

Capítulo 157

Método da propagação de ondas de cheia

Capítulo 157 Método da propagação de ondas de cheia

157.1 Introdução

O DAEE São Paulo adota os seguintes métodos conforme a área de drenagem (AD):

- Método Racional ($AD \leq 2\text{km}^2$)
- Método I-PAI-WU ($2 < AD \leq 200 \text{ km}^2$)
- Método do prof. Kokei Uehara ($200 < AD \leq 600 \text{ km}^2$)
- Hidrograma unitário- Propagação ($AD > 600 \text{ km}^2$)

Na Tabela (157.1) podemos ver que o método de Snyder pode ser usado até 30.000 km^2 .

Tabela 157.1- Alguns métodos que usam o hidrograma unitário.

Métodos que usam o hidrograma unitário

- Método de Snyder (1938; até 30.000 km^2)
• Nota: bacia do rio Xingu: 5.150km^2
- Método de Clark (1945; uso no HEC-HMS)
- Método de Espey (1978; urbana até 39km^2)
- Nota: o método de convolução é o mesmo para obter o hidrograma final

404

Para áreas acima de 600km^2 o DAEE São Paulo recomenda usar o método de propagação de ondas de cheia.

Uma observação é que o DAEE- SP não cita o Método SCS que é o mais usado no mundo e nem o Método de Snyder ou Clark, mas estão no software gratuito da EPUSP denominado ABC e que também é recomendado pelo DAEE.

Para bacias muito grandes podemos calcular por partes usando, por exemplo, o método do SCS e depois transladar os hidrogramas sintéticos de cada uma das áreas até a seção de controle.

Se usarmos o tempo de trânsito haverá deslocamento do hidrograma.

Podemos usar o amortecimento na bacia com o método de Muskingum ou Muskingum-Cunge, porém conforme já constatamos o mesmo é eficiente quando a área da bacia é muito grande.

Assim quando a bacia não é muito grande, simplesmente trasladamos o hidrograma e quando é muito grande, usamos o método de Muskingum ou Muskingum-Cunge que irá amortizar as vazões.

157.2 SCS para várias bacias com exemplo

Vamos usar um modelo adaptado do FHWA, 1984 para várias bacias conforme se pode ver na Figura (157.1).

Segundo FHWA, 1984 e com algumas adaptações temos que fazer o seguinte:

1. Separar a área de drenagem de cada subbacia
2. Calcular o tempo de concentração para cada subbacia
3. Calcular o número da curva CN para cada subbacia
4. Calcular o tempo de trânsito no talvegue para cada trecho que pode ser calculado usando Manning ou Musking-Cunge.
5. Usar chuva com duração de 30% a mais do tempo de concentração para toda a bacia. Os americanos usam muito chuva padrão com 24h de duração, o que não é o costume brasileiro. Existem estados americanos que a chuva mais comum é 6h e usar 24h fica fora da realidade.

Nota: o tempo de trânsito é o tempo pelo talvegue das águas do rio desde o ponto considerado até o ponto de controle. Devemos ter cuidado, pois, futuras mudanças no rio como passar o leito de terra para concreto, haverá aumento da velocidade e diminuição do tempo de trânsito, ocasionando aumento de pico no ponto de controle.

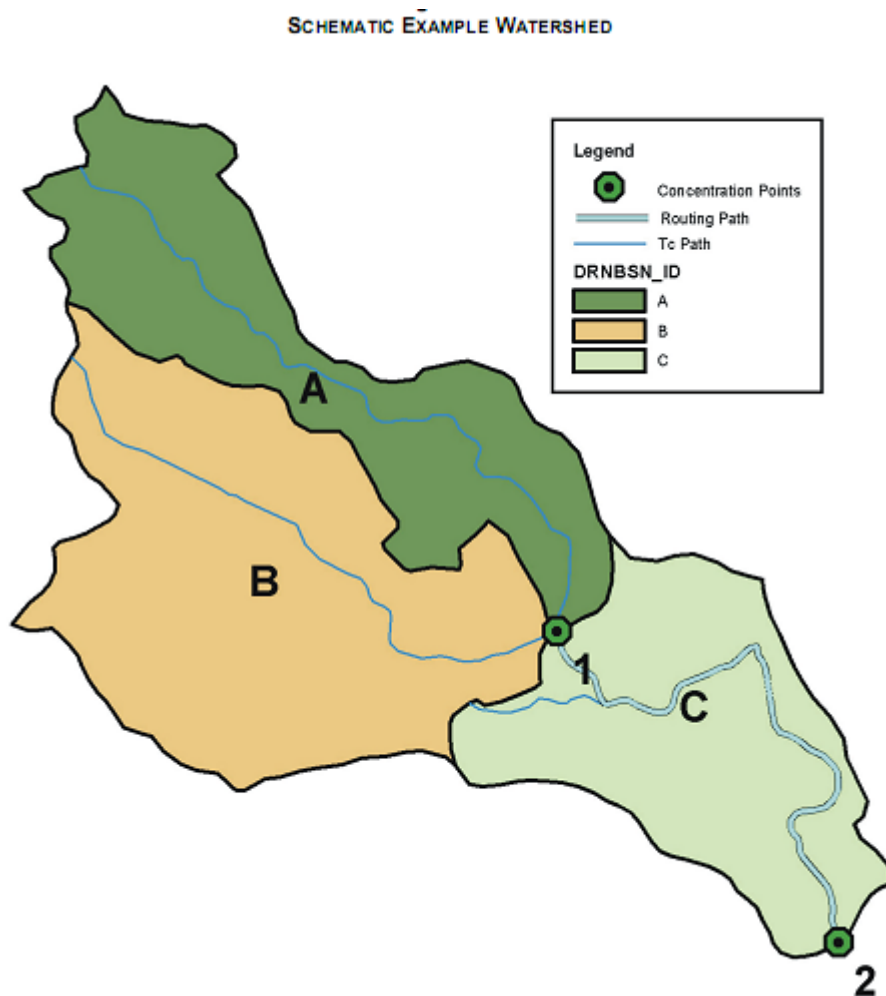


Figura 157.1-Soma das bacias A e B e translação até o ponto 2 e soma com C

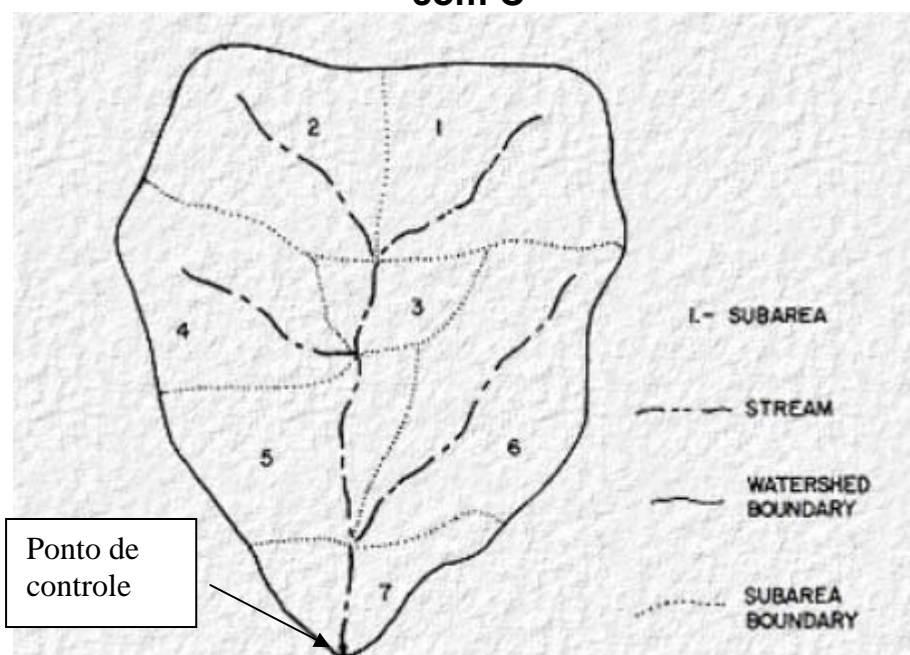


Figura 157.2- Esquema das bacia com 7 subbacia.Fonte: FHWA, 1989

Na Tabela (157.2) estão os dados das subbacias com as áreas, tempo de concentração e número da curva CN, bem como o tempo de trânsito de cada subbacia até o ponto de controle onde queremos a vazão de pico que está no fim da subbacia 7.

O tempo de trânsito da subbacia 1 até o ponto de controle na subbacia 7 é de 1,75h. Calculamos o tempo de trânsito para o ponto de controle de cada subbacia. Observe que na bacia 7 o tempo de trânsito é zero.

Tabela 157.2-Dados das subbacias

Subbacia	Area (km ²)	tc(h)	Tempo transito (h)	CN
1	0,78	1,50	1,75	65
2	0,52	1,25	1,75	70
3	0,26	0,50	1,50	75
4	0,65	0,75	1,50	70
5	0,52	1,50	0,50	85
6	1,04	1,00	0,50	75
7	0,52	0,75	0,00	90
Total=	4,27			

A area total da bacia tem 4,27km².

Duração da chuva unitária D

O valor da duração da chuva unitária D.

$$D=0,133 tc$$

Devemos tomar cuidado na escolha da duração da chuva unitária D. Tomamos o menor tempo de concentração que é 0,50h, ou seja, 30min.

$$D= 30 \times 0,133=4\text{min}$$

Entretanto, para fins de demonstração vamos adotar D=10min

Duração da chuva

O tempo de concentração na seção de controle na Subbacia 7 é 1,50h da subbacia 1 mais 1,75h que é o tempo de transito totalizando: 1,50+1,75= 3,25h

Bedient recomenda 25% a 30% a mais e 30% a mais será:

$$3,25h \times 1,30= 4,22h$$

Então tomaremos com duração da chuva 6 h.

Tabela 157.3- Cálculo do SCS para várias bacias

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Subbacia	Area (km2)	tc(h)	Tempo transito (h)	Tt (min)	CN	0	10min	20min	30min
1	0,78	1,50	1,75	105	65	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem
2	0,52	1,25	1,75	105	70	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem
3	0,26	0,50	1,50	90	75	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem
4	0,65	0,75	1,50	90	70	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem
5	0,52	1,50	0,50	30	85	defazagem	defazagem	defazagem	0,00
6	1,04	1,00	0,50	30	75	defazagem	defazagem	defazagem	0,00
7	0,52	0,75	0,00	0	90	0,00	0,05	0,44	1,53
Total=	4,27				Vazões=	0	0,05	0,44	1,53

Tabela 157.3- continuação-Cálculo do SCS para várias bacias

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	0,00	0,00	0,00
defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	0,00	0,00	0,00
defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	0,00	0,00	0,02	0,24	0,66
defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	defazagem	0,00	0,00	0,00	0,08	0,43
0,00	0,03	0,15	0,43	0,89	1,47	2,05	2,55	2,93	3,17
0,00	0,02	0,19	0,74	1,66	2,67	3,50	4,08	4,46	4,69
2,98	4,05	4,39	4,32	4,17	4,01	3,81	3,49	3,16	2,84
2,99	4,10	4,72	5,48	6,71	8,15	9,36	10,15	10,88	11,78

Tabela 157.5- continuação-Cálculo do SCS para várias bacias

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
0,00	0,03	0,12	0,28	0,52	0,82	1,15	1,46	1,73	1,92
0,02	0,10	0,27	0,55	0,87	1,17	1,45	1,65	1,78	1,85
0,93	1,02	1,09	1,12	1,14	1,09	0,99	0,91	0,83	0,76
0,99	1,51	1,88	2,14	2,33	2,42	2,37	2,25	2,11	1,97
3,28	3,28	3,22	3,10	2,93	2,75	2,57	2,41	2,24	2,07
4,74	4,61	4,39	4,11	3,83	3,58	3,37	3,17	2,94	2,65
2,56	2,31	2,13	1,99	1,84	1,65	1,42	1,23	1,10	1,04
12,51	12,86	13,09	13,29	13,46	13,48	13,31	13,07	12,73	12,26

Tabela 157.6- continuação-Cálculo do SCS para várias bacias

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
240	250	260	270	280	290	300	310	320	330
2,05	2,10	2,11	2,07	2,02	1,95	1,88	1,78	1,67	1,54
1,85	1,80	1,73	1,65	1,57	1,49	1,41	1,31	1,19	1,08
0,71	0,68	0,65	0,58	0,50	0,42	0,38	0,36	0,36	0,35
1,83	1,73	1,65	1,55	1,41	1,22	1,07	0,97	0,92	0,89
1,90	1,72	1,56	1,42	1,31	1,22	1,16	1,11	1,08	1,06
2,34	2,09	1,90	1,79	1,72	1,68	1,66	1,64	1,64	1,64
1,00	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,88	0,76
11,67	11,11	10,57	10,03	9,49	8,95	8,51	8,12	7,73	7,32

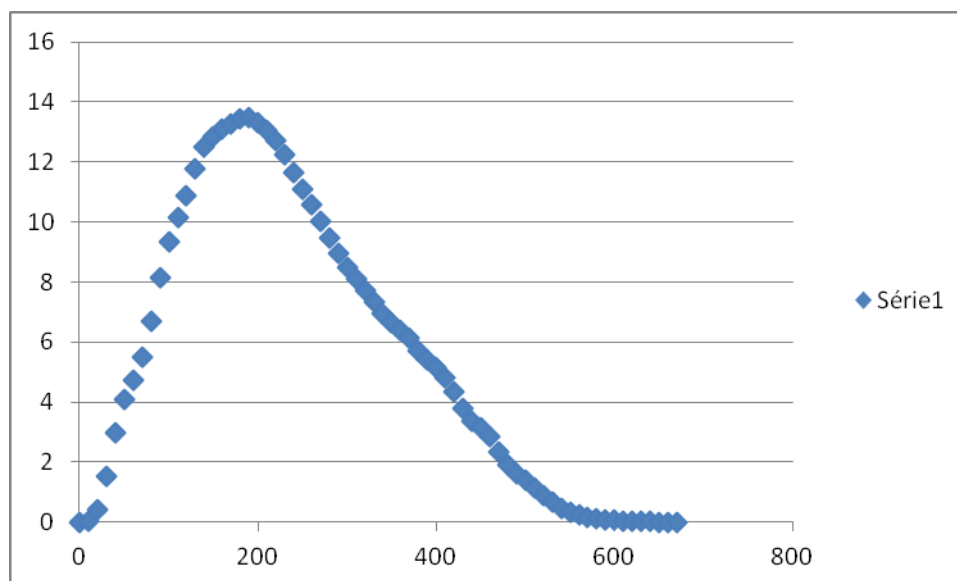


Figura 157.2- Hidrograma na seção de controle que está no fim da subbacia 7 que é da soma das 7 subbacias com as devidas defazagens.

157.3 Routing de rios e canais usando o Método de Muskingum

Conforme *Chaudhry*, 1993 para um trecho de um canal com movimento não uniforme, o armazenamento depende da vazão de entrada e de saída, conforme Figuras (157.3) e (157.4). O **armazenamento** no canal forma um prisma onde S (*storage*) é proporcional a O (*output*) e o armazenamento em cunha, onde S é proporcional a diferença entre a entrada e a saída.

Dica: a secção é constante durante todo o trecho

No Método de Muskingum, conforme a Figura (157.3), podemos ver a combinação de um prisma de **armazenamento** $K.O$ e uma cunha $K.X(I - O)$, sendo K o tempo de trânsito até o local desejado e “ O ” a vazão naquele local.

O valor de X varia entre $0 \leq X \leq 0,5$. Para armazenamento em reservatórios $X=0$ e quando o **armazenamento** marginal está cheio $X= 0,5$.

Em rios naturais o valor de X é usualmente entre 0 e 0,3, sendo o valor típico 0,2, conforme *Chow et al.* 1988.

Em um canal podemos escrever conforme Akan, 1993:

$$dS/dt = I - Q$$

Sendo:

S= volume de água no canal (armazenamento)

I= vazão a montante

Q= vazão a jusante (nota: as vezes usa-se a notação “O” de *output*)

t= tempo.

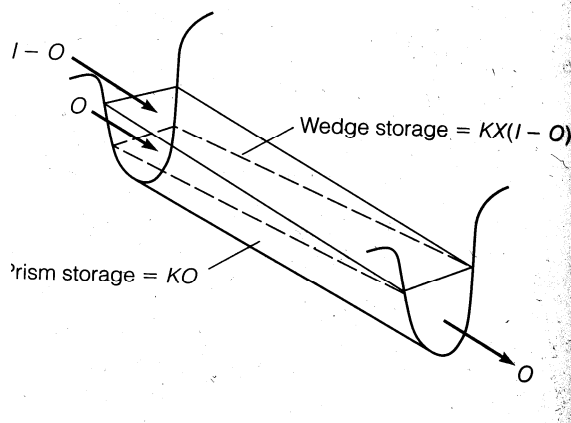
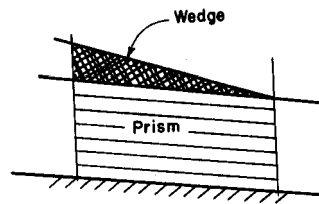


Figura 157.3 - Esquema do canal para aplicação do Método de Muskingum. Observar o prisma e a cunha.

Fonte: Chin, 2000



**Figura 157.4 - Esquema do canal para aplicação do Método de Muskingum. Observar o prisma e a cunha.
Fonte: Chaudhry, 1993**

Isto pode ser escrito da maneira usual de aplicação do Método de Muskingum, sendo S o armazenamento, I a vazão na entrada e Q a vazão no ponto considerado.

$$S = K \cdot Q + K \cdot X (I - Q)$$

$$S = K [X \cdot I + (1 - X) Q]$$

Sendo:

S= volume;

I= vazão na entrada (m³/s);

Q= vazão na saída (m³/s);

K= constante do *travel time* (tempo de trânsito ou tempo de translação)

X= fator entre 0 e 1,0. O mais usado é X= 0,2 (McCuen, p.603).

Usualmente o valor de X está entre 0,1 e 0,3 (*Handbook of Hydrology*, capítulo 10).

Para o intervalo de tempo Δt :

$$(S_2 - S_1) / \Delta t = (I_1 + I_2) / 2 - (Q_1 + Q_2) / 2$$

Após as simplificações obtemos:

$$Q_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 Q_1$$

Sendo:

$$A = 2(1 - X) + \Delta t / K$$

$$C_0 = [(\Delta t / K) - 2X] / A$$

$$C_1 = [(\Delta t / K) + 2X] / A$$

$$C_2 = [2(1 - X) - (\Delta t / K)] / A$$

$$\text{Sendo que: } C_0 + C_1 + C_2 = 1,00$$

Uma das dificuldades de se aplicar o método de Muskingum é adotar Δt , K e X.

Usualmente X= 0,2 para canais naturais.

157.4 Bibliografia e livros consultados

-UEHARA, KOKEI. *Métodos de cálculos de vazões máximas, médias e mínimas em bacias hidrográficas no Estado de São Paulo*. DAEE, 1994.