

Capítulo 65
Método de Ven Te Chow

Capítulo 65- Método de Ven Te Chow

65.1 Introdução

O método de Ven Te Chow data de 1962 e é considerado um método pouco usado, embora alguns órgãos de governo do Estado de São Paulo ainda o usem.

Usaremos o Método de Ven Te Chow, conforme Prefeitura Municipal de São Paulo, 1998 elaborado pelos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Quando se aplica um modelo de cálculo se procura fazer a análise, isto é, como o mesmo foi feito. Assim o Método de Ven Te Chow foi feito para bacias rurais em vários estados americanos até 25km² de área para achar a vazão de pico.

Não se deve aplicar o Método de Ven Te Chow em áreas urbanas ou mesmo em áreas rurais acima de 25km² de área, mas mesmo apesar destas observações, o método vem sendo aplicado em bacias urbanas até 50km².

Salientamos que pelo método de Ven Te Chow conseguimos a vazão de pico e hidrograma, embora preferimos usar o Método do SCS quando executamos um routing do reservatório.

65.2 Equação básica

A equação básica do Método de Ven Te Chow usada pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1999 é:

$$Q_p = Q_b + 0,295 \cdot (h_e / t) \cdot A \cdot Z \quad \text{Equação 65.1}$$

Sendo:

Q_p = vazão no tempo “t” em m³/s

Q_b = vazão base na bacia no ponto considerado em m³/s

h_e = chuva excedente em milímetros calculado pelo Método do número da Curva CN do SCS

t = duração da chuva excedente em horas, Conforme PMSP, 1998 devemos pesquisar várias durações de t e escolher aquela que conduz à maior vazão de pico Q_p .

A = área da bacia em km²

t_p = tempo de retardamento em horas, que é o tempo compreendido entre o centro de massa da chuva excedente e o pico do hidrograma unitário.

0,295= resulta da multiplicação de $K=1,06$ vezes 0,278

Z = fator de redução de pico dado pela equação:

$$Z = 0,0037 + 0,8854 \cdot (t / t_p) - 0,2684 \cdot (t / t_p)^2 + 0,0378 \cdot (t / t_p)^3 \quad \text{Equação 65.2}$$

O tempo de retardamento “ t_p ” para áreas rurais conforme Chow in PMSP, 1998 é dado pela equação:

$$t_p = 0,005055 \cdot (L / S^{0,5})^{0,64} \quad \text{Equação 65.3}$$

Sendo:

L = comprimento do álveo desde o divisor de águas até a secção de controle em metros.

S = declividade média do álveo em porcentagem.

t_p = tempo de ascensão em horas

Conforme SCS há uma relação entre t_p e t_c :

$$t_p = 0,6 t_c$$

$$t_c = t_p / 0,6$$

DICA: conforme PMSP, 1998 deve-se pesquisar as várias durações de chuva “t” para ver qual é a maior vazão Qp.

Exemplo 65.1

Baseado em Paulo Sampaio Wilken

Dado uma bacia com $A=11,2 \text{ km}^2$, comprimento do talvegue de 7.040m e declividade média do talvegue de 0,722%. Calcular o tempo de retardamento t_p .

$$t_p = 0,005055 \cdot (L / S^{0,5})^{0,64}$$
$$t_p = 0,005055 \cdot (7040 / 0,722^{0,5})^{0,64}$$
$$t_p = 1,63\text{h}$$

Pelo SCS $t_p=0,6 t_c$ e então $t_c = t_p / 0,6 = 1,63 / 0,6 = 2,67\text{h}$

Adotamos então a duração da chuva maior que 2,67h, isto é, 3h.

65.3 Intervalo Δt

O intervalo Δt deve estar entre $t_c/5$ a $t_c/3$.

Exemplo 65.2

Achar o intervalo conveniente para $t_c=2,67\text{h} = 160,2\text{min}$

$$t_c/5 = 2,67/5 = 0,53\text{h}$$

$$t_c/3 = 2,67/3 = 0,89\text{h}$$

Adotamos $\Delta t=0,50\text{h}$.

65.4 Estimativa do número CN para área urbana

Para área urbana existe sempre uma parcela do solo que é impermeável. Na área impermeável o número CN do solo é $CN=98$. O coeficiente final CN_w composto é a soma composta do coeficiente da área permeável e da área impermeável com o peso correspondente da fração da área impermeável da seguinte forma, conforme (McCuen, 1998).

A equação abaixo é válida quando a porcentagem total da área impermeabilizada é maior que 30% (trinta por cento) da área total.

$$CN_w = CN_p \cdot (1-f) + f \cdot (98)$$

(Equação 65.4)

Sendo:

CN_w = número CN composto da área urbana em estudo;

CN_p = número CN da área permeável da bacia em estudo e

f = fração da área impermeável da bacia em estudo.

Exemplo 65.3

Consideremos área impermeável de 50%, isto é, $f=0,50$.

Como já foi mostrado anteriormente o tipo de solo da região é o tipo B conforme classificação do SCS. Considerando $CN=60$ para área permeável.

Vamos achar o número CN_w composto.

Sendo:

$$CN_p = 60$$

$$f = 0,50$$

$$CN_w = CN_p \cdot (1 - f) + f \cdot (98)$$

$$CN_w = 60 \cdot (1 - 0,50) + 0,50 \cdot (98) = 79$$

Portanto, o número CN que se poderia usar para o cálculo da chuva excedente $CN_w = CN = 79$.

65.5 Estimativa do runoff ou escoamento superficial ou chuva excedente pelo método SCS

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

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad \text{(Equação 65.5)}$$

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 :

$$I_a = 0,2 S \quad \text{(Equação 65.6)}$$

Substituindo o valor de I_a obtemos:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad \text{válida quando } P > 0,2 S \quad \text{(Equação 65.7)}$$

$$\text{sendo } S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{(Equação 65.8)}$$

CN

A Equação (65.7) do valor de Q é válida quando a precipitação $P > 0,2S$.

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

65.6 Intensidade de chuva

Paulo Sampaio Wilken em 1972 obteve para a região Metropolitana de São Paulo por análise de regressão com dados de 1934 a 1959 (26 anos) do pluviógrafo instalado no Parque do Estado na Água Funda E3-035, obtendo a seguinte equação das chuvas:

T_r = período de retorno (anos);

t= duração da chuva (min).

ou pode se apresentar em outras unidades:

$$I = \frac{1747,9 \cdot T_r^{0,181}}{(t + 15)^{0,89}} \quad \text{(mm/h)} \quad \text{(Equação 65.9)}$$

Exemplo 65.4

Calcular a precipitação em 2h para período de retorno $T_r=100$ anos para a RMSP.

$$I = \frac{1747,9 \cdot T_r^{0,181}}{(t + 15)^{0,89}} \quad (\text{mm/h})$$

Transformando 2h em minutos: 2h x 60min= 120min

$$I = \frac{1747,9 \cdot 100^{0,181}}{(120 + 15)^{0,89}} = 4022,69 / 78,70 = 51,11 \text{ mm/h}$$

Em 2horas teremos: $P = I \times 2h = 51,11 \times 2 = 102,22\text{mm}$

P= 102,22mm

Exemplo 65.5

Calcular a chuva excedente para a RMSP com chuva de 2h usando o número da curva $CN = 79$ do SCS.

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

$$S = \frac{25400}{79} - 254 = 67,52\text{mm}$$

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

$$Q = \frac{(102,22 - 0,2 \times 67,52)^2}{(102,22 + 0,8 \times 67,52)} = 50,38\text{mm}$$

O valor Q é chamado h_e no Método Ven Te Chow e portanto $h_e=50,38\text{mm}$

Exemplo 65.6

Calcular o fator de redução Z , dado o tempo de ascensão $t_p=1,63h$ e chuva de 2h;

Para chuva de 2h o valor de $t/t_p = 2/ 1,63= 1,229$

$$Z = 0,0037 + 0,8854 \cdot (t/t_p) - 0,2684 \cdot (t/t_p)^2 + 0,0378 \cdot (t/t_p)^3$$
$$Z = 0,0037 + 0,8854 \cdot (1,229) - 0,2684 \cdot (1,229)^2 + 0,0378 \cdot (1,229)^3$$
$$Z = 0,76$$

65.6 Equação de Paulus

O Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE) adota para área maior que 25 km^2 , a equação de *Paulhus* (*Linsley et al.*,1975):

$$P_{\text{área}} = P_{\text{ponto}} \cdot k \quad \text{(Equação 65.10)}$$

onde:

$P_{\text{área}}$ = precipitação na área

P_{ponto} = precipitação no ponto

$A_0 = 25 \text{ km}^2$

$$K = 1,0 - [0,1 \cdot \log (A / A_0)]$$

Se a área A for menor que 25 km^2 então $K=1$.

Exemplo 65.7 – adaptado de Paulo Sampaio Wilken

Calcular a vazão de pico para a RMSP para área de bacia com $t_p=1,63h$, $A=11,2km^2$, chuva de período de retorno de 100anos, usando a equação de chuvas intensas de Paulo Sampaio Wilken.

Usar também correção se a área da bacia for maior que $25km^2$. O valor de CN basico permeável minimo adotado pelo DAEE é $CN=60$. Consideramos a vazão base = $2m^3/s$. O comprimento do talvegue $L=7040m$ e tem declividade de $0,722\%$

Valor máximo achado $Q= 67m^3/s$ para chuva de 2h

Tabela 65.1- Cálculo do metodo de Ven Te Chow

| Tr (anos) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| K | 1747,9 | 1747,9 | 1747,9 | 1747,9 | 1747,9 | 1747,9 | 1747,9 |
| a | 0,181 | 0,181 | 0,181 | 0,181 | 0,181 | 0,181 | 0,181 |
| b | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| c | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 |
| Duração chuva (h) | 0,80 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 |
| I (mm/h) | 100,72 | 86,24 | 73,32 | 63,92 | 51,11 | 42,75 | 36,85 |
| Correção chuva | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| CN permeável | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| Fração impermeável | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| P (mm) | 80,57 | 86,24 | 91,65 | 95,88 | 102,22 | 106,88 | 110,54 |
| CNw | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 |
| S (mm) | 67,52 | 67,52 | 67,52 | 67,52 | 67,52 | 67,52 | 67,52 |
| he (mm) | 33,42 | 37,72 | 41,93 | 45,27 | 50,38 | 54,19 | 57,22 |
| Qb (m^3/s) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Talvegue (m) | 7040,00 | 7040,00 | 7040,00 | 7040,00 | 7040,00 | 7040,00 | 7040,00 |
| Declividade talvegue (%) | 0,722 | 0,722 | 0,722 | 0,722 | 0,722 | 0,722 | 0,722 |
| t_p (h) | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 |
| t/t_p | 0,492 | 0,615 | 0,768 | 0,922 | 1,229 | 1,536 | 1,844 |
| A (km^2) | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 |
| Z | 0,38 | 0,46 | 0,54 | 0,62 | 0,76 | 0,87 | 0,96 |
| Qb (m^3/s) | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Qp (m^3/s) | 56,3 | 60,7 | 64,1 | 66,0 | 67,0 | 66,1 | 64,5 |

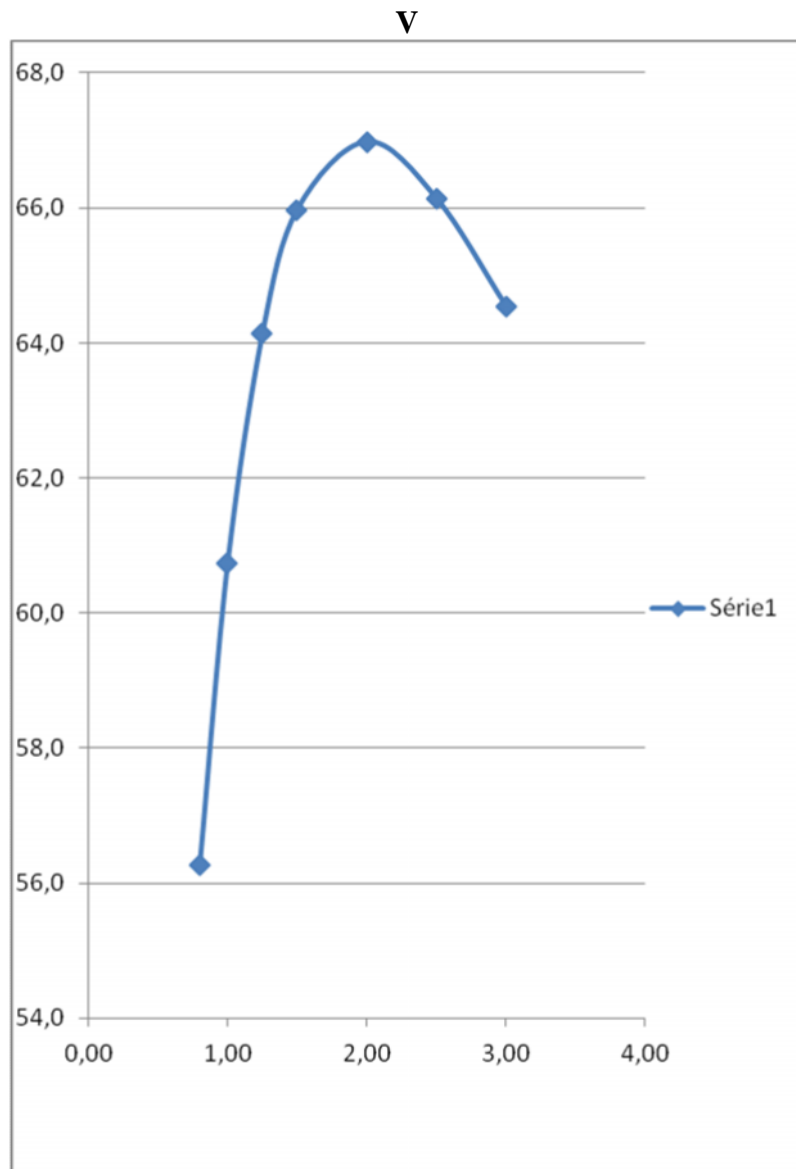


Figura 65.1- Hidrogdama usando Método de Ven Te chow

5.7 Bibliografia e livros consultados

- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. FCTH, PMPS, 1998, 279 páginas.
- WILKEN , PAULO SAMPAIO. *Engenharia de Drenagem Superficial*. São Paulo, Cetesb,1978, 477 páginas.