



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

DP-H04

DIRETRIZES DE PROJETO PARA ESTUDOS

HIDROLÓGICOS

MÉTODO DE “VEN TE CHOW”



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA	
		EMITENTE	
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS	
REFERÊNCIA	ASSUNTO	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	
DP-H04	Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	DATA	30/06/99

ÍNDICE

PÁG.

1.	OBJETIVO	66
2.	ASPECTOS GERAIS	66
3.	MÉTODO DE "VEN TE CHOW"	67
3.1	GENERALIDADES	67
3.2	FÓRMULA BÁSICA PROPOSTA.....	69
3.3	FATORES QUE AFETAM O DEFLÚVIO.....	72
3.4	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE DEFLÚVIO N	73
3.5	DETERMINAÇÃO DO EXCESSO DE CHUVA R_E	75
3.6	DETERMINAÇÃO DO "FATOR DE DEFLÚVIO X "	76
3.7	DETERMINAÇÃO DO "FATOR CLIMÁTICO Y "	77
3.8	DETERMINAÇÃO DO "FATOR DE REDUÇÃO DE PICO Z "	78
3.9	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE "VEN TE CHOW"	86



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

1. OBJETIVO

Esta diretriz tem por objetivo a apresentação do método de "Ven Te Chow" para a determinação da vazão de projeto, bem como suas diretrizes e condições de aplicação nos projetos desenvolvidos para a SVP/PMSP.

2. ASPECTOS GERAIS

A metodologia apresentada pelo Prof. Paulo Sampaio Wilken na publicação de 1978 – "Engenharia de Drenagem Superficial", transcrita a seguir, tem sido a mais utilizada pela sua praticidade nos projetos de drenagem para o município de São Paulo em bacias com área superior a 200 ha.

Como o método foi desenvolvido para bacias rurais, recomenda-se cuidado especial na escolha do Fator de Deflúvio N para bacias urbanas, ou com a possibilidade de serem urbanizadas. Recomenda-se que seja adotado um N por volta de 95, e sempre superior a 90, a menos que parte da bacia seja compreendida por parques ou áreas verdes protegidas.

Em alguns casos, deverá ser feita uma verificação da vazão máxima calculada por essa metodologia, por não levar em conta o efeito da redução do tempo de concentração pela canalização dos cursos d'água abrangidos pela bacia em estudo. O aumento da velocidade de escoamento após a execução de obras de canalização altera, de forma significativa, o tempo de concentração e para verificação pode ser adotado o método "Soil Conservation Service" nos seguintes casos:



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

- Projeto de canalização cuja velocidade de escoamento adotada é superior a 3 m/s em trecho com comprimento superior a 1.000 metros;
- Dimensionamento de obras hidráulicas, cujo curso d'água está canalizado a montante do trecho que está se estudando, ou se pretende canalizar nas condições de velocidade e extensão acima;
- Nos demais casos para obras consideradas como de alto impacto.

3. MÉTODO DE VEN TE CHOW

Transcrição do Cap. 3 da publicação "Engenharia de Drenagem Superficial", P.S. Wilken, 1978.

3.1 GENERALIDADES

O Prof. Ven Te Chow, da Universidade de Illinois nos E.U.A., apresentou, em 1962, um método para a determinação da vazão de projeto para estruturas hidráulicas em bacias pequenas nas zonas rurais ou nos arredores das cidades. Embora a descrição do método, como é apresentada no seu trabalho, Chow, 1962, se refira às investigações e exemplos de cálculo adotando dados hidrológicos e outras condições peculiares a Illinois, os conceitos expostos minuciosamente são aplicáveis universalmente a outras regiões, desde que seja possível obter dados adequados para análise e desenvolvimento semelhantes aos adotados por Chow.

O método proposto tem as seguintes vantagens:



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

- Tem fundamentos analíticos porque é desenvolvido a partir de sólidos princípios hidrológicos; é racional; e quem o emprega pode seguir o processo do seu desenvolvimento; é possível obter, desse modo, um conhecimento total dos princípios hidrológicos em que o mesmo se baseia;
- Os dados necessários ao método são admissíveis para aplicação às condições do local em que se pretende aplicá-lo;
- O critério para a determinação da vazão de projeto é definido claramente;
- Embora o resultado obtido na aplicação do método possa ainda necessitar de alguma supervisão profissional ou revisão para a sua adoção no projeto, o método fornecerá uma só solução, ou pelo menos respostas aproximadas quando aplicado por indivíduos diferentes;
- A aplicação do método é simplificada pelo emprego de nomogramas e tabelas; assim, o engenheiro pode seguir, passo a passo, o seu desenvolvimento e obter o resultado final com grande facilidade;
- O método pode ser melhorado por meio de análises complementares e pesquisas, mediante a acumulação de dados de chuvas e de deflúvio, e experiência no campo; sendo o método baseado em princípios analíticos, a melhoria citada não alterará o programa básico, porque implicará somente na modificação de curvas e diagramas que dependem da parte qualitativa dos dados obtidos.

Da mesma maneira que em outros métodos utilizados em trabalhos científicos e de engenharia o método proposto tem tanto vantagens como desvantagens. A sua maior desvantagem é o fato de que a vazão de projeto por ele determinada é baseada em uma dada



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

freqüência de chuva, em vez de deflúvio. Tal desvantagem se deve à falta de dados de deflúvio para bacias pequenas. A análise de uma quantidade razoável de observações registradas de deflúvio pode superar este problema no futuro.

3.2 FÓRMULA BÁSICA PROPOSTA

O método de Ven Te Chow utiliza o conceito de Hidrograma Unitário e é baseado na síntese do Hidrograma Unitário. O seu desenvolvimento é o seguinte:

O valor máximo de deflúvio direto de uma bacia de drenagem é definido como produto do excesso de chuva pela vazão de pico de um Hidrograma Unitário, ou analiticamente:

$$Q = R_e \cdot q_p$$

na qual:

R_e = excesso de chuva em milímetros para uma dada duração de " t " horas;

q_p = pico do Hidrograma Unitário em litros por segundo de escoamento direto para a duração de " t " horas de excesso de chuva.

Para a obtenção do valor de q_p , empregar-se-á o conceito do “fator de redução de pico”, definido como o quociente da vazão de pico q_p , em litros por segundo, pelo deflúvio direto Q . O valor desse deflúvio, supondo-se que o excesso de chuva seja uniforme sobre uma área A , em hectares, e tenha uma intensidade de chuva de 1 mm por " t " horas, é expresso por:

$$Q = C i A \dots \dots \dots (3.1)$$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE	DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS	
REFERÊNCIA	ASSUNTO	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	
DP-H04	Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	DATA	30/06/99

na qual:

$C = 1,0$ (só é considerado o deflúvio direto)

$l = h/t$ (milímetros por hora)

Fica:

$$Q = A/l$$

Tem-se, então, por definição:

$$Z = q_p t/A \dots\dots\dots (3.1.a)$$

Da qual é obtido:

$$Z = 0,36 q_p t/A \dots\dots\dots (3.1.b)$$

na qual: 0,36 é o fator de redução de mm/h para l/s.ha

Portanto:

$$q_p = \frac{2,78AZ}{t} \dots\dots\dots (3.1.c)$$

Substituindo-se o valor de q_p desta última equação na equação (2.1), obtém-se:

$$Q = \frac{2,78R_eAZ}{t} \dots\dots\dots (3.2)$$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

Nesta expressão, o fator R_e/t pode ser substituído pelo produto de dois fatores: X e Y .

O fator X é um fator de deflúvio expresso por:

$$X = R_e/t \dots\dots\dots (3.3)$$

na qual:

R_{eo} = excesso de chuva em milímetros em uma dada localidade geográfica, adotada como localidade base, aumentada de uma certa porcentagem, para levar em conta o efeito da variação da distribuição da chuva durante o tempo t , de duração da chuva.

O fator Y é um fator climático. Supondo $R_e/R_{eo} = R/R_o$, este fator representa:

$$Y = R/R_o \dots\dots\dots (3.4)$$

na qual:

- R_o = altura de chuva em milímetros na localidade-base;
- R = altura de chuva em milímetros em outra localidade;
- R/R_o = fator de conversão para converter a altura de chuva na localidade-base para a de outra localidade em estudo.

Conseqüentemente, a equação (3.1) pode ser escrita da seguinte forma:

$$Q = 2,78 A X Y Z \text{ (em l/s)} \dots\dots (3.5a)$$

sendo A em hectares e X em milímetros, ou:



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

$$Q = 0,278 A X Y Z \text{ (em m}^3\text{/s)(3.5.b)}$$

Sendo, nesta última, A em quilômetros quadrados e X em milímetros.

Se a vazão de base correspondente ao tempo de pico for Q_b , a vazão de dimensionamento será:

$$Q_d = Q + Q_b \text{(3.6)}$$

Os fatores incluídos na fórmula proposta – equação (3.5.a) – serão discutidos mais à frente.

3.3 FATORES QUE AFETAM O DEFLÚVIO

Os fatores incluídos na fórmula proposta e que afetam o deflúvio, considerados no método apresentado por Ven Te Chow, podem ser divididos em dois grupos. O primeiro afeta diretamente a quantidade de excesso de chuva ou deflúvio direto e consiste, principalmente, do uso da terra, condição da superfície, tipo de solo, quantidade e duração da chuva. O segundo afeta a distribuição do deflúvio direto, incluindo o tamanho e a forma da bacia contribuinte, a declividade do terreno, e a medida do efeito de retenção tal como o tempo de ascensão. Esta distribuição de deflúvio direto é expressa em termos do Hidrograma Unitário.

Pode existir uma certa interferência entre os dois grupos de fatores acima mencionados; todavia, ela é desconhecida. Para fins práticos, é possível supor que ela não afeta a relação entre o deflúvio direto e o excesso de chuva. Esta hipótese constitui a base sobre a qual foi estabelecida a equação (3.1).



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE	DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS	
REFERÊNCIA	ASSUNTO	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H04	Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"		30/06/99

Ven Te Chow verificou que os dados empregados no método do "Soil Conservation Service" podem ser usados na avaliação do excesso de chuva ou deflúvio direto. Tais dados, entretanto, foram modificados por Chow visando o emprego do seu método.

Os números representativos do complexo "hydrological soil cover" usados pelo SCS para representar diferentes usos da terra, condições de superfície e tipos de solos foram modificados com o auxílio de outros dados e foram denominados "números de deflúvio". A Tabela 3.1, dá os valores dos números de deflúvio N . Os tipos de solos são classificados pelo SCS de acordo com as características de deflúvio do material, conforme indica a observação contida na mesma tabela.

3.4 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE DEFLÚVIO N

A determinação do número de deflúvio N é feita, considerando-se tanto a cobertura do solo como o tipo de solo.

A cobertura do solo, sob o ponto de vista hidrológico, é classificada como boa, regular ou pobre, dependendo da sua capacidade de infiltração. Uma cobertura de solo de alta, média ou baixa capacidade de infiltração é referida como sendo, respectivamente, de condição boa, regular ou média.

Os tipos de solo são classificados em base ao seu conteúdo de água ao fim de chuvas de longa duração ocorrendo depois de prévio umedecimento e oportunidade para inchamento, sem os efeitos protetores da vegetação.

Os valores do número de deflúvio N , para uma condição de deflúvio composta, são obtidos como média ponderada.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

Tabela 3.1

Valores do número de deflúvio N

Utilização da Terra	Condições de Superfície	Tipos de solo da área			
		A	B	C	D
Terrenos cultivados	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	73	79	82
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou campos cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estradas de terra	Normais	59	74	82	86
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

(continuação...)

Tabela 3.1

Valores do número de deflúvio N

Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76
Superfícies impermeáveis	Áreas urbanizadas	100	100	100	100

Observações:

O solo tipo A é o de mais baixo potencial de deflúvio. Terrenos muito permeáveis, com pouco silte ou argila.

O solo tipo B tem uma capacidade de infiltração acima da média após o completo umedecimento. Inclui solos arenosos.

O solo tipo C tem uma capacidade de infiltração abaixo da média, após a pré-saturação. Contém porcentagem considerável de argila e colóide.

O solo tipo D é o de mais alto potencial de deflúvio. Terrenos quase impermeáveis junto à superfície. Argiloso.

3.5 DETERMINAÇÃO DO EXCESSO DE CHUVA R_e

Depois de determinado o número de deflúvio N , o valor de R_e , excesso de chuva para uma dada altura de chuva R , é calculado pela fórmula proposta pelo "Soil Conservation Service", já citada anteriormente, que é a seguinte para o sistema métrico:

$$R_e = \frac{(R - 5080 / N + 50,8)^2}{R + 20320 / N - 203,2} \dots\dots\dots (3.7)$$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

na qual R e R_e são dados em milímetros.

3.6 DETERMINAÇÃO DO "FATOR DE DEFLÚVIO X "

Determinados o número de deflúvio N e o excesso de chuva R_e , ou o deflúvio direto para uma dada altura de chuva R , o fator de deflúvio X pode ser calculado pela equação (3.3).

Considerando a cidade de Urbana, Illinois (USA), como localidade-base, Chow apresenta no seu trabalho os valores referentes a alturas de chuva para várias freqüências e durações. Os resultados dos cálculos para freqüência de 5, 10, 25, 50, 75 e 100 anos indicam os valores dos fatores X . Nestes cálculos, Chow supôs um padrão de distribuição de chuva não uniforme em uma chuva média. Pelo método do Hidrograma, foi possível determinar um efeito aproximado de tal distribuição não uniforme de chuva. O efeito foi estimado resultar num aumento de 6%, aproximadamente, do pico de vazão. Esta correção foi aplicada aos valores calculados dos fatores de deflúvio. No cálculo, Chow supôs que a duração da chuva é aproximadamente igual à do excesso de chuva.

Cumprir notar que, em lugar do uso de chuva de uma certa freqüência na determinação do pico de vazão para o projeto, é possível usar dados de chuvas máximas ou chuvas de certos valores limites, se eles forem possíveis de se obter para a localidade em estudo. O cálculo do Fator de Deflúvio X pode ser feito de modo semelhante.

Os valores indicados nas Tabelas 3.2 a 3.7 foram calculados pelo autor com dados de chuvas da cidade de São Paulo, para as freqüências de 5 a 100 anos. Os cálculos foram efetuados pelos mesmos processos adotados por Chow, acima mencionados. Assim, para se



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H04	Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"		30/06/99

utilizar os dados constantes das mesmas, é preciso assumir como localidade-base a cidade de São Paulo, ou mais especificamente, o Observatório de São Paulo em Água Funda.

3.7 DETERMINAÇÃO DO "FATOR CLIMÁTICO Y"

As Tabelas 3.2 a 3.7 foram organizadas com dados pluviométricos da cidade de São Paulo. Para outras localidades, converte-se a altura de chuva de São Paulo na altura de chuva da localidade sob consideração, usando-se a equação (3.4); assim, para São Paulo $Y = 1,0$. Chow, aproveitando trabalhos de terceiros para o Estado de Illinois, dividiu a sua área em quatro regiões de mesmas condições climáticas e determinou para cada uma delas o valor da relação R/R_0 ; o mesmo poderia ser feito para o Estado de São Paulo.

Exemplo de cálculo:

Determinar o fator climático Y para a região de Brasília, considerando um período de retorno de 10 anos e um tempo de duração de chuva de 2 horas.

Adotar como localidade-base a cidade de São Paulo.

Para Brasília: $t = 2$ horas e $T = 10$ anos. A respectiva altura da chuva é: $R = 48,8$ mm.

Para São Paulo: $t = 2$ horas e $T = 10$ anos. A equação de chuvas deu a altura: $R = 68,2$ mm.

Valor do Fator Climático para Brasília: $Y = 0,72$.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

3.8 DETERMINAÇÃO DO "FATOR DE REDUÇÃO DE PICO Z"

O fator de redução de Z , definido na equação (3.1.a), é, essencialmente, a relação entre o pico de vazão de um Hidrograma Unitário, devido à chuva de uma dada duração, e o deflúvio da mesma intensidade de chuva continuando indefinidamente. Quando o pico de vazão do Hidrograma Unitário, a duração da chuva e a área da bacia de drenagem forem conhecidos, o fator de redução de pico Z pode ser determinado pela equação (3.1.a). Chow, na descrição do seu método, utilizou dados hidrológicos da região do Meio Oeste dos Estados Unidos, incluindo 53 chuvas ou 60 picos de vazão cobrindo 20 bacias pequenas, de áreas variando de 1,12 ha a 1.832 ha. Com estes dados, Chow organizou um diagrama cartesiano, no qual figuraram em ordenadas os valores dos fatores de redução de pico Z e nas abcissas a relação t/t_p , tempo de duração da chuva dividido pelo tempo de ascensão. Pelos pontos marcados no diagrama interpolou uma curva a ser empregada na determinação do fator de redução do pico Z , quando não se dispuser de outros dados. O limite superior da curva terá as coordenadas $Z = 1$ para $t/t_p = 2$ porque t_p é a metade de t , segundo a definição de t_p . Para emprego dos dados desse diagrama, foi organizada a Tabela 3.8.

Com os mesmos dados hidrológicos, Chow obteve a seguinte fórmula empírica para a determinação do tempo de ascensão t_p , por correlação com o comprimento e a declividade do curso d'água:

$$t_p = 0,005055(L / \sqrt{i})^{0,64} \dots\dots\dots(3.8)$$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

Tabela 3.2

Fator de deflúvio X para T = 5 anos

Duração (horas)	Precipitação (mm)	Período de Retorno T= 5								
		Fator de deflúvio X para N igual a:								
		100	95	90	85	80	75	70	65	60
0,10										
0,20	29,830	149,149	90,989	55,806	33,138	18,196	8,524	2,777	-	-
0,30	35,278	117,592	77,077	50,593	32,443	19,740	10,889	4,969	1,446	-
0,40	38,915	97,287	66,188	45,002	29,991	19,150	11,327	5,831	2,253	0,365
0,50	41,720	83,441	58,176	40,483	27,660	18,205	11,227	6,179	2,731	0,696
0,60	44,035	73,392	52,098	36,876	25,658	17,256	10,953	6,307	3,022	0,960
0,80	47,771	59,714	43,482	31,533	22,509	15,598	10,291	6,266	3,315	1,319
1,00	50,767	50,767	37,632	27,760	20,172	14,267	9,660	6,099	3,422	1,534
1,25	53,869	43,095	32,476	24,337	17,978	12,954	8,975	5,847	3,445	1,691
1,50	56,495	37,664	28,742	21,801	16,308	11,918	8,399	5,599	3,412	1,778
2,00	60,829	30,414	23,643	18,256	13,910	10,375	7,494	5,157	3,291	1,852
2,50	64,367	25,747	20,282	15,864	12,250	9,272	6,813	4,792	3,153	1,862
3,00	67,383	22,461	17,877	14,123	11,018	8,434	6,279	4,489	3,021	1,846
4,00	72,392	18,098	14,625	11,728	9,291	7,231	5,487	4,017	2,789	1,785
5,00	76,503	15,301	12,502	10,135	8,119	6,395	4,920	3,662	2,599	1,715
6,00	80,020	13,337	10,991	8,986	7,262	5,774	4,489	3,384	2,440	1,648
7,00	83,110	11,873	9,853	8,111	6,601	5,289	4,147	3,158	2,307	1,585
8,00	85,877	10,735	8,951	7,419	6,074	4,897	3,868	2,970	2,192	1,528
9,00	88,390	9,821	8,239	6,856	5,641	4,573	3,634	2,810	2,093	1,476
10,00	90,697	9,070	7,642	6,386	5,278	4,299	3,434	2,672	2,005	1,428

Obs.: (1) Valores recalculados com base no formulário apresentado:

$$R_e = \frac{\left(R - \frac{5080}{N} + 50,8 \right)}{\left(R + \frac{20320}{N} - 203,2 \right)}; X = \frac{R_e}{t}$$

(2) Intensidade de precipitação para o posto IAG, conforme determinado pelo FCTH, 1995.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

Tabela 3.3
Fator de deflúvio X para T = 10 anos

Duração (horas)	Precipitação (mm)	Fator de deflúvio X para N igual a:								
		Período de Retorno T= 10								
		100	95	90	85	80	75	70	65	60
0,10										
0,20	35,028	175,141	114,474	74,941	47,915	29,043	15,931	7,196	2,039	-
0,30	41,425	138,085	96,041	66,678	45,447	29,824	18,318	10,019	4,376	1,077
0,40	45,696	114,241	82,059	58,739	41,359	28,207	18,234	10,777	5,423	1,931
0,50	48,991	97,982	71,886	52,507	37,763	26,396	17,609	10,890	5,911	2,480
0,60	51,709	86,182	64,218	47,607	34,775	24,741	16,875	10,763	6,136	2,835
0,80	56,096	70,120	53,412	40,442	30,196	22,022	15,482	10,286	6,239	3,224
1,00	59,613	59,613	46,113	35,438	26,870	19,933	14,304	9,762	6,157	3,398
1,25	63,257	50,605	39,705	30,936	23,791	17,928	13,105	9,158	5,972	3,477
1,50	66,341	44,227	35,079	27,621	21,474	16,375	12,138	8,631	5,766	3,484
2,00	71,429	35,715	28,782	23,018	18,184	14,109	10,670	7,778	5,371	3,410
2,50	75,584	30,234	24,645	19,933	15,930	12,515	9,601	7,121	5,029	3,298
3,00	79,126	26,375	21,691	17,697	14,270	11,320	8,779	6,597	4,739	3,182
4,00	85,007	21,252	17,708	14,636	11,960	9,625	7,585	5,809	4,274	2,966
5,00	89,835	17,967	15,114	12,611	10,406	8,461	6,746	5,237	3,919	2,781
6,00	93,965	15,861	13,272	11,155	9,275	7,603	6,116	4,798	3,636	2,624
7,00	97,593	13,942	11,886	10,051	8,409	6,938	5,622	4,447	3,405	2,489
8,00	100,842	12,605	10,800	9,179	7,719	6,404	5,221	4,159	3,211	2,373
9,00	103,794	11,533	9,924	8,470	7,155	5,964	4,887	3,916	3,045	2,271
10,00	106,503	10,650	9,199	7,881	6,683	5,594	4,605	3,709	2,901	2,180

Obs.: (1) Valores recalculados com base no formulário apresentado:

$$R_e = \frac{\left(R - \frac{5080}{N} + 50,8 \right)}{\left(R + \frac{20320}{N} - 203,2 \right)}; X = \frac{R_e}{t}$$

(2) Intensidade de precipitação para o posto IAG, conforme determinado pelo FCTH, 1995.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

Tabela 3.4

Fator de deflúvio X para T = 25 anos

Duração (horas)	Precipitação (mm)	Período de Retorno T= 25								
		Fator de deflúvio X para N igual a:								
		100	95	90	85	80	75	70	65	60
0,10										
0,20	41,586	207,982	144,860	100,706	68,738	45,186	27,818	15,271	6,716	1,687
0,30	49,193	183,977	120,451	88,081	63,425	44,395	29,868	18,392	10,024	4,240
0,40	54,265	135,662	102,435	76,909	56,925	41,109	28,559	18,674	11,061	5,483
0,50	58,177	116,355	89,460	68,347	51,510	37,956	27,020	18,248	11,338	6,104
0,60	61,405	102,342	79,737	61,704	47,123	35,236	25,525	17,631	11,313	6,420
0,80	66,815	83,268	66,105	52,097	40,541	30,946	22,965	16,354	10,946	6,634
1,00	70,792	70,792	56,943	45,456	35,842	27,754	20,940	15,221	10,470	6,610
1,25	75,118	60,094	48,927	39,523	31,547	24,753	18,959	14,036	9,891	6,465
1,50	78,780	52,520	43,157	35,181	28,345	22,465	17,405	13,063	9,369	6,277
2,00	84,823	42,412	35,326	28,186	23,842	19,177	15,106	11,563	8,502	5,893
2,50	89,757	35,903	30,197	25,192	20,785	16,898	13,469	10,454	7,821	5,548
3,00	93,963	31,321	26,543	22,310	18,550	15,206	12,232	9,595	7,272	5,247
4,00	100,947	25,237	21,626	18,382	15,461	12,830	10,461	8,335	6,436	4,758
5,00	106,680	21,336	18,432	15,795	13,397	11,217	9,236	7,441	5,824	4,379
6,00	111,584	18,597	16,167	13,942	11,904	10,036	8,327	6,767	5,350	4,075
7,00	115,893	16,556	14,466	12,540	10,763	9,126	7,619	6,235	4,970	3,824
8,00	119,752	14,969	13,135	11,435	9,859	8,399	7,048	5,802	4,657	3,613
9,00	123,256	13,695	12,061	10,539	9,122	7,802	6,577	5,440	4,392	3,432
10,00	126,473	12,647	11,173	9,795	8,506	7,302	6,178	5,133	4,185	3,274

Obs.: (1) Valores recalculados com base no formulário apresentado:

$$R_s = \frac{\left(R - \frac{5080}{N} + 50,8 \right)}{\left(R + \frac{20320}{N} - 203,2 \right)}; X = \frac{R_s}{t}$$

(2) Intensidade de precipitação para o posto IAG, conforme determinado pelo FCTH, 1995.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

Tabela 3.5

Fator de deflúvio X para T = 50 anos

Duração (horas)	Precipitação (mm)	Período de Retorno T= 50								
		Fator de deflúvio X para N igual a:								
		100	95	90	85	80	75	70	65	60
0,10										
0,20	48,469	232,345	167,766	120,890	85,425	58,618	38,193	22,836	11,720	4,365
0,30	54,956	183,186	138,786	104,540	77,637	56,279	39,278	25,842	15,450	7,785
0,40	60,621	151,564	117,713	90,820	69,144	51,527	37,175	25,546	16,272	9,126
0,50	64,992	129,985	102,623	80,442	62,252	47,231	34,804	24,567	16,245	9,686
0,60	68,598	114,331	91,350	72,446	56,741	43,616	32,632	23,475	15,927	9,852
0,80	74,418	93,022	75,594	60,954	48,561	38,025	29,058	21,452	15,061	9,793
1,00	79,084	79,084	65,033	53,052	42,776	33,929	26,310	19,767	14,196	9,530
1,25	83,917	67,134	55,811	46,024	37,523	30,119	23,669	18,068	13,239	9,135
1,50	88,009	58,673	49,185	40,896	33,627	27,239	21,624	16,705	12,423	8,745
2,00	94,759	47,380	40,206	33,840	28,176	23,131	18,837	14,648	11,126	8,053
2,50	100,271	40,108	34,336	29,155	24,497	20,305	16,536	13,156	10,143	7,482
3,00	104,970	34,990	30,158	25,783	21,816	18,219	14,959	12,014	9,367	7,009
4,00	112,772	28,193	24,544	21,197	18,125	15,306	12,721	10,359	8,210	6,270
5,00	119,177	23,835	20,902	18,186	15,670	13,340	11,186	9,200	7,377	5,716
6,00	124,655	20,776	18,322	16,033	13,897	11,906	10,053	8,332	6,741	5,281
7,00	129,469	18,496	16,386	14,406	12,548	10,805	9,174	7,651	6,236	4,928
8,00	133,779	16,722	14,872	13,126	11,479	9,928	8,469	7,100	5,822	4,634
9,00	137,694	15,299	13,651	12,089	10,609	9,210	7,888	6,643	5,474	4,385
10,00	141,289	14,129	12,642	11,228	9,884	8,608	7,398	6,255	5,178	4,170

Obs.: (1) Valores recalculados com base no formulário apresentado:

$$R_e = \frac{\left(R - \frac{5080}{N} + 50,8 \right)}{\left(R + \frac{20320}{N} - 203,2 \right)}; X = \frac{R_e}{t}$$

(2) Intensidade de precipitação para o posto IAG, conforme determinado pelo FCTH, 1995.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

Tabela 3.6

Fator de deflúvio X para T = 75 anos

Duração (horas)	Precipitação (mm)	Período de Retorno T= 75								
		Fator de deflúvio X para N igual a:								
		100	95	90	85	80	75	70	65	60
0,10										
0,20	49,301	246,506	181,189	132,578	95,528	66,915	44,759	27,784	15,174	6,447
0,30	58,305	194,350	149,510	114,288	86,179	63,542	45,267	30,600	19,039	10,274
0,40	64,316	160,791	126,642	99,040	76,461	57,860	42,506	29,888	19,660	11,602
0,50	68,953	137,907	110,310	87,577	68,668	52,849	39,595	28,533	19,404	12,045
0,60	72,779	121,299	98,130	78,776	62,475	48,680	36,993	27,125	18,876	12,119
0,80	78,953	98,692	81,131	66,164	53,331	42,287	32,778	24,616	17,668	11,851
1,00	83,904	83,904	69,751	57,518	46,892	37,638	29,578	22,577	16,542	11,413
1,25	89,032	71,226	59,626	49,841	41,065	33,335	26,527	20,550	15,336	10,844
1,50	93,373	62,248	52,699	44,250	36,754	30,094	24,179	18,940	14,329	10,316
2,00	100,535	50,267	43,050	36,569	30,738	25,490	20,768	16,532	12,754	9,417
2,50	106,382	42,553	36,747	31,477	26,688	22,334	18,381	14,801	11,577	8,697
3,00	111,367	37,122	32,283	27,816	23,742	20,011	16,597	13,483	10,656	8,111
4,00	119,645	29,911	26,244	22,845	19,694	16,776	14,075	11,584	9,296	7,211
5,00	126,440	25,288	22,340	19,584	17,006	14,598	12,352	10,262	8,328	6,544
6,00	132,252	22,042	19,577	17,255	15,069	13,013	11,083	9,275	7,589	6,026
7,00	137,359	19,623	17,503	15,496	13,596	11,798	10,102	8,504	7,005	5,606
8,00	141,933	17,742	15,883	14,113	12,431	10,832	9,315	7,881	6,529	5,262
9,00	146,086	16,232	14,576	12,994	11,482	10,041	8,668	7,364	6,131	4,970
10,00	149,900	14,990	13,497	12,065	10,693	9,379	8,124	6,927	5,791	4,718

Obs.: (1) Valores recalculados com base no formulário apresentado:

$$R_e = \frac{\left(R - \frac{5080}{N} + 50,8 \right)}{\left(R + \frac{20320}{N} - 203,2 \right)}; X = \frac{R_e}{t}$$

(2) Intensidade de precipitação para o posto IAG, conforme determinado pelo FCTH, 1995.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

Tabela 3.7

Fator de deflúvio X para T = 100 anos

Duração (horas)	Precipitação (mm)	Período de Retorno T= 100								
		Fator de deflúvio X para N igual a:								
		100	95	90	85	80	75	70	65	60
0,10										
0,20	51,306	256,528	190,730	141,097	102,838	72,983	49,625	31,515	17,847	8,141
0,30	60,676	202,252	157,125	121,254	92,334	68,824	49,669	34,144	21,760	12,214
0,40	66,931	167,328	132,978	104,908	81,723	62,452	46,408	33,104	22,206	13,504
0,50	71,757	143,514	115,765	92,667	73,277	56,916	43,094	31,459	21,765	13,856
0,60	75,738	126,231	102,940	83,288	66,590	52,340	40,171	29,812	21,073	13,835
0,80	82,164	102,704	85,057	69,877	56,748	45,362	35,483	26,937	19,601	13,398
1,00	87,316	87,316	73,097	60,697	49,839	40,310	31,949	24,633	18,276	12,823
1,25	92,652	74,121	62,671	52,558	43,598	35,648	28,598	22,362	16,881	12,119
1,50	97,169	64,779	55,189	46,636	38,989	32,146	26,027	20,569	15,729	11,483
2,00	104,622	52,311	45,065	38,509	32,568	27,183	22,307	17,903	13,947	10,426
2,50	110,707	44,283	38,455	33,127	28,251	23,789	19,712	15,996	12,625	9,594
3,00	115,895	38,632	33,755	29,260	25,116	21,295	17,778	14,549	11,598	8,923
4,00	124,510	31,127	27,447	24,015	20,812	17,828	15,050	12,471	10,088	7,901
5,00	131,581	26,316	23,359	20,576	17,958	15,498	13,189	11,029	9,015	7,151
6,00	137,629	22,938	20,465	18,122	15,904	13,805	11,823	9,956	8,204	6,571
7,00	142,944	20,421	18,295	16,270	14,342	12,508	10,767	9,119	7,564	6,105
8,00	147,704	18,463	16,599	14,814	13,108	11,477	9,922	8,443	7,042	5,720
9,00	152,026	16,892	15,231	13,636	12,103	10,634	9,227	7,884	6,606	5,396
10,00	155,994	15,599	14,102	12,659	11,268	9,929	8,644	7,411	6,235	5,117

Obs.: (1) Valores recalculados com base no formulário apresentado:

$$R_e = \frac{\left(R - \frac{5080}{N} + 50,8 \right)}{\left(R + \frac{20320}{N} - 203,2 \right)}; X = \frac{R_e}{t}$$

(2) Intensidade de precipitação para o posto IAG, conforme determinado pelo FCTH, 1995.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

Tabela 3.8**Fatores de redução de pico de vazão****Valores de Z em função da relação: duração da chuva t /tempo de ascensão t_p**

t/t_p	Z	t/t_p	Z	t/t_p	Z	t/t_p	Z	t/t_p	Z
0,05	0,04	0,46	0,36	0,84	0,58	1,22	0,75	1,60	0,90
0,10	0,08	0,48	0,38	0,86	0,59	1,24	0,76	1,62	0,90
0,12	0,10	0,50	0,39	0,88	0,59	1,26	0,77	1,64	0,91
0,14	0,12	0,52	0,40	0,90	0,60	1,28	0,78	1,66	0,91
0,16	0,14	0,54	0,41	0,92	0,61	1,30	0,79	1,68	0,92
0,18	0,16	0,56	0,42	0,94	0,62	1,32	0,80	1,70	0,92
0,20	0,18	0,58	0,44	0,96	0,63	1,34	0,81	1,72	0,93
0,22	0,19	0,60	0,45	0,98	0,64	1,36	0,82	1,74	0,93
0,24	0,20	0,62	0,46	1,00	0,65	1,38	0,82	1,76	0,94
0,26	0,22	0,64	0,47	1,02	0,66	1,40	0,82	1,78	0,94
0,28	0,24	0,66	0,48	1,04	0,67	1,42	0,83	1,80	0,95
0,30	0,25	0,68	0,49	1,06	0,68	1,44	0,84	1,82	0,95
0,32	0,26	0,70	0,50	1,08	0,69	1,46	0,85	1,84	0,96
0,34	0,28	0,72	0,51	1,10	0,70	1,48	0,86	1,86	0,96
0,36	0,29	0,74	0,52	1,12	0,71	1,50	0,86	1,88	0,97
0,38	0,30	0,76	0,54	1,14	0,72	1,52	0,87	1,90	0,97
0,40	0,32	0,78	0,55	1,16	0,73	1,54	0,88	1,92	0,98
0,42	0,33	0,80	0,56	1,18	0,74	1,56	0,88	1,94	0,98
0,44	0,34	0,82	0,57	1,20	0,74	1,58	0,89	1,96	0,99

na qual t_p é o tempo de ascensão em horas, L é o comprimento do leito do curso d'água em metros (medido ao longo do leito desde o ponto de medida até a extremidade superior do leito e atingindo o ponto mais afastado da bacia de drenagem), I é a declividade média do leito do curso d'água em porcentagem.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H04	Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”		30/06/99

3.9 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE “VEN TE CHOW”

O processo de cálculo da vazão de projeto pelo Método de “Ven Te Chow” obedece à seguinte rotina:

- a) O estudo geológico da bacia de drenagem indicará o tipo de solo. Consultando-se a Tabela 3.1, determina-se o número de deflúvio N para o tipo do solo e as condições dadas de cobertura e de superfície. Se a bacia de drenagem tiver mais de um tipo de solo ou condições de cobertura e de superfície, o número de deflúvio N será determinado como foi esclarecido no item 3.4;
- b) Escolher uma certa duração de chuva t ; as Tabelas 3.2 a 3.7 dão os valores da altura de chuva correspondentes à duração e ao período de retorno T ;
- c) O excesso de chuva R_e é calculado pela equação (3.7);
- d) O fator de deflúvio X pode ser calculado pela equação (3.3). Não obstante, as Tabelas 3.2 a 3.7 dão os valores do fator de deflúvio X em função de T , t e N , evitando as operações indicadas nos itens b e c ;
- e) Determinar o Fator Climático Y por meio da equação (3.4);
- f) Determinar o tempo de ascensão t_p por meio da equação (3.8), medindo na planta da bacia os valores de L e de I . A declividade I é a declividade média do álveo determinada da maneira indicada na Figura 3.1;



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

- g) Calcular a relação t/t_p ;
- h) Por meio da Tabela 3.8 calcular o valor do coeficiente de redução de pico Z ;
- i) Calcular a vazão de projeto pela equação (3.5a);
- j) Repetir as operações para outras durações “ t ” de chuvas;
- k) Traçar o diagrama vazão-duração. Por definição, o maior valor da vazão assim obtido é a vazão de projeto Q ;
- l) Existindo caudal permanente ou vazão de base Q_b , este deve ser somado a Q . Tem-se, então, conforme a equação (3.6):

$$Q_d = Q + Q_b$$

na qual Q_d é a vazão de dimensionamento da estrutura ou do canal.

Exemplo de cálculo da vazão de projeto para dimensionamento da canalização do Córrego Lajeado, no município de São Paulo, entre a sua foz no Rio Tietê e a desembocadura do seu afluente, junto aos trilhos da Rede Ferroviária Federal:

- a) Tipos de solos e números de deflúvio.

Uma analogia entre os tipos de solos, cobertura e uso da terra, descritos na Tabela 3.1, e os da bacia do córrego Lajeado indica que o solo enquadra-se bem no tipo C , isto é, solo argilo-arenoso, com baixa capacidade de infiltração.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99

O maior problema, todavia, reside na determinação do modo de utilização do solo, no futuro. Não se dispondo de dados mais seguros para um estudo estatístico, admite-se que 50% da área seja impermeável (ruas, edificações, pavimentações, coberturas, etc.). Com base nestas porcentagens, a situação no futuro está indicada na Tabela 3.9.

Tabela 3.9

Cálculo do número de deflúvio N médio a ser adotado

PORCENTAGEM DE ÁREA	NÚMERO DE DEFLÚVIO	
	N	% DE N
Impermeável (50%)	100	50,0
Permeável (50%)	74	37,0
Total		87,0
Número de deflúvio adotado:	$N = 90$	

b) Fatores de deflúvio X

Foi escolhido o período de retorno $T = 25$ anos. A Tabela 3.4 dá os valores de X para as durações escolhidas e para $N = 90$.

c) Fator climático Y

Adotando-se a cidade de São Paulo como localidade-base, tem-se $Y = 1,0$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

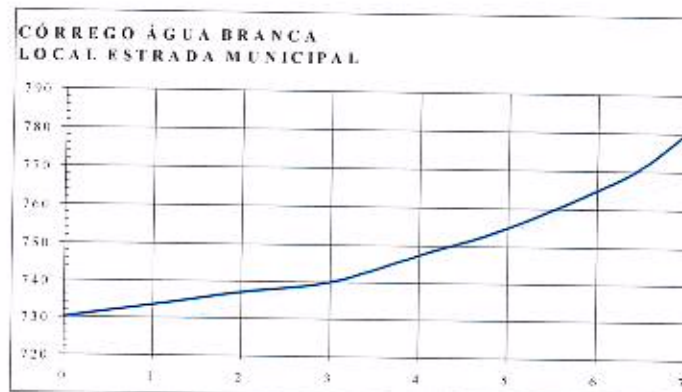
DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRAULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de “Ven-Te-Chow”	30/06/99



DISTÂNCIAS DA ORIGEM (Km)		COTAS (m)							
		0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
PONTOS (1)	DISTÂNCIAS (2)	COTAS (3)	h (4)	MÉDIA (5)	PRODUTO (2) x (5)	CÁLCULOS			
0		730,0				Soma dos produtos: 122250,00 Soma das distâncias: 7000,00 2 x Relação: 34,93 + cota de 0: 730,00 N = Soma = 764,93 cota N - cota 0 = 34,93 *1000/soma distâncias $I = 1000 \cdot \frac{34,93}{7000,00}$ I = 4,99 ‰			
1	1000	733,5	3,5	1,75	1750				
2	1000	737,0	7,0	5,25	5250				
3	1000	740,0	10,0	8,5	8500				
4	1000	747,5	17,5	13,75	13750				
5	1000	755,0	25,0	21,25	21250				
6	1000	765,0	35,0	30	30000				
7	500	771,0	41,0	38	19000				
8	500	780,0	50,0	45,5	22750				
9									
TOTAIS	7000				122250				

Figura 3.1

Determinação da declividade média

Modelo de tabela com exemplo de cálculo

de declividade média do álveo



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

d) Tempo de ascensão t_p

Dados:

$$L = 7.040 \text{ metros}$$

$$I = 0,722\%$$

Tem-se:

$$t_p = 0,005055 \cdot \left(\frac{7.040}{0,722} \right)^{0,64}$$

$$t_p = 1,6 \text{ hora}$$

e) Fator de redução de pico

Os valores de Z são obtidos por meio da Tabela 3.8 em função da relação t/t_p . Adotando-se valores a partir de 1 hora até 3 horas, determinam-se os valores de Z indicados na folha de cálculo (Tabela 3.10).

f) Vazão de base

Foi medida a vazão de base $Q_b = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

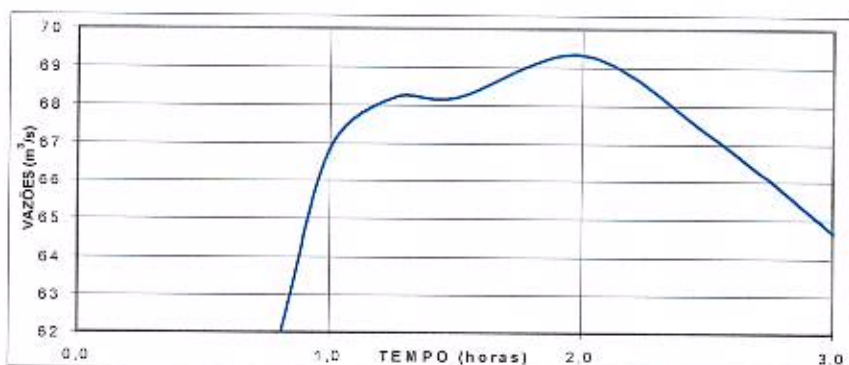
REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

TABELA 3.10 - FOLHA DE CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO

Córrego: Lajeado, em São Miguel Paulista
Localidade: Foz no Rio Tietê

Período de Retorno:	$T =$	25 anos
Área de Contribuição:	$A =$	11,2 km ²
Comprimento do álveo:	$L =$	7,04 km
Declividade:	$I =$	0,72%
Número de deflúvio:	$N =$	90
Fator climático:	$Y =$	1,0
Tempo de ascensão:	$t_p =$	1,5 horas
Vazão de base:	$Q_b =$	2 m ³ /s
Vazão de projeto:	$Q =$	3,11XZ

t	t/t_p	X	Z	XZ	Q
0,80	0,50	50,92	0,39	19,86	61,76
1,00	0,63	45,76	0,47	21,51	66,89
1,25	0,75	39,87	0,55	21,93	68,20
1,50	0,94	35,37	0,62	21,93	68,20
2,00	1,25	28,95	0,77	22,29	69,32
2,50	1,56	24,59	0,88	21,64	67,30
3,00	1,88	21,44	0,97	20,80	64,68



Da tabela acima: $Q = 69,32 \text{ m}^3/\text{s}$
Vazão de dimensionamento: $Q_d = 71,32 \text{ m}^3/\text{s}$

OBS.: VALORES RECALCULADOS COM BASE NO FORMULÁRIO APRESENTADO.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

g) Vazão de projeto

Pela equação (3.5.b):

$$Q = 0,278 A X Y Z$$

Tem-se:

$$A = 11,2 \text{ km}^2$$

$$Y = 1,0$$

$$Q = 3,11 X Z$$

Exemplo de cálculo: Seja $t = 2,0$ horas. Obtém-se da Tabela 3.4, para $N = 90$:

$$X = 28,95$$

Tem-se:

$$t/t_0 = 2/1,6 = 1,25$$

Da Tabela 3.8, para esta relação:

$$Z = 0,77$$

Tem-se então:

$$Q = 3,11 \times 28,95 \times 0,77$$

$$Q = 68,32 \text{ m}^3/\text{s}$$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H04	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de "Ven-Te-Chow"	30/06/99

h) Traçado da curva vazão-duração da chuva

Na folha de cálculo (Tabela 3.10) é mostrada a curva vazão-duração, traçada através de outros pontos marcados para outras durações t . Nela figura um valor máximo para Q .

A vazão que deve servir para o dimensionamento é:

$$Q = 69,32 + 2,00 = 71,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

APLICAÇÃO DO MÉTODO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Conforme observação feita nas Tabelas 3.2 a 3.7, os valores do Fator de Deflúvio foram calculados para a equação de chuvas determinada pela FCTH-USP para o Posto do IAG, considerado como base dentro de metodologia.

Na elaboração de projetos de drenagem no Município de São Paulo, deverá ser seguido o disposto nas Diretrizes de Projeto DP-H02 Estudos Hidrológicos – Equação de Chuva, utilizando-se aquele posto como representativo, em Projetos de Viabilidade ou Projetos Básicos em que seja prevista a reavaliação final, com exceção de projetos específicos de canalização de córregos.

Em estudos finais (Projeto Básico ou Executivo) e em especial nos projetos de canalização de córregos, deverá ser determinado o Fator Climático (Y) com base na metodologia apresentada e utilizando-se as alturas de precipitação obtidas conforme apresentado naquela Diretriz de Projeto.