0,82	0,77	1,06	1,40	1,04	0,46	8,10	0,5	8,60
150	0,18	0,00	0,16	0,38	0,37	0,37	0,42	0,57	0,51	0,67	1,07	0,94	0,52	5,97	0,5	6,47
160	0,12	0,00	0,11	0,25	0,25	0,24	0,28	0,37	0,35	0,44	0,67	0,72	0,47	4,16	0,5	4,66
170	0,08	0,00	0,07	0,17	0,17	0,16	0,19	0,25	0,23	0,30	0,44	0,45	0,36	2,79	0,5	3,29
180	0,05	0,00	0,05	0,11	0,11	0,11	0,12	0,16	0,15	0,20	0,30	0,30	0,23	1,86	0,5	2,36
190	0,03	0,00	0,03	0,08	0,07	0,07	0,08	0,11	0,10	0,13	0,20	0,20	0,15	1,25	0,5	1,75
200	0,00	0,00	0,02	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,09	0,14	0,14	0,10	0,83	0,5	1,33
210	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,09	0,09	0,07	0,54	0,5	1,04
220	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06	0,05	0,34	0,5	0,84
230	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,21	0,5	0,71

Convolução

- Para obter a coluna 4 começar do tempo de 20min, por exemplo, e temos o valor $1,46\text{m}^3/\text{s}$ e abaixo $4,75\text{m}^3/\text{s}$ e mais abaixo $8,88\text{m}^3/\text{s}$
- $1,47\text{m}^3/\text{s} \times 0,614\text{cm} = 0,90\text{m}^3/\text{s}$
- $4,75\text{m}^3/\text{s} \times 0,614\text{cm} = 2,91\text{m}^3/\text{s}$
- $8,88\text{m}^3/\text{s} \times 0,614\text{cm} = 5,45\text{m}^3/\text{s}$

396

As chuvas excedentes chamaremos de P e então teremos os valores P1, P2..ate P12.

O primeiro valor de P1=0,0, o segundo será P2= 0,614 cm, o terceiro será: P3=0,962 cm e assim sucessivamente até P12= 0,051cm. A somatoria dos P1 + P2 +P12= 3,9 cm conforme mostra a tabela em anexo.

Os valores U1, U2 ... são os obtidos no hidrograma unitario com o espaçamento desejado. No exemplo o espaçamento é de 10 em 10 minutos. Então U1=0,00 e depois U2=1,47 U3=4,75 etc.

Como os valores da função P e U começam com zero, vamos começar os calculos

$$Q1= U1 \times P1= 0 \times 0 =0$$

$$Q2= U2 \times P2= 1,47 \times 0,614 =0,90\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q3= U3 \times P2= 4,75 \times 0,614= 2,91 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q4= U4 \times P2= 8,88 \times 0,614= 5,45\text{m}^3/\text{s}$$

e assim por diante.

Depois passamos para outra coluna do P3=0,962 e fazemos tudo novamente, só que damos uma defazada de 10min.

e assim por diante

No final somamos as linhas e obtemos o hidrograma final.

Se a bacia for rural podemos adicionar a vazão base que poder ser estimativa em até 10% da vazão total, Caso seja uma area muito urbanizada não consideramos a vazão base.

114.7 Interpolação linear

A fim de se evitar trabalho manual usamos muito a interpolação linear conforme Tabela (114.2).

Vamos supor que queremos os valores de QIII de Huff para o terceiro quartil. Supondo que a duração da chuva seja de 24h e o intervalo escolhido por nós seja de 1h.

Primeiramente vamos preencher as colunas 1 e 2.

Coluna 1: obtida multiplicando o valor da tabela QIII de Huff por 24horas.

Assim para a primeira linha teremos: $0 \times 24 = 0$

Para a segunda linha teremos: $24h \times 5/100 = 1,2$

Para a terceira linha teremos: $24h \times 10/100 = 2,4$

E assim por diante

Coluna 2

É só repetir os valores acumulados de Huff em QIII.

Coluna 3

Vazio

Coluna 4

São os valores que queremos de 0, 1, 2, até 24h

Coluna 5

Na primeira linha de $E4 = \text{CORRESP}(D4; \$A\$4: \$A\$24)$

Coluna 6

São os valores obtidos interpolados

$F4 = D4 - \text{ÍNDICE}(\$A\$4: \$A\$24;$

$E4 + 1) * \text{ÍNDICE}(\$B\$4: \$B\$24; E4) / (\text{ÍNDICE}(\$A\$4: \$A\$24; E4) -$

$\text{ÍNDICE}(\$A\$4: \$A\$24; E4 + 1)) + (D4 -$

$\text{ÍNDICE}(\$A\$4: \$A\$24; E4) * \text{ÍNDICE}(\$B\$4: \$B\$24; E4 + 1) / (\text{ÍNDICE}(\$A\$4: \$A\$24;$
 $E4 + 1) - \text{ÍNDICE}(\$A\$4: \$A\$24; E4))$

Tabela (114.2)- Uso do Excel para interpolação linear

Tempo (h)	Hietograma acumulado em %		imput	index	calc
Coluna1	Coluna2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Couna 6
A4=0,0	B4=0,0		D4=0	E4=1	F4=0,00
1,2	3,0		1	1	2,50
2,4	6,0		2	2	5,00
3,6	9,0		3	3	7,50
4,8	12,0		4	4	10,00
6,0	15,0		5	5	12,50
7,2	19,0		6	6	15,00
8,4	23,0		7	6	18,33
9,6	27,0		8	7	21,67
10,8	32,0		9	8	25,00
12,0	38,0		10	9	28,67
13,2	45,0		11	10	33,00
14,4	57,0		12	11	38,00
15,6	70,0		13	11	43,83
16,8	79,0		14	12	53,00
18,0	85,0		15	13	63,50
19,2	89,0		16	14	73,00
20,4	92,0		17	15	80,00
21,6	95,0		18	16	85,00
22,8	97,0		19	16	88,33
A24=24,0	B24=100,0		20	17	91,00
			21	18	93,50
			22	19	95,67
			23	20	97,50
			24	21	100,00

Observar que na coluna 6 obtivemos 0; 2,5 ; 5% e assim por diante até chegar a 100%.

Para obtermos o valor em fração é só dividir os valores da coluna 6 por 100. Os valores em fração é usado em nosso modela para achar a chuva excedente Q em função do numero da curva CN.

Exemplo 114.2 McCuen adaptado para unidades SI e hidrograma conforme Porto.

Achar o hidrograma unitário baseado no Método de Snyder para uma bacia com 6151 km², comprimento do talvegue de 137,6 km, comprimento do centro da bacia até a seção de controle de 65,6km. Adotar Ct=2,0 e Cp=0,5.

$$t_L = 0,75 \times C_t \times (L \cdot L_{CA})^{0,3}$$

$$t_L = 0,75 \times 2,0 \times (137,6 \times 65,6)^{0,3}$$

$$t_L = 23,1h$$

$$t_d = t_L / 5,5$$

$$t_d = 23,1 / 5,5 = 4,2h$$

Adotando chuva unitária de duração para a chuva excedente: t_{da}=4h,

$$t_{La} = t_L + 0,25 (t_{da} - t_d)$$

$$t_{La} = 23,1 + 0,25 (4,0 - 4,2) = 23,05h$$

$$t_p = t_{La} + 0,5 t_{da}$$

$$t_p = 23,05 + 0,5 \times 4 = 25,05 h$$

$$Q_p = 2,75 \times C_p \times A / t_{La}$$

$$Q_p = 2,75 \times 0,5 \times 6151 / 23,05 = 367 \text{ m}^3/\text{s/cm}$$

$$W_{50} = 2,14 (A/Q_p)^{1,08}$$

$$W_{50} = 2,14 (6151/367)^{1,08}$$

$$W_{50} = 44,9 h$$

$$W_{75} = 1,22 (A/Q_p)^{1,08}$$

$$W_{75} = 1,22 (6151/367)^{1,08}$$

$$W_{75} = 25,6h$$

$$t_b = 3 \text{ dias} + T_{LA}/8 \text{ (dias)}$$

$$t_b = 3 + 23,05/8 = 5,9 \text{ dias} = 141 h$$

Tabela 114.3- Cálculo do método de Snyder

Dados	Adaptado de McCuen	
1	Area da bacia (km2)=	6151
2	Comprimento talvegue (km)= L=	137,6
3	Distancia do centroide a seção (km)=Lo=	65,6
4	Ct adotado=	2
5	Cp adotado=	0,5
	Tempo do centroide até a seção (h)=tL=	23,05
	Duração da chuva padrão (h) td=	4,2
	Intervalo de duração da chuva excedente adotado (h)=tda=	4
	Valor ajustado (h) = TLa=	23,05
	Tempo de pico tp (h)=	25,05
	Vazão de pico (m3/s/cm)= Qp=	367
	W50 (h)=	44,86
	W75 (h)=	25,57
	Tempo base (horas) conforme McCuen, 1998= tb=	141,0

Tabela 114.4- Os sete pontos para traçar o grafico da Figura (114.2)

Pontos	Abscissa	Ordenada
1	0,0	0,0
2	8,1	183,8
3	14,5	275,7
4	23,0	367
5	40,1	275,7
6	52,9	183,8
7	141,0	0,0

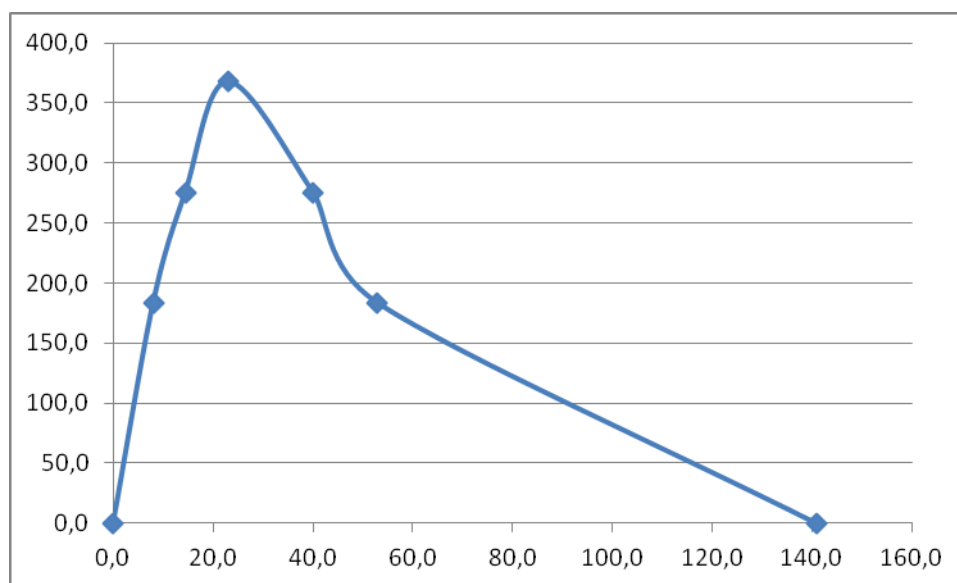


Figura 114.2- Hidrograma unitário do método de Snyder para a bacia do exemplo sendo o tempo em horas e ordenada em m³/s/cm

Exemplo 114.3 – Exemplo MODELO

Refazendo o Exemplo 114.2, mas usando chuva excedente de 1,00h. Vamos então fazer um exemplo completo até chegar ao hidrograma final.

Achar o hidrograma unitário baseado no Método de Snyder para uma bacia com 6151 km², comprimento do talvegue de 137,6 km, comprimento do centro da bacia até a seção de controle de 65,6km. Adotar Ct=2,0 e Cp=0,5 com chuva excedente com intervalo de 1h.

$$t_L = 0,75 \times Ct \times (L \cdot L_{CA})^{0,3}$$
$$t_L = 0,75 \times 2,0 \times (137,6 \times 65,6)^{0,3}$$

$$t_L = 23,1 \text{ h}$$

$$t_d = t_L / 5,5$$

$$t_d = 23,1 / 5,5 = 4,2 \text{ h}$$

Adotando chuva unitária de duração para a chuva excedente: t_{da}=1h,

$$t_{La} = t_L + 0,25 (t_{da} - t_d)$$

$$t_{La} = 23,1 + 0,25 (1,0 - 4,2) = 22,26 \text{ h}$$

$$t_p = t_{La} + 0,5 t_{da}$$

$$t_p = 22,26 + 0,5 \times 1 = 22,76 \text{ h}$$

$$Q_p = 2,75 \times C_p \times A / t_{La}$$

$$Q_p = 2,75 \times 2,00 \times 6151 / 22,76 = 380,01 \text{ m}^3/\text{s/cm}$$

$$W_{50} = 2,14 (A/Q_p)^{1,08}$$

$$W_{50} = 2,14 (6151/380,01)^{1,08}$$

$$W_{50} = 43,28 \text{ h}$$

$$W_{75} = 1,22 (A/Q_p)^{1,08}$$

$$W_{75} = 1,22 (6151/380,01)^{1,08}$$

$$W_{75} = 24,67 \text{ h}$$

$$t_b = 3 \text{ dias} + T_{LA}/8 \text{ (dias)}$$

$$t_b = 3 + 22,26/8 = 5,875 \text{ dias} = 138,5 \text{ h}$$

Tabela 114.5- Cálculo do método de Snyder

Dados	Adaptado de McCuen	
1	Area da bacia (km ²)=	6151
2	Comprimento talvegue (km)= L=	137,6
3	Distancia do centroide a seção (km)=Lo=	65,6
4	Ct adotado=	2
5	Cp adotado=	0,5
	Tempo do centroide até a seção (h)=tL=	23,05
	Duração da chuva padrão (h) td=	4,19
	Intervalo de duração da chuva excedente adotado (h)=tda=	1
	Valor ajustado (h) = TLa=	22,26
	Tempo de pico tp (h)=	22,76
	Vazão de pico (m ³ /s/cm)= Qp=	380,01
	W50 (h)=	43,28
	W75 (h)=	24,67
	Tempo base (horas) conforme McCuen, 1998= tb=	138,8

Tabela 114.6- Os sete pontos para traçar o grafico da Figura (114.2)

Pontos	Abcissa	Ordenada
1	0,0	0,0
2	7,8	190,0
3	14,0	285,0
4	22,3	380,0
5	38,7	285,0
6	51,1	190,0
7	138,8	0,0

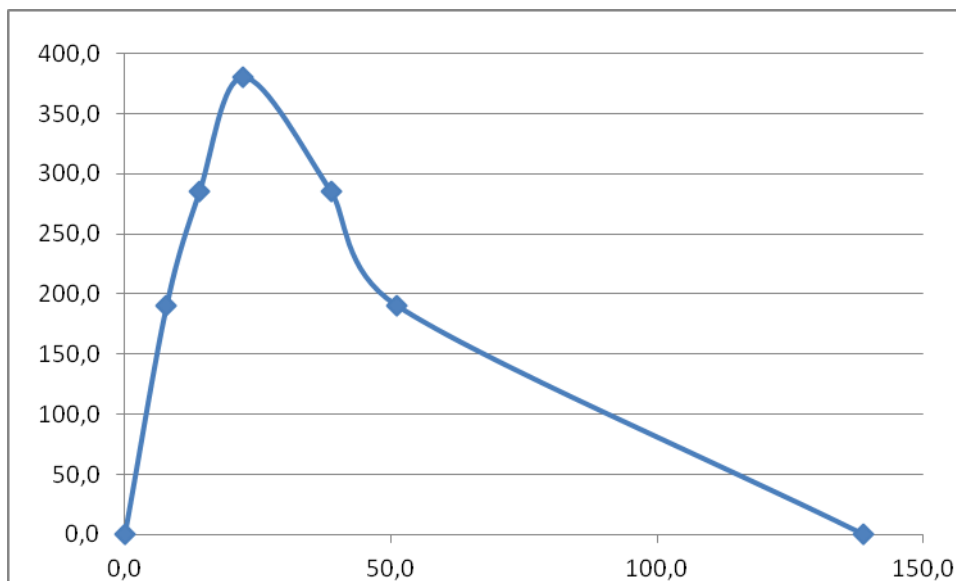


Figura 114.3- Hidrograma unitário do método de Snyder para a bacia do exemplo sendo o tempo em horas e ordenada em $m^3/s/cm$. Neste caso foi adotado chuva excedente com intervalo de 1h.

Verificamos então que adotando um intervalo de 1h ao invés de 4h teremos um pico do hidrograma unitario um pouco maior.

Vamos calcular o hidrograma final;

Como $TL = 23,1h$ a duração da chuva deverá ser 25% a 30% a mais.

Supondo então 30% a mais teremos:

Duração da chuva = $1,3 \times 23,1h = 30h$ com intervalado de 1h

Como a duração da chuva é 30 horas vamos usar o Huff QIV fazendo a interpolação necessaria.

Tabela 114.7- Interpolação de 1 a 30 para QIV de Huff

Tempo (h)	Hietograma acumulado em %		imput	index	calc
0,0	0,0		0	1	0,00
1,5	3,0		1	1	2,00
3,0	6,0		2	2	4,00
4,5	9,0		3	3	6,00
6,0	12,0		4	3	8,00
7,5	15,0		5	4	10,00
9,0	19,0		6	5	12,00
10,5	23,0		7	5	14,00
12,0	27,0		8	6	16,33
13,5	32,0		9	7	19,00
15,0	38,0		10	7	21,67
16,5	45,0		11	8	24,33
18,0	57,0		12	9	27,00
19,5	70,0		13	9	30,33
21,0	79,0		14	10	34,00
22,5	85,0		15	11	38,00
24,0	89,0		16	11	42,67
25,5	92,0		17	12	49,00
27,0	95,0		18	13	57,00
28,5	97,0		19	13	65,67
30,0	100,0		20	14	73,00
			21	15	79,00
			22	15	83,00
			23	16	86,33
			24	17	89,00
			25	17	91,00
			26	18	93,00
			27	19	95,00
			28	19	96,33
			29	20	98,00
			30	21	100,00

Tabela 114.8- Curva de Huff QIV com intervalo de 1h par até 30h

imput	Huff QIV acumulado em fração
0	0,0000
1	0,0200
2	0,0400
3	0,0600
4	0,0800
5	0,1000
6	0,1200
7	0,1400
8	0,1633
9	0,1900
10	0,2167
11	0,2433
12	0,2700
13	0,3033
14	0,3400
15	0,3800
16	0,4267
17	0,4900
18	0,5700
19	0,6567
20	0,7300
21	0,7900
22	0,8300
23	0,8633
24	0,8900
25	0,9100
26	0,9300
27	0,9500
28	0,9633
29	0,9800
30	1,0000

Tabela 114.9- Dados

Duração da chuva (horas)=	30		CN=	80
Precipitação em 24h (mm)=Martinez, Magni, 1999	155,98		Tr=	100
Area bacia (km2)=A=	6151		P=k x P (mm)=	118,69
Fafor $k= 1,0 - [0,1 \cdot \text{Log} (A/Ao)] = K =$	0,76			
$Ao=25\text{km}^2$				

Tabela 114.10- Chuva excedente para CN=80, chuva de duração de 30h QIV de Huff, cidade de São Paulo

tempo (h)	Huff QIII	acumulada	Chuva Excedente Q	Chuva Excedente Q	Chuva Excedente Q
		Precipitação Total	acumulada	por faixa	por faixa
		mm	mm	mm	cm
0	0,0000	-	0,00	0,00	0,00
1	0,0200	2,4	0,00	0,00	0,00
2	0,0400	4,7	0,00	0,00	0,00
3	0,0600	7,1	0,00	0,00	0,00
4	0,0800	9,5	0,00	0,00	0,00
5	0,1000	11,9	0,00	0,00	0,00
6	0,1200	14,2	0,04	0,04	0,00
7	0,1400	16,6	0,23	0,19	0,02
8	0,1633	19,4	0,64	0,41	0,04
9	0,1900	22,6	1,32	0,69	0,07
10	0,2167	25,7	2,21	0,89	0,09
11	0,2433	28,9	3,29	1,07	0,11
12	0,2700	32,0	4,52	1,23	0,12
13	0,3033	36,0	6,26	1,74	0,17
14	0,3400	40,4	8,39	2,13	0,21
15	0,3800	45,1	10,95	2,56	0,26
16	0,4267	50,6	14,19	3,24	0,32
17	0,4900	58,2	18,96	4,77	0,48
18	0,5700	67,7	25,49	6,53	0,65
19	0,6567	77,9	33,06	7,57	0,76
20	0,7300	86,6	39,78	6,72	0,67
21	0,7900	93,8	45,46	5,68	0,57
22	0,8300	98,5	49,32	3,86	0,39
23	0,8633	102,5	52,58	3,26	0,33
24	0,8900	105,6	55,21	2,63	0,26
25	0,910	108,0	57,20	1,99	0,20
26	0,930	110,4	59,20	2,00	0,20
27	0,950	112,8	61,21	2,01	0,20
28	0,963	114,3	62,55	1,35	0,13
29	0,980	116,3	64,24	1,69	0,17
30	1,000	118,7	66,28	2,04	0,20

Tabela 114.11- Parte da Convolução...

tempo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
horas	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0037	0,0191	0,0409	0,0686	0,0891
0	0,00										
1	24,27	0,00									
2	48,54	0,00	0,00								
3	72,81	0,00	0,00	0,00							
4	97,07	0,00	0,00	0,00	0,00						
5	121,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
6	145,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09				
7	169,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,46			
8	192,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,93	0,99		
9	207,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	1,39	1,99	1,66	
10	223,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	1,85	2,98	3,33	2,16
11	238,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	2,32	3,97	4,99	4,33
12	253,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	2,78	4,97	6,66	6,49
13	269,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	3,24	5,96	8,32	8,65
14	284,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	3,68	6,95	9,99	10,81
15	296,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	3,97	7,89	11,65	12,98
16	307,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	4,26	8,51	13,21	15,14
17	319,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	4,55	9,14	14,27	17,16
18	330,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	4,85	9,77	15,32	18,53
19	342,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	5,14	10,39	16,37	19,89
20	353,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	5,43	11,02	17,42	21,26
21	365,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	5,65	11,65	18,47	22,62
22	377,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	5,88	12,12	19,52	23,99

A vazão de pico no hidrograma final será de 1.982.58 m³/s usando o método de Snyder sem considerar a vazão base.

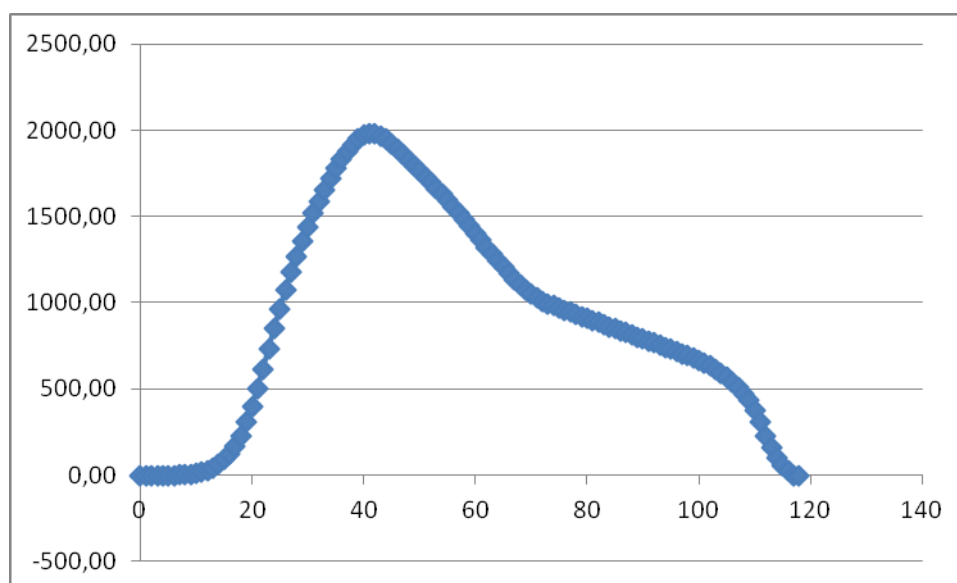


Figura 114.3- Hidrograma final

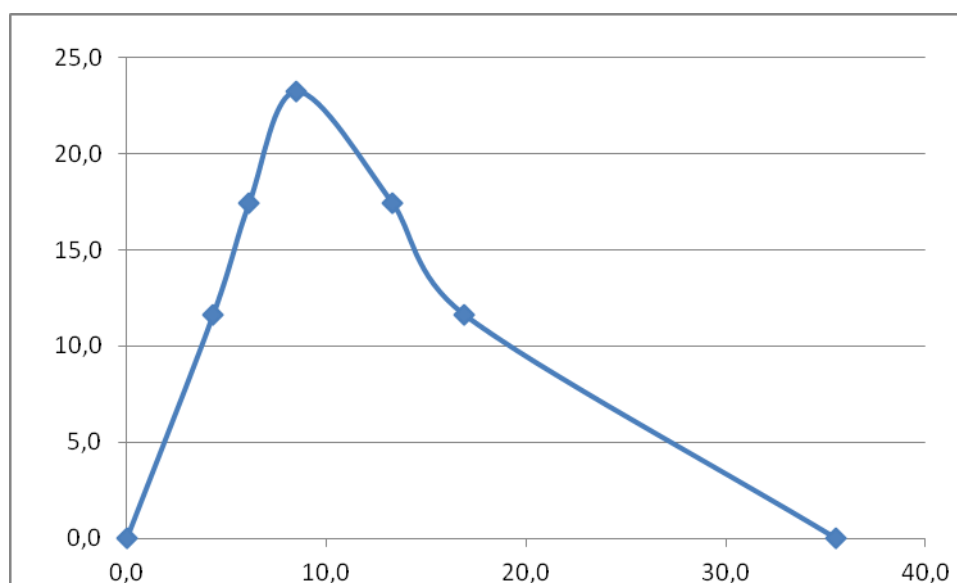
Exemplo 114.4- Exemplo de bacia pequena

Dado bacia com 120km², talvegue L=25km, distancia do centroide de 15km, Ct=2 e Cp=0,6. Adotar intervalo de chuva excedente de 10min(0,167h).

Como a bacia é considerada pequena será usado no tempo base tb=4 x tL.

Dados	Adaptado de McCuen	
1	Area da bacia (km2)=	120
2	Comprimento talvegue (km)= L=	25
3	Distancia do centroide a seção (km)=Lo=	15
4	Ct adotado=	2
5	Cp adotado=	0,6
	Tempo do centroide até a seção (h)=tL=	8,88
	Duração da chuva padrão (h) td=	1,61
	Intervalo de duração da chuva excedente adotado (h)=tda=	0,167
	Valor ajustado (h) = TLa=	8,52
	Tempo de pico tp (h)=	8,60
	Vazão de pico (m3/s/cm)= Qp=	23,25
	W50 (h)=	12,59
	W75 (h)=	7,18
	A bacia é pequena ou grande ?	pequena
	Tempo base (horas) conforme McCuen, 1998= tb=	35,5

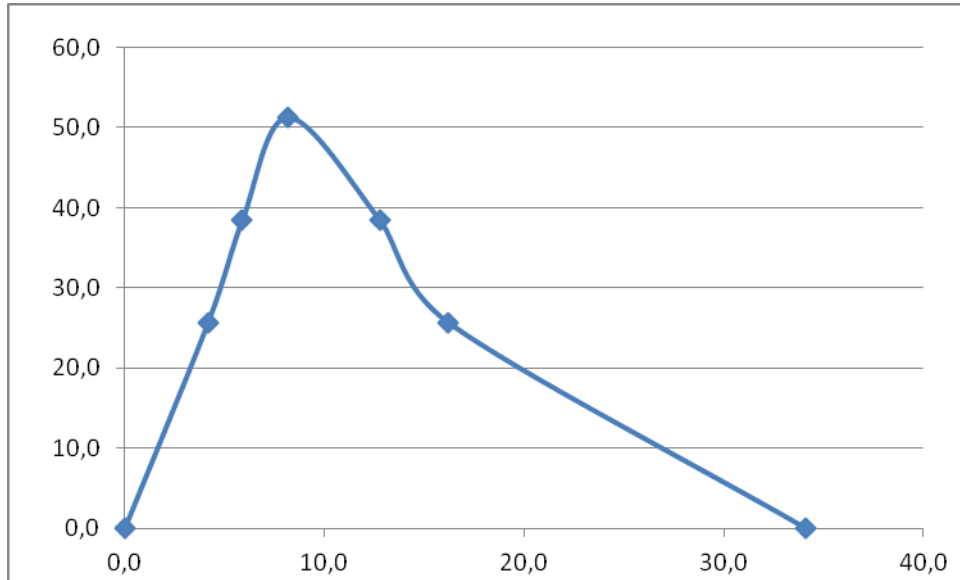
Pontos	Abcissa	Ordenada
1	0,0	0,0
2	4,3	11,6
3	6,1	17,4
4	8,5	23,3
5	13,3	17,4
6	16,9	11,6
7	35,5	0,0



Exemplo 114.5- Bacia pequena

Exemplo 01		
Dados	Adaptado de McCuen	
1	Area da bacia (km ²)=	254
2	Comprimento talvegue (km)= L=	28,96
3	Distancia do centroide a seção (km)=Lo=	16,09
4	Ct adotado=	1,8
5	Cp adotado=	0,6
	Tempo do centroide até a seção (h)=tL=	8,53
	Duração da chuva padrão (h) td=	1,55
	Intervalo de duração da chuva excedente adotado (h)=tda=	0,167
	Valor ajustado (h) = TLa=	8,18
	Tempo de pico tp (h)=	8,27
	Vazão de pico (m ³ /s/cm)= Qp=	51,22
	W50 (h)=	12,06
	W75 (h)=	6,88
	A bacia é pequena ou grande ?	pequena
	Tempo base (horas) conforme McCuen, 1998= tb=	34,1

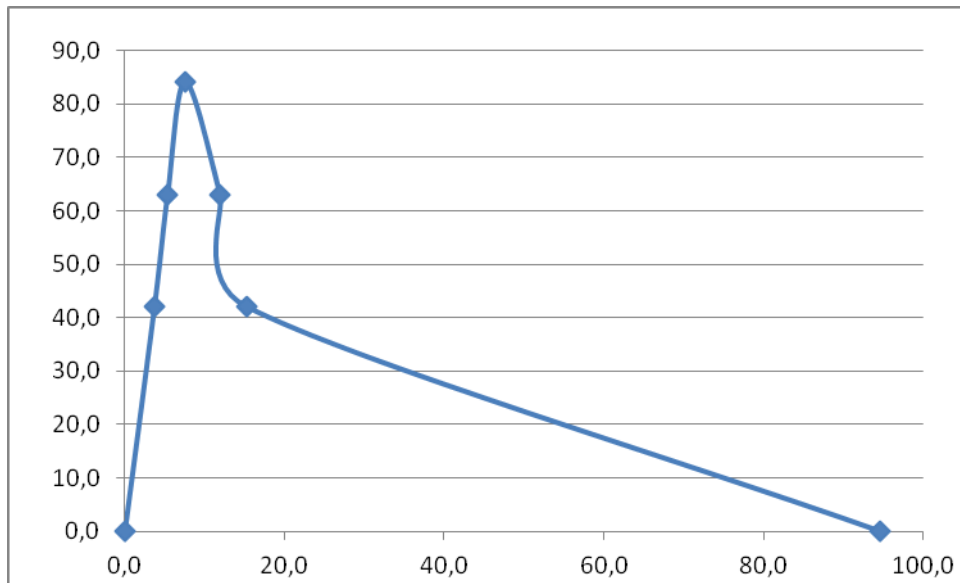
Pontos	Abcissa	Ordenada
1	0,0	0,0
2	4,2	25,6
3	5,9	38,4
4	8,2	51,2
5	12,8	38,4
6	16,2	25,6
7	34,1	0,0



Exemplo 114.6- bacia grande

Dados	Adaptado de McCuen	
1	Area da bacia (km ²)=	400
2	Comprimento talvegue (km)= L=	45
3	Distancia do centroide a seção (km)=Lo=	25
4	Ct adotado=	1,257
5	Cp adotado=	0,576
	Tempo do centroide até a seção (h)=tL=	7,76
	Duração da chuva padrão (h) td=	1,41
	Intervalo de duração da chuva excedente adotado (h)=tda=	0,5
	Valor ajustado (h) = TL _a =	7,53
	Tempo de pico tp (h)=	7,78
	Vazão de pico (m ³ /s/cm)= Qp=	84,14
	W50 (h)=	11,52
	W75 (h)=	6,57
	A bacia é pequena ou grande ?	grande
	Tempo base (horas) conforme McCuen, 1998= tb=	94,6

Pontos	Abcissa	Ordenada
1	0,0	0,0
2	3,7	42,1
3	5,3	63,1
4	7,5	84,1
5	11,9	63,1
6	15,2	42,1
7	94,6	0,0



114.8 Bibliografia e livros recomendados

- CHOW, VEN TE et al. *Applied hydrology*. McGraw-Hill, 1988, 572 páginas, ISBN 0-07-100174-3.
- GUPTA, RAM S. *Hydrology and hydraulic systems*. 3a ed. Editora Waveland, 896 páginas. ano 2008 ISBN 1-57766-455-8.
- MCCUEN, RICHARD H. *Hydrology analysis and design*, 2ª ed. Prentice Hall, 1998, New Jersey, ISBN 0-13-134958-9.
- NICKLOW/BOULOS/MULETA. *Comprehensive urban hydrologic modeling handbook for engineers and planners*. 376 paginas, ISBN 0-97455689-6-1. Chapter five- Surface runoff. 2006
- PONCE, VICTOR MIGUEL. *Engineering Hydrology- principles and practices*. Prentice-Hall, 1989, 640 páginas.
- PORTO, RUBEN LALAINA et al. *Hidrologia aplicada*. PHD-307- EPUSP, 1999.
- SUBRAMANYA, K. *Engineering Hydrology*. 4ª ed. New Delhi, McGraw Hill, 2013, ISBN (13) 978-9-38-328653-9 com 534 páginas.
- TUCCI, CARLOS E. M. et al. *Drenagem Urbana*. ABRH, UFRS Porto Alegre, 1995, 428 páginas. ISBN 85-7025-364-8