

## Capítulo 26

### Método TR-55 para várias bacias

Para a construção do Parthenon localizado na Acrópole de Atenas foi usada a “seção áurea” ou a “divina proporção” onde o comprimento L e a largura W para um retângulo satisfaz a expressão:

$$(L + W) / L = L / W$$

Fonte: Geometry de Peter B. Geltner e Darrel J. Peterson.



## SUMÁRIO

<b>Ordem</b>	<b>Assunto</b>
26.1	Introdução
26.2	SCS TR-55
26.3	Método SCS do TR-55 para dimensionamento preliminar de reservatório de detenção
26.4	Tr-55 para várias bacias

**21 páginas**

## Capítulo 26- Método TR-55 para várias bacias

### 26.1 Introdução

O Departamento de Agricultura nos Estados Unidos apresentou em junho de 1986 através do *Natural Resources Conservation Service (NRCS)*, o *Technical Release 55*, ou seja, o TR-55 destina a bacias urbanas maiores que 4ha até 65km<sup>2</sup>, mais conhecido como SCS TR-55, incorporando o que já tinha sido publicado em janeiro de 1976 pelo *Soil Conservation Service (SCS)*.

O TR-55 apresenta metodologia própria para determinar o pico de descarga e volume de detenção para áreas urbanas e rurais. Não apresenta o hidrograma completo e pode ser usado facilmente para varias bacias.

Para o uso do TR-55 é obrigatório **chuva de duração de 24h.**

**Dica- O Método SCS TR-55 é bom para determinar vazão de pico e volume de detenção. Para hidrograma completo deve-se usar o SCS original.**

### 26.2 SCS TR-55

O método SCS TR-55 é o seguinte.

$$Q_p = Q_u \cdot A \cdot Q \cdot F_p \quad \text{(Equação 26.1)}$$

Sendo:

$Q_p$  = vazão de pico (m<sup>3</sup>/s)

$Q_u$  = pico de descarga unitário (m<sup>3</sup>/s/cm / km<sup>2</sup>)

$A$  = área da bacia (km<sup>2</sup>)

$Q$  = runoff ou seja o escoamento superficial ou chuva excedente de uma chuva de 24h (cm)

$F_p$  = fator adimensional de ajustamento devido a poças d'água fornecido pela Tabela (26.1).

**Tabela 26.1- Fator de ajustamento em função da porcentagem de água de chuva retida em poças d'água ou em brejos**

Porcentagem da água de chuva que fica em poças d'água ou em brejos (%)	$F_p$
0	1,00
0,2	0,97
1,0	0,87
3,0	0,75
5,0*	0,72

Fonte: TR-55 junho de 1986

(\*) Se a porcentagem de água de chuva retida em poças e brejos for maior que 5%, considerações especiais devem ser tomadas para se achar a chuva excedente (Chin, 2000).

O pico de descarga unitário  $Q_u$  é fornecido pela Equação (26.2) em função do tempo de concentração  $t_c$  em horas.

$$\log(Q_u) = C_0 + C_1 \cdot \log t_c + C_2 \cdot (\log t_c)^2 - 2,366 \quad \text{(Equação 26.2)}$$

Sendo:

$C_0, C_1$  e  $C_2$  obtidos da Tabela (26.2)

$t_c$  = tempo de concentração (h), sendo que  $0,1h \leq t_c \leq 10h$

**Dica: O SCS TR-55 usa sempre chuva de duração de 24horas.**

**Tabela 26.2- Valores de  $C_0$ ,  $C_1$  e  $C_2$  obtidos em função do tipo de chuva e da relação Ia/P**

Tipo de chuva conforme SCS (Estados Unidos)	Ia/ P	$C_0$	$C_1$	$C_2$
<b>I</b>	0,10	2,30550	-0,51429	-0,11750
	0,20	2,23537	-0,50387	-0,08929
	0,25	2,18219	-0,48488	-0,06589
	0,30	2,10624	-0,45695	-0,02835
	0,35	2,00303	-0,40769	0,01983
	0,40	1,87733	-0,32274	0,05754
	0,45	1,76312	-0,15644	0,00453
	0,50	1,67889	-0,06930	0,0
<b>IA</b>	0,10	2,03250	-0,31583	-0,13748
	0,20	1,91978	-0,28215	-0,07020
	0,25	1,83842	-0,25543	-0,02597
	0,30	1,72657	-0,19826	0,02633
	0,50	1,63417	-0,09100	0,0
<b>II</b>	<b>0,10</b>	<b>2,55323</b>	<b>-0,61512</b>	<b>-0,16403</b>
	<b>0,30</b>	<b>2,46532</b>	<b>-0,62257</b>	<b>-0,11657</b>
	<b>0,35</b>	<b>2,41896</b>	<b>-0,61594</b>	<b>-0,08820</b>
	<b>0,40</b>	<b>2,36409</b>	<b>-0,59857</b>	<b>-0,05621</b>
	<b>0,45</b>	<b>2,29238</b>	<b>-0,57005</b>	<b>-0,02281</b>
	<b>0,50</b>	<b>2,20282</b>	<b>-0,51599</b>	<b>-0,01259</b>
<b>III</b>	0,10	2,47317	-0,51848	-0,17083
	0,30	2,39628	-0,51202	-0,13245
	0,35	2,35477	-0,49735	-0,11985
	0,40	2,30726	-0,46541	-0,11094
	0,45	2,24876	-0,41314	-0,11508
	0,50	2,17772	-0,36803	-0,09525

**Fonte: Chin, 2000 p. 364**

Os Estados Unidos foram divididos em 4 regiões, onde existem os tipos de chuva I, IA, II e III. Infelizmente não temos nada semelhante no Brasil.

Segundo Porto,1995 o tipo de chuva de São Paulo que mais se aproxima dos Estados Unidos é o tipo II. No Capítulo 7 deste livro encontramos as frações de chuvas acumuladas Tipo I, Tipo IA, Tipo II e Tipo III.

Lembrando o método de cálculo da chuva excedente pelo número da curva CN, Ia é abstração inicial em milímetros, que representa todas as perdas antes que comece o runoff.

**Dica: Para o Estado de São Paulo usar a chuva Tipo II para o SCS-TR-55**

O valor de  $I_a = 0,2 S$  sendo que  $S$  é o potencial máximo de retenção em milímetros após começar o runoff . O valor de  $S$  está em função do número da curva CN.

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

O valor da chuva excedente ou runoff ou escoamento superficial  $Q$  é :

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

O valor de  $P$  para o caso do método SCS TR-55 é para uma chuva de 24horas.

Na Tabela (26.2) para valores de  $I_a/P < 0,10$  deverá ser usado o valor  $I_a/P = 0,10$  e para valores de  $I_a/P > 0,50$  deverá ser usado  $I_a/P = 0,50$ . O TR-55,1986 diz que para valores de  $I_a/P$  menores que 0,10 e maiores que 0,50 temos falta de precisão na vazão de pico que será obtida.

O TR-55,1986 aconselha ainda que para a aplicação do método o valor de CN deverá ser maior que 40 e que a bacia deve ser homogênea, isto é, que o uso do solo e a cobertura seja uniformemente distribuída na bacia. Chin, 2000 sugere que as variações do coeficiente CN na bacia devem ser de  $\pm 5\%$  (cinco por cento).

O TR-55 recomenda ainda que quando for aplicado o método gráfico estimativo de pico, as vazões devem ser calculadas antes e depois do desenvolvimento, usando os mesmos procedimentos para estimativa do tempo de concentração  $t_c$ .

O TR-55 aconselha outro método caso se queira a hidrógrafa.

### Exemplo 26.1

Seja uma bacia com  $2,22\text{km}^2$  com 0,2% de poças d'água e que o número da curva estimado  $CN=87$ . O tempo de concentração é de  $15\text{min} = 0,25\text{h}$  e que a chuva de 24horas é o Tipo II e que a precipitação para período de retorno de 25anos conforme Martinez e Magni,1999, na cidade de São Paulo, seja de 123mm.

### Solução

Para  $CN=87 > 40$  o armazenamento  $S$  será:

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

$$S = (25.400/87) - 254 = 37,95\text{mm}$$

Como o valor  $P=123\text{mm}$  temos:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$$

$$Q = \frac{(123 - 0,2 \cdot 37,95)^2}{(123 + 0,8 \cdot 37,95)} = 86,85\text{mm} = 8,69\text{cm}$$

Portanto, a chuva excedente é 8,69cm.

Como  $I_a = 0,2 \cdot S = 0,2 \times 37,95 = 7,59\text{mm}$

$I_a/P = 7,59\text{mm}/123\text{mm} = 0,06 < 0,1$  (teremos imprecisões maiores na estimativa)

Como  $Ia/P < 0,1$  adotamos para  $Ia/P = 0,1$  e então para a chuva Tipo II escolhida temos:

$$C_0 = 2,55323$$

$$C_1 = -0,61512$$

$$C_2 = -0,16403$$

$t_c = 0,25h > 0,1h$  (hipótese de aplicação do método)

Substituindo os valores na Equação (26.2) temos:

$$\log(Q_u) = C_0 + C_1 \cdot \log t_c + C_2 \cdot (\log t_c)^2 - 2,366$$

$$\log(Q_u) = 2,55323 - 0,61512 \cdot \log 0,25 - 0,16403 \cdot (\log 0,25)^2 - 2,366$$

$$\log(Q_u) = 0,4981$$

e portanto  $Q_u = 3,1477 \text{ (m}^3/\text{s / cm / km}^2 \text{)}$

Como admitimos 0,2% de poças d'água, da Tabela (26.1) obtemos  $F_p = 0,97$

Da Equação (26.1) do TR-55 temos:

$$Q_p = Q_u \cdot A \cdot Q \cdot F_p$$

$$Q_p = 3,1477 \cdot 2,22 \cdot 8,69 \cdot 0,97 = 58,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Portanto, a estimativa de vazão de pico segundo o método gráfico do TR-55 é de  $58,9 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $Tr = 25$  anos.

### Exemplo 26.2

Seja uma bacia com  $9,95\text{km}^2$  com 0,2% de poças d'água e que o número da curva estimado  $CN=75$ . O tempo de concentração é de 2,53h e que a chuva de 24h é do Tipo II e que a precipitação para o período de retorno de 100 anos seja de 162,05mm

A declividade média foi obtida proporcionalmente aos comprimentos dos trechos desde a primeira cota de montante até a última cota de jusante.

Para o cálculo do tempo de concentração será usado a fórmula SCS Lag-1975, pois a área da bacia  $9,95\text{km}^2$ .

$$t_c = 0,0136 \cdot L^{0,8} \cdot (1000 / CN - 9)^{0,7} \cdot S^{-0,5}$$

Sendo  $L=5050\text{m}$ ; declividade média  $S=0,05248 \text{ m/m}$  ;  $t_c=152,04\text{min} = 2,53\text{h}$

Para  $CN=75 > 40$  o armazenamento  $S$  será:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 84,67\text{mm}$$

Como o valor  $P=162,05\text{mm}$

$$Q = \frac{(P - 0,2 S)^2}{(P + 0,9 S)} = 91,64\text{mm} = 9,164\text{cm}$$

Portanto, a chuva excedente é 9,164cm

Como  $I_a = 0,2 \cdot S = 0,2 \cdot 84,67\text{mm} = 16,93\text{mm}$

$I_a / P = 16,93\text{mm} / 162,05\text{mm} = 0,10$

Para a chuva Tipo II com  $I_a/P = 0,1$ , conforme Tabela (26.2)

$C_0 = 2,55323$

$C_1 = -0,61512$

$C_2 = -0,16403$

$\log(Q_u) = C_0 + C_1 \cdot \log t_c + C_2 \cdot (\log t_c)^2 - 2,366$

$\log(Q_u) = 2,55323 - 0,61512 \cdot \log(2,53) - 0,16403 \cdot (\log 2,53)^2 - 2,366$

$\log(Q_u) = -0,0874$

$$Q_u = 0,81777 \text{ m}^3/\text{s}/\text{cm}/\text{km}^2$$

$$Q_p = Q_u \cdot A \cdot Q \cdot F_p$$

$$Q_p = 0,81777 \text{ m}^3/\text{s}/\text{cm}/\text{km}^2 \cdot 9,95\text{km}^2 \cdot 9,16\text{cm} \cdot 0,97 = 72,32\text{m}^3/\text{s}$$

Considerando a vazão de base de  $3\text{m}^3/\text{s}$  teremos como vazão de pico de projeto é igual a  $72,32\text{m}^3/\text{s} + 3\text{m}^3/\text{s} = 75,32\text{m}^3/\text{s}$ .

### 26.3 Método SCS do TR-55 para o reservatório de detenção

McCuen,1998 p. 448 apresenta a Equação (26.3) que substitui o gráfico apresentado pelo TR-55.

$$\frac{\text{Volume do reservatório}}{\text{volume de runoff}} = C_0 + C_1 \cdot \alpha + C_2 \cdot \alpha^2 + C_3 \cdot \alpha^3 \quad \text{(Equação 26.3)}$$

Sendo:

Volume do reservatório = volume do piscinão ( $m^3$ );

volume de runoff = volume da chuva excedente ( $m^3$ ). É a altura da chuva multiplicada pela área da bacia nas unidades compatíveis;

$$\alpha = Q_{\text{pré-desenvolvimento}}/Q_{\text{pós-desenvolvimento}}$$

Sendo:

$Q_{\text{pós-desenvolvimento}}$  = vazão de pico ( $m^3/s$ ) depois do desenvolvimento calculado pelo TR-55;

$Q_{\text{pré-desenvolvimento}}$  = vazão de pico ( $m^3/s$ ) antes do desenvolvimento calculado pelo TR-55.

$C_0, C_1, C_2$  e  $C_3$  = coeficientes de análise de regressão da Tabela (26.4)

**Tabela 26.4- Valores dos coeficientes  $C_0, C_1, C_2$  e  $C_3$  em função do tipo de chuva dos Estados Unidos padronizadas pelo SCS.**

Tipo de chuva nos Estados Unidos	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
I, IA	0,660	-1,76	1,96	-0,730
<b>II, III</b>	<b>0,682</b>	<b>-1,43</b>	<b>1,64</b>	<b>-0,804</b>

Fonte: McCuen, 1998 p. 449

O TR-55 recomenda que as estimativas de pico devem ser as calculadas pelo TR-55 e que o procedimento de cálculo do tempo de concentração adotado para o pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento deve ser o mesmo.

O TR-55 adverte que os erros de estimativas são da ordem de 25% (vinte e cinco por cento). De modo geral, o método SCS super-dimensiona o reservatório de detenção (capítulo 6-3, junho de 1986, *Urban Hydrology for Small Watersheds – TR-55*).

#### Exemplo 26.3- Aplicação do TR-55 para o reservatório de detenção.

É o mesmo do piscinão citado no Exemplo (26.1) com  $T_r=25$ anos.

$$Q_{\text{pré}} = 13 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (dado imposto no problema)}$$

$$Q_{\text{pós}} = 58,9 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (calculado pelo TR-55)}$$

$$\alpha = 13/58,9 = 0,22$$

Usando a Equação (26.3) e sendo a chuva escolhida Tipo II conforme Tabela (26.3) teremos os valores de  $C_0, C_1, C_2$  e  $C_3$ .



$$\frac{\text{Volume do reservatório}}{\text{volume de runoff}} = C_0 + C_1 \cdot \alpha + C_2 \cdot \alpha^2 + C_3 \cdot \alpha^3$$

$$\frac{\text{Volume do reservatório}}{\text{volume de runoff}} = 0,682 - 1,43 \cdot 0,22 + 1,64 \cdot 0,22^2 - 0,804 \cdot 0,22^3 = 0,44$$

Como no exercício anterior calculamos a chuva excedente do piscinão do Pacaembu obtivemos  $Q = 8,69\text{cm}$ .

Portanto o volume de runoff deverá ser obtido pela altura de chuva de 8,69cm multiplicado pela área da bacia de  $2,22\text{km}^2$ .

$$\text{Volume de runoff} = (8,69\text{cm}/100) \times 222\text{ha} \times 10.000\text{m}^2 = 192.918\text{m}^3$$

$$\text{Volume do reservatório} = 0,44 \times 192.918 = 84.884\text{m}^3$$

Portanto, usando o método de TR-55 achamos que o volume estimado do piscinão é de  **$84.884\text{m}^3$** .

#### 26.4 Tr-55 para várias bacias

O método TR-55 de 1986 possui um método simples de calcular várias bacias. Para isto se utiliza hidrógrafa tabelada. No caso transcrevemos somente aquela que nos interessa, ou seja, aquela resultante da chuva Tipo II que pode ser usada no Brasil.

Só vale para **chuvas de duração de 24h**.

Nas Tabelas do TR-55 para chuva Tipo II estão no fim do capítulo.

Deve-se observar que:

- tempo de concentração  $t_c \leq 2h$ ;
- tempo de trânsito ou *travel time*  $T_t \leq 3h$ ;
- as áreas de drenagem individuais diferem em áreas menor que um fator 5.

Quando ultrapassarmos as hipóteses acima, teremos que usar o programa de software do SCS denominado **TR-20** que é gratuito.

Uma outra observação a ser feita é:

- arredondamento do  $t_c$  sempre para baixo. Assim  $t_c=1,6h$  deve ser usado a tabela da parte de  $t_c=1,50h$ ;
- O valor do tempo de trânsito  $T_t$  deve ser arredondando sempre para cima.
- O valor de  $I_a/P$  deve ser arredondado para baixo. Assim  $I_a/P=0,15$  deve ser usado  $I_a/P=0,10$ .

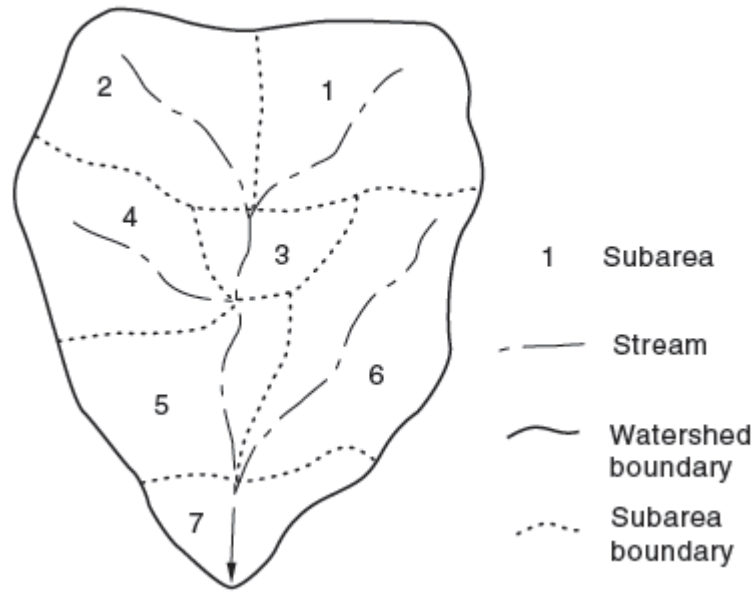
#### Exemplo 26.6

Adaptamos o exemplo do TR-55. Este exemplo também está no livro do Akan, 1993.

Trata-se de calcular a vazão de pico para antes do desenvolvimento para uma bacia com sete sub-bacias, para o período de retorno de 25anos, chuva de 24h Tipo II.

Vamos usar dados de chuva da Região Metropolitana de São Paulo que para chuva de 24h e  $T_r=25$ anos o valor de  $P=123mm$ .

O esquema das subbacias está na Figura (26.3).



**Figura 26.3- Esquema das sete subbacias conforme TR-55, 1986**

**Tabela 26.6- Dados**

1	2	3	4	5	6
	Área	Tc	Travel Time	Áreas a jusante	Travel Time
Sub bacia			horas		até saída
	(km <sup>2</sup> )	(h)	subárea		(h)
1	0,78	1,50		3,5,7	2,50
2	0,52	1,25		3,5,7	2,50
3	0,26	0,50	0,50	5,70	2,00
4	0,65	0,75		5,70	2,00
5	0,52	1,50	1,25	7,00	0,75
6	1,04	1,50		6,00	0,75
7	0,52	1,25	0,75		0,00
	4,27				

Na Tabela (26.6) estão os dados fornecidos discriminados a seguir:

Coluna 1- estão as subbacias numeradas de 1 a 7.

Coluna 2- Área de cada subbacia em km<sup>2</sup>;

Coluna 3- tempo de concentração em hora de cada subbacia até o ponto de saída

Coluna 4- *travel time*, ou trânsito pela área subsequente. Assim a subbacia 3 tem *travel time* de 0,50h enquanto que a subbacia 5 tem *travel time* de 1,25h e a subbacia 7 que é a última tem 0,75h.

Coluna 5- estão as áreas a jusante. Assim a subbacia tem a jusante as subbacias 3; 5 e 7 conforme Figura (26.1).

Coluna 6- Nesta coluna estão os *travel time* da subbacia até a saída final de toda a bacia. Assim a subbacia 1 tem *travel time* de 2,50h para chegar até a saída da bacia. A subbacia 7 que é a última o *travel time* é 0,0h.

**Tabela 26.7- Cálculo do runoff e de Ia/P**

Colu na 1	Colu na 2	Colu na 3	Colu na 4	Colu na 5	Colu na 6	Colu na 7	Colu na 8	Colu na 9
	Área	24horas	Numero	S	Runoff	Abstração		Runoff
Sub bacia		P	Curva		Q	Ia	Ia/P	Q
	(km <sup>2</sup> )	(mm)	CN	(mm)	(mm)	(mm)		(cm)
1	0,78	123	65	137	39,4	27	0,22	3,94
2	0,52	123	70	109	48,8	22	0,18	4,88
3	0,26	123	75	85	59,0	17	0,14	5,90
4	0,65	123	70	109	48,8	22	0,18	4,88

5	0,52	123	75	85	59,0	17	0,14	5,90
6	1,04	123	70	109	48,8	22	0,18	4,88
7	0,52	123	75	85	59,0	17	0,14	5,90

Na Tabela (26.7) está o cálculo do runoff Q e da relação Ia/P importante para utilização do TR-55.

Coluna 1- número das subbacias;

Coluna 2- área em km<sup>2</sup> de cada subbacia;

Coluna 3- Precipitação de 24h para a Região Metropolitana de São Paulo conforme de Martinez e Magno, 1999 e para período de retorno de 25anos adotado.

Coluna 4- número da curva CN fornecido pelo exemplo;

Coluna 5- cálculo do valor de S em mm;

$$25400$$

Sendo:  $S = \frac{25400}{CN} - 254$

Coluna 6- cálculo do runoff Q conforme número da curva CN do SCS

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

Coluna 7- Abstração inicial  $I_a = 0,2 S$

Coluna 9- Relação Ia/P

Coluna 9- Runoff em cm, pois será usado cm e não milímetros.

**Tabela 26.9- Cálculo d e Q x área**

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
	Tc	Travel Time até saída	Ia/P	Área	Runoff f	
Sub bacia	(h)	(h)		(km <sup>2</sup> )	(cm)	Q x Area (cm x km <sup>2</sup> )
1	1,50	2,50	0,22	0,78	3,94	3,06
2	1,25	2,50	0,18	0,52	4,88	2,53
3	0,50	2,00	0,14	0,26	5,90	1,53
4	0,75	2,00	0,18	0,65	4,88	3,16
5	1,50	0,75	0,14	0,52	5,90	3,06
6	1,50	0,75	0,18	1,04	4,88	5,05
7	1,25	0,00	0,14	0,52	5,90	3,06

Na Tabela (26.8) está o cálculo auxiliar de Q x área e que será usado na Tabela (26.9).

**Tabela 26.9- Obtenção dos valores de cfs/mi<sup>2</sup>/in**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	<b>Tc</b>	<b>Travel Time</b>			<b>qt</b>						
<b>Sub-bacia</b>		<b>até saída</b>	<b>Ia/P</b>	<b>Q x Área</b>	<b>cfs/milha<sup>2</sup>/in</b>						
	<b>(h)</b>	<b>(h)</b>		<b>(cm x km<sup>2</sup>)</b>	<b>12,8 h</b>	<b>13,2h</b>	<b>13,6h</b>	<b>14,0h</b>	<b>14,3h</b>	<b>14,6h</b>	<b>15h</b>
1	1,5	2,5	0,1 0	3,06	6	8	11	18	34	69	141
2	1,25	2,5	0,1 0	2,53	7	10	14	28	58	114	197
3	0,5	2	0,1 0	1,53	15	23	65	202	297	280	181
4	0,75	2	0,1 0	3,16	13	20	48	151	245	274	213
5	1,5	0,75	0,1 0	3,06	42	125	222	233	193	148	102
6	1,5	0,75	0,1 0	5,05	42	125	222	233	193	148	102
7	1,25	0	0,1 0	3,06	284	266	163	104	78	61	47

Na Tabela (26.9) estão:

Coluna 1- subbacias a partir da 1 a 7

Coluna 2- Tempo de concentração em horas de cada subbacia;

Coluna 3- *Travel time* de cada subbacia até a saída da bacia;

Coluna 4- estão os valores de Ia/P que serão usados para entrar nas Tabelas do TR-55 para chuva Tipo II estão no fim do capítulo.

Notar que todos os valores de Ia/P são iguais a 0,10, pois toma-se sempre o valor inferior. Como os valores são inferiores a 0,22 e como o valor superior de Ia/P=0,30 toma-se Ia/p=0,10.

Coluna 5- valores dos produtos das áreas pelo runoff em cm.

Coluna 6- são os valores obtidos na Tabelas do TR-55 para chuva Tipo II estão no fim do capítulo.

Entrando com o tempo de concentração tc, o *travel time* e o valor Ia/P para chuva tipo II e 24h de chuva. Notar que tomamos arbitrariamente para inicio o valor de 12,8h.

Escolhemos para efeito didático somente parte do período tabelado que vai de 11h até 24h.

**Tabela 26.10- Mudança de unidades**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Travel Time			qt						
Sub bacia	horas	até saída	Ia/P	Q x Área	$m^3/s/km^2/cm$						
		horas		cm x km <sup>2</sup>	12,8 h	13,2h	13,6h	14,0h	14,3h	14,6h	15h
1	1,5	2,5	0,10	3,06	0,0258	0,0344	0,0473	0,0774	0,1462	0,2967	0,6063
2	1,25	2,5	0,10	2,53	0,0301	0,043	0,0602	0,1204	0,2494	0,4902	0,8471
3	0,5	2	0,10	1,53	0,0645	0,0989	0,2795	0,8686	1,2771	1,204	0,7783
4	0,75	2	0,10	3,16	0,0559	0,086	0,2064	0,6493	1,0535	1,1782	0,9159
5	1,5	0,75	0,10	3,06	0,1806	0,5375	0,9546	1,0019	0,8299	0,6364	0,4386
6	1,5	0,75	0,10	5,05	0,1806	0,5375	0,9546	1,0019	0,8299	0,6364	0,4386
7	1,25	0	0,10	3,06	1,2212	1,1438	0,7009	0,4472	0,3354	0,2623	0,2021

Os valores da Tabela (26.10) são semelhantes aos da Tabela (26.9) com a diferença que fizemos a mudança das unidades para  $m^3/s/km^2/cm$ . Usamos para isto o fator de conversão **0,0043**.

Assim o valor da coluna 7 da Tabela (26.9) foi multiplicado por 0,0043 obtendo-se 0,08 na coluna 6 da Tabela (26.10).

Tabela 26.11- Cálculos de cada subbacia e total

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Tc	Travel Time			qt						
Sub bacia	horas	até saída	Ia/P	Q x Área	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> /cm						
		horas		cm x km <sup>2</sup>	12,8 h	13,2h	13,6h	14,0h	14,3h	14,6h	15h
1	1,50	2,50	0,1	3,06	0,08	0,11	0,14	0,24	0,45	0,91	1,85
2	1,25	2,50	0,1	2,53	0,08	0,11	0,15	0,30	0,63	1,24	2,14
3	0,50	2,00	0,1	1,53	0,10	0,15	0,43	1,33	1,95	1,84	1,19
4	0,75	2,00	0,1	3,16	0,18	0,27	0,65	2,05	3,33	3,72	2,89
5	1,50	0,75	0,1	3,06	0,55	1,64	2,92	3,06	2,54	1,94	1,34
6	1,50	0,75	0,1	5,05	0,91	2,72	4,82	5,06	4,19	3,22	2,22
7	1,25	0,00	0,1	3,06	3,73	3,49	2,14	1,37	1,02	0,80	0,62
					5,63	8,49	11,26	13,41	14,11	13,67	12,25

Na Tabela (26.11) estão os cálculos da multiplicação da coluna 5 por cada valor da coluna 6 a 11 da Tabela (26.10).

Coluna 6-  $3,06 \text{ cm} \times \text{km}^2 \times 0,0258 = 0,08 \text{ m}^3/\text{s}$  e assim por diante.

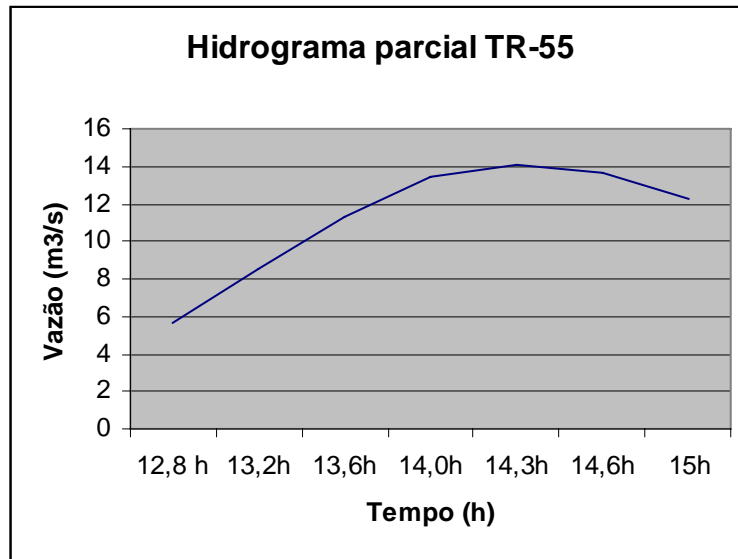
As colunas 6 a 12 tem a sua soma na última linha da Tabela (26.10). Assim a coluna 6 tem soma de  $5,63 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Fazendo-se soma das colunas 7 a 12 obtemos os valores  $8,49 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $11,26 \text{ m}^3/\text{s}$ , etc.

O valor máximo será  $14,11 \text{ m}^3/\text{s}$  que será a máxima vazão das 7 subbacias e que se dará as 14,3h.

Obtemos assim a máxima vazão bem como uma parte do hidrograma conforme Figura (26.4).





**Figura 26.4- Hidrograma parcial usando Tr-55.**

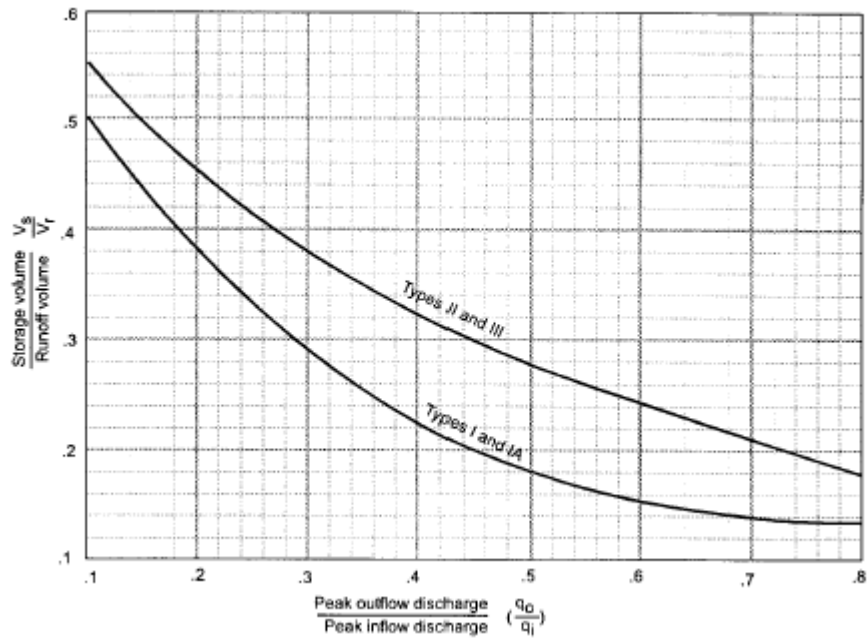


Figura 26.5- Gráfico das relações de pico e de volume para os diferentes tipos de chuvas usados nos Estados Unidos e usado no TR-55.

**Tabelas do TR-55 para chuva Tipo II estão no fim do capítulo.**

**Exhibit 5-II: Tabular hydrograph unit discharges (csm/in) for type II rainfall distribution**

TRVL TIME (hr)	HYDROGRAPH TIME(HOURS)																																
	11.0	11.3	11.6	11.9	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.3	14.6	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	18.0	19.0	20.0	22.0	26.0			
IA/P = 0.10      *** TC = 0.1 HR ***      IA/P = 0.10																																	
0.0	24	34	53	334	647	1010	623	217	147	123	104	86	76	66	57	51	46	42	38	34	32	29	26	23	21	20	19	18	15	13	12	0	
.10	21	29	43	134	267	520	847	701	378	224	157	122	98	75	64	56	50	45	41	36	33	30	27	24	21	20	19	18	16	13	12	0	
.20	18	25	35	61	110	215	418	704	702	486	312	209	151	94	73	62	54	49	44	38	34	31	28	25	22	21	19	18	16	14	12	0	
.30	17	23	33	56	92	174	337	582	662	545	389	269	190	109	79	65	56	50	45	39	35	32	29	25	22	21	20	18	16	14	12	0	
.40	15	20	28	41	51	78	142	272	478	601	563	447	328	172	104	76	63	55	49	42	37	33	29	26	23	21	20	19	17	14	12	0	
.50	14	19	26	39	47	68	117	220	392	531	553	482	380	209	121	84	67	57	51	43	38	33	30	27	24	21	20	19	18	16	13	12	0
.75	12	15	21	29	33	38	49	73	126	224	343	432	464	385	252	156	103	76	62	50	43	36	31	28	25	22	21	19	17	15	12	0	
1.0	9	12	15	21	23	26	29	33	40	55	86	148	238	406	434	317	205	130	89	62	50	41	34	30	27	24	22	20	18	16	14	12	0
1.5	7	8	10	14	15	16	18	20	22	25	29	34	45	101	220	339	373	320	234	131	80	53	40	34	30	27	24	21	19	17	12	2	
2.0	4	6	7	9	9	10	11	12	13	15	16	18	20	25	37	72	150	252	336	312	216	109	58	42	34	30	27	24	20	18	13	8	
2.5	3	4	5	6	7	7	8	8	9	10	11	12	13	16	19	25	39	75	142	262	308	229	108	58	41	34	30	27	22	19	14	11	
3.0	1	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8	10	12	14	17	22	31	76	169	288	236	122	64	43	35	30	24	20	16	11		
IA/P = 0.30      *** TC = 0.1 HR ***      IA/P = 0.30																																	
0.0	0	0	0	154	568	936	524	217	172	149	126	107	97	86	76	69	63	58	53	48	46	42	38	34	31	30	28	27	24	20	19	0	
.10	0	0	0	19	109	415	762	603	346	230	176	143	119	96	84	74	68	62	57	50	47	44	40	35	32	30	29	27	24	21	19	0	
.20	0	0	0	0	13	77	302	609	605	432	297	217	167	115	94	81	73	66	60	53	48	45	41	37	33	31	29	28	25	21	19	0	
.30	0	0	0	0	9	54	219	479	563	476	357	263	199	129	99	85	75	68	62	54	49	45	41	37	33	31	29	28	25	21	19	0	
.40	0	0	0	0	6	38	159	372	500	484	399	309	183	123	96	82	73	66	58	51	46	42	38	34	31	30	28	25	22	19	0		
.50	0	0	0	0	4	27	115	287	429	465	421	346	213	138	103	86	76	68	59	52	47	43	39	34	32	30	29	25	22	19	0		
.75	0	0	0	0	0	1	10	46	132	246	338	381	341	243	165	119	94	80	67	58	50	45	41	37	33	31	29	26	23	19	0		
1.0	0	0	0	0	0	0	1	4	22	69	149	241	357	331	246	170	122	96	76	64	54	47	42	38	34	32	30	27	24	19	0		
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	41	142	258	310	285	224	142	97	71	55	47	43	39	35	32	29	25	20	4	
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	49	130	221	279	255	182	108	70	55	47	42	38	34	30	27	20	11	
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	14	52	119	224	256	193	107	70	55	47	42	38	32	28	22	17		
3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	52	141	240	199	117	74	56	48	43	35	30	24	18			
IA/P = 0.50      *** TC = 0.1 HR ***      IA/P = 0.50																																	
0.0	0	0	0	0	70	539	377	196	171	154	134	117	108	99	89	83	77	72	67	61	59	56	51	46	43	42	40	38	34	30	28	0	
.10	0	0	0	0	47	375	376	256	199	169	146	126	114	102	92	85	79	73	68	62	59	56	52	47	43	42	40	38	34	30	28	0	
.20	0	0	0	0	0	31	260	338	283	227	189	160	138	112	99	90	83	77	72	64	60	57	53	48	44	42	41	39	35	30	28	0	
.30	0	0	0	0	0	0	21	180	285	284	246	208	176	131	110	97	88	82	76	68	62	59	54	50	45	43	41	39	36	31	28	0	
.40	0	0	0	0	0	0	14	125	232	266	253	223	192	142	115	100	91	83	77	69	63	59	55	50	45	43	41	40	36	31	28	0	
.50	0	0	0	0	0	0	9	86	183	239	248	231	205	154	122	104	93	85	79	71	64	59	55	51	46	43	41	40	36	32	28	0	
.75	0	0	0	0	0	0	3	31	87	147	190	211	213	184	147	121	103	92	84	75	67	61	57	52	47	44	42	40	37	32	28	0	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13	45	92	141	205	197	165	134	112	98	84	75	65	59	55	50	46	43	41	38	34	28	0	
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9	51	118	170	183	167	143	111	92	77	65	59	54	50	45	43	39	35	28	2	
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	15	51	103	148	168	156	127	96	76	65	58	54	49	45	41	37	29	12	
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	31	69	131	159	140	101	78	66	59	54	50	43	39	31	24		
3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	46	101	151	134	99	77	65	59	54	45	41	33	26		
RAINFALL TYPE = 11      *** TC = 0.1 HR ***      SHEET 1 OF 10																																	















### Cálculos nas unidades inglesas

Talvez a melhor solução é fazer os cálculos nas unidades inglesas e depois converter cfs para m<sup>3</sup>/s. Devido a isto é que apresentamos o Exemplo (26.7) todo feito nas unidades inglesas para não haver problemas de conversão de unidades.

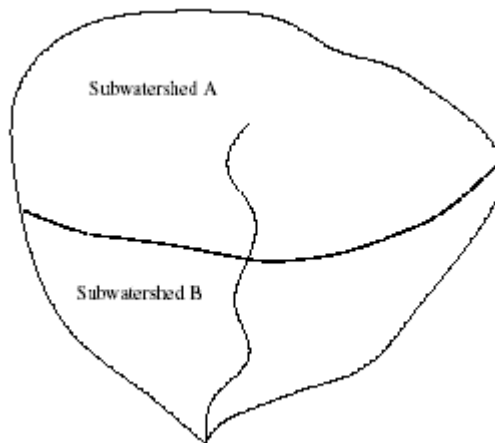
### Exemplo 26.7-

Vamos dar um exemplo que está no capítulo 6, 2005 *Waterware Consultants, Centerville, OH, USA*. Calcular a hidrógrafa de cada subbacia, sendo a subbacia A com 120 acre e a subbacia B com 90 acres conforme Figura (26.6).

Os valores de CN respectivamente são de 75 e 68.

**Tabela 26.12- Fornecimento de dados**

Parâmetro	Subbacia A	Subbacia B
CN	75	68
Tc (tempo de concentração) em horas	0,95	0,60
Tt= travel time (horas)	0,50	0
Área das bacias	120 acres (0,19mi <sup>2</sup> )	90acres (0,14mi <sup>2</sup> )



**Figura 26.6- Subbacias A e B**

#### Para a subbacia A

$$S_a = 1000/CN_a - 10 = 1000/75 - 10 = 3,33 \text{ inches}$$

$$I_a = 0,2S_a = 0,2 \times 3,33 = 0,67 \text{ inches}$$

$$R_a = (P_{24} - 0,2 \times S_a)^2 / (P_{24} + 0,80 \times S_a) = (5,3 - 0,67)^2 / (5,3 + 0,8 \times 3,33) = 2,69 \text{ inches}$$

$$Q(t) = Q_{TR55} \times 0,19 \text{mi}^2 \times R_a = Q \times 0,19 \times 2,69 = 0,5111 \times Q$$

#### Para a subbacia B

$$S_b = 1000/CN_b - 10 = 1000/68 - 10 = 4,71 \text{ inches}$$

$$I_b = 0,2S_b = 0,2 \times 4,71 = 0,94 \text{ inches}$$

$$R_b = (P_{24} - 0,2 \times S_b)^2 / (P_{24} + 0,80 \times S_b) = (5,3 - 0,94)^2 / (5,3 + 0,8 \times 4,71) = 2,10 \text{ inches}$$

$$Q(t) = Q_{TR55} \times 0,134 \text{ in}^2 \times R_a = Q \times 0,14 \times 2,10 = 0,294 \times Q$$

$$Q(t) = Q_{TR55} \times A \times R$$

Consultando a Tabela II para  $t_c = 0,50 \text{ h}$  e *Travel time* = 0,50h

**Achamos para 12h o valor 20 é achado na Tabela para o Tipo II**

$$Q(t) = Q_{TR55} \times 0,19 \text{ mi}^2 \times R_a = Q \times 0,19 \times 2,69 = 0,5111 \times Q$$

$$Q(t) = Q_{TR55} \times 0,19 \text{ mi}^2 \times R_a = Q \times 0,19 \times 2,69 = 0,5111 \times 20 = 10,22 \text{ cfs}$$

**Tabela 26.13- Tabela de cálculos do TR-55 em unidades inglesas**

Tempo	Tabular A	Tabular B	Runoff A	Runoff B	Soma
(h)	(cms/in) Cubic ft /sec Square Mile per inch		(cfs)		(cfs)
1	2	3	4	5	6
					5+5
11,0	8	17	4,09	5,00	9,09
11,3	10	23	5,11	6,76	11,87
11,6	13	32	6,64	9,41	16,05
11,9	18	57	9,20	16,76	25,96
<b>12,0</b>	<b>20</b>	<b>94</b>	<b>10,22</b>	<b>27,64</b>	<b>37,86</b>
12,1	22	170	11,24	49,98	61,22
12,2	25	308	12,78	90,55	103,33
12,3	30	467	15,33	137,30	152,63
12,4	38	529	19,42	155,53	174,95
12,5	53	507	27,09	149,06	176,15
12,6	78	402	39,87	118,19	158,05
12,7	114	297	58,27	87,32	145,58
12,8	159	226	81,26	66,44	147,71
13,0	253	140	129,31	41,16	170,47
13,2	311	96	158,95	28,22	187,18
13,4	300	74	153,33	21,76	175,09
13,6	251	61	128,29	17,93	146,22
13,8	195	53	99,66	15,58	115,25
14,0	149	47	76,15	13,82	89,97
14,3	102	41	52,13	12,05	64,19
14,6	74	36	37,82	10,58	48,41
15,0	53	32	27,09	9,41	36,50
15,5	40	29	20,44	8,53	28,97
16,0	33	26	16,87	7,64	24,51
16,5	29	23	14,82	6,76	21,58
17,0	25	21	12,78	6,17	18,95
17,5	23	20	11,76	5,88	17,64
18,0	21	19	10,73	5,59	16,32
19,0	18	16	9,20	4,70	13,90
20,0	16	14	8,18	4,12	12,29
22,0	12	12	6,13	3,53	9,66
26,0	1	0	0,51	0,00	0,51

