

Capítulo 100

Observações sobre o número da curva CN e do SCS

Capítulo 100- Observações sobre número da curva CN e do SCS

100.1 Introdução

O número da curva CN foi criado nos Estados Unidos em 1954 pelo *Soil Conservation Service (SCS)*.

É usado no mundo todo, haja vista que todos usam os *softwares* americanos gratuitos.

Podemos afirmar com toda a certeza que o número da curva é um método semi-empírico como a fórmula de Manning, que também é muito usada.

Informamos ainda que o número da curva CN é usado em:

- SCS
- TR-55
- Método de Snyder,
- Método de Clark,
- Método de Espey e
- Método Santa Bárbara,

Aproveitamos também para explicar alguns detalhes do Método do SCS quando além do **valor default** 484 usa outros valores como 575 para áreas urbanas com declividades grandes.

100.2 Teoria

A precipitação P é a soma do *runoff* Q com as perdas F .

$$P = Q + F$$

Notar que F é chamado de perdas, não se falando de abstração e de infiltração.

Uma hipótese que foi feita é que:

$$Q/P = F/S$$

Sendo que S é o máximo potencial de perdas $S = \lim (P-Q) = \lim (F)$ quando F tende para o infinito.

Tirando-se o valor de Q temos:

$$Q = P^2 / (P + S)$$

Depois introduziu-se a abstração inicial denominada la

$$Q = (P-la)^2 / (P - la + S)$$

Foi definido mais tarde que $la = 0,2S$.

$$Q = (P-la)^2 / (P - la + S)$$

$$Q = (P-0,2S)^2 / (P - 0,2S + S)$$

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

O valor de S foi definido arbitrariamente e que nas unidades SI é:

$$S = 25400/CN - 254$$

Sendo:

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

CN = número da curva CN adimensional

100.3 Tabela dos valores do CN

A Tabela feita pelo SCS é a Tabela (100.1) e poucas pessoas prestam atenção ao fato que ela foi feita para a relação $la/S= 0,2$. Para valores diferentes como $la/S=0,05$ teríamos que fazer outra tabela.

Tabela 100.1- Valores dos números CN da curva de runoff para bacias rurais para $la/S=0,20$

Uso do solo	Superfície do solo	Grupo do Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	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	76	84	88
	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 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 curva 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	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: (Tucci et al, 1993)

Tabela 100.2- Valores mínimos, máximos e centrais do número da curva CN

Tipo de solo	Mínimo	Central	Máximo
A	25	51-68	77
B	48	62-77	86
C	65	70-84	91
D	73	77-88	94

Fonte: ASCE, 2009

100.4 Grupos de solos do SCS

O grupo de solos do SCS está na Tabela (100.2) vai do Grupo A até o Grupo D.

Tabela 100.3- Grupo de solos e características do solo

Grupo de solo	Características do solo
A	<p>solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al, 1993).</p>
B	<p>solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995)</p> <p>Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al, 1993).</p>
C	<p>solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al, 1993).</p>
D	<p>solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al, 1993).</p>

Fonte: (Porto, Setzer 1979) e (Porto, 1995) e (Tucci et al, 1993)

O melhor critério para a classificação do tipo de Solo do SCS é através da infiltração conforme Tabela (100.4).

Tabela 100.4- Capacidade mínima de infiltração conforme o grupo do solo

Grupo de solo	Capacidade mínima de infiltração (mm/h)	Média
A	7,62 a 11,43	9,53
B	3,81 a 7,62	5,72
C	1,27 a 3,81	2,54
D	0 a 1,27	0,64

Fonte: (McCuen,1998)

100.5 Número da curva de Aligner.

Através do tipo de solo A podemos calcular o número da curva CN para solo tipo B, C e D usando as equações de Aligner conforme Asce, 2009.

$$\begin{aligned} \text{CN(A)} &= \text{CN (A)} \\ \text{CN(B)} &= 37,8 + 0,622 \times \text{CN(A)} \\ \text{CN(C)} &= 58,9 + 0,411 \times \text{CN(A)} \\ \text{CN(D)} &= 67,2 + 0,328 \times \text{CN(A)} \end{aligned}$$

Exemplo 100.1

Dado $\text{CN(A)}=45$ para uso de solo em campos permanentes com vegetação espesas de baixa transpiração conforme Tabela (100.1). Achar os valores de CN para solos tipo B,C e D usando as equações de Aligner.

$$\begin{aligned} \text{CN(A)} &= 45 \\ \text{CN(B)} &= 37,8 + 0,622 \times 45=66 \\ \text{CN(C)} &= 58,9 + 0,411 \times 45=77 \\ \text{CN(D)} &= 67,2 + 0,328 \times 45=82 \end{aligned}$$

100.6 Área de drenagem

Para a aplicação do SCS com o número da curva CN a área máxima que tem sido utilizados é de 250Km^2 de bacia.

Entretanto as opiniões dos autores divergem bastante sendo que foi achado o número da curva médio **CN= 72,803** para a bacia do Rio Amazonas (7milhões de km^2), Rio Mississipi (3 milhões de km^2) e Rio Yangtze (2 milhões de km^2) que possuem bacias acima de 1 milhão de km^2 .

Portanto, segundo a ASCE, 2009 não existem nenhum critério rigoroso para o limite da bacia para aplicação do número da curva CN.

100.7 Sensibilidade do número da curva CN

Foi achado que o problema da **sensibilidade está no número da curva CN** escolhido e não da altura pluviométrica P.

Atualmente fazemos os cálculos com o valor CN(II) normal e dos valores CN(1) referente ao período de seca e do valor CN(III) referente a períodos de chuva usando as equações de Sobhani, 1975..

$$\text{CN(I)} = \text{CN (II)} / [2,334 - 0,01334 \cdot \text{CN(II)}]$$

$$\text{CN(III)} = \text{CN(II)} / [0,4036 + 0,0059 \cdot \text{CN(II)}]$$

100.8 Infiltração

O número da curva CN não é destinado à infiltração, mas é usado.

Foram feitos estudos comparando o método Green-Ampt que é o melhor método de infiltração com o número da curva CN e concluíram que o **número da curva CN funciona bem**.

100.9 CN ponderado o runoff ponderado

É comum se usar o CN ponderado conforme o tamanho da área e outra maneira é calcular o runoff de cada área e fazer-se um runoff ponderado.

A melhor opção é fazer um **runoff ponderado**.

100.10 $la/S=0,2$

Na prática tem sido usado comumente $la/S=0,20$ com as respectivas tabelas do número da curva CN.

Entretanto vários autores conforme ASCE, 2009 chegaram à conclusão que o melhor valor de $la/S=0,05$, mas se usarmos isto não temos tabelas do número da curva CN.

Vários autores acharam uma equação que dado o valor do CN para a tabela $la/S=0,20$, obtemos através de equação achar o valor CN para $la/S=0,05$:

$$\text{CN}_{0,05} = 100 / \{ 1,879 [100/\text{CN}_{0,20} - 1]^{1,15} + 1 \}$$

Dica: se você mudar la/S também mudará a tabela dos números CN (CUIDADO!!!)

Tabela 100.5- Valores de CN para $la/S=0,20$ e $la/S=0,05$

$la/S=0,20$	$la/S=0,05$
100	100,00
95	94,02
90	86,95
85	79,64
80	72,39
70	58,51
65	52,03
60	45,90
55	40,14
50	34,74
45	29,71
40	25,03
35	20,71

Caso se queira o valor de S.

$$S_{0,05} = 1,33 \cdot S_{0,20}^{1,15}$$

Sendo S em polegadas

100.11 CN em função da área

Existe somente uma pesquisa para áreas até 314 ha em regiões desérticas nos Estados Unidos em fornece o valor de CN em função da área de drenagem.

$$CN = 84,7 - 0,022 \cdot A \quad \text{para } R^2 = 0,50$$

A = área da bacia em acres

100.12 CN em função da declividade

Existem dois estudos que mostram a variação de CN com a declividade. Os resultados não são consistentes, pois, um estudo mostra que há aumento de CN com o aumento de declividade e outro que há diminuição CN com o aumento da declividade e devido a estas inconsistências não serão levados em conta,

100.13 Condições antecedentes do solo

O SCS reconheceu a importância da condição antecedente do solo, pois, o mesmo poderá estar em condições normais ou muito seco ou muito úmido.

Em condições normais seria a condição "II" e condição úmida seria a "III" e a seca seria a "I" conforme Tabela (100.6).

Tabela 100.6- Condições do solo em relação a situação do mesmo

Condição do solo	Situação do solo
I	Solo seco.
II	Condições médias do solo. É a condição normal das tabelas do número CN.
III	Solo úmido. Ocorreram precipitações nos últimos cinco dias. O solo está saturado

Fonte: (McCuen, 1998)

A Tabela (100.7) apresenta os limites de 5 dias de chuva antecedente em relação ao período latente e ao período de crescimento da vegetação, para facilitar a classificação das condições do solo.

Tabela 100.7- Limites de 5 dias de chuva antecedente em relação a período latente e período de crescimento

Condição do solo	Chuva antecedente de 5 dias em milímetros	
	Período latente	Período de crescimento
I	< 12,7mm	<35,56mm
II	12,7mm a 27,94mm	35,56mm a 53,34mm
III	> 27,94mm	> 53,34mm

Fonte: (McCuen, 1998)

Como as tabelas para achar o número CN se referem as condições normais chamada Condição II, conforme o solo antecedente estiver seco ou úmido terá que ser feito as correções do número CN, conforme Tabela (100.6).

Tabela 100.7- Ajustamento do número CN da condição normal II para a condição para solo seco (I) e para solo úmido (II).

Condição normal II do número CN	Número CN correspondente para a devida Condição	
	Condição I	Condição III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13
0	0	0

Fonte: ASCE, 2009)

Vamos apresentar duas equações de Sobhani, 1975 in Asce, 2009 que consegue calcular o valor de CN(I) para o caso de seca e CN(III) para o caso de chuva antecedente.

$$\text{CN(I)} = \text{CN(II)} / [2,334 - 0,01334 \cdot \text{CN(II)}]$$

$$\text{CN(III)} = \text{CN(II)} / [0,4036 + 0,0059 \cdot \text{CN(II)}]$$

Os estudos antigos tratavam das condições antecedentes do solo e daí surgiu o termo AMC, que quer dizer *Antecedent moisture Condition* e que agora está sendo substituído por ARC (*Antecedent Runoff Condition*) que trata das condições anteriores entre as chuvas.

Como o CN escolhido está na condição II, podemos calcular as condições de runoff para a condição I de seca e condição III de chuva antecedente que serão as condições limites.

Portanto, **o conceito de AMC foi mudado para ARC** em que achamos dois valores para o número da curva CN. O número da curva normal que achamos é o CN(II) e cálculos o CN(I) para época de seca e CN(III) para época de cheia. Temos então uma faixa de variação do CN em que calcularemos as vazões usando o SCS, por exemplo.

100.14 Método do hidrograma unitário do *Soil Conservation Service (SCS)*

Conforme Porto et al, 1995 para o hidrograma triangular da Figura (100,1) temos:

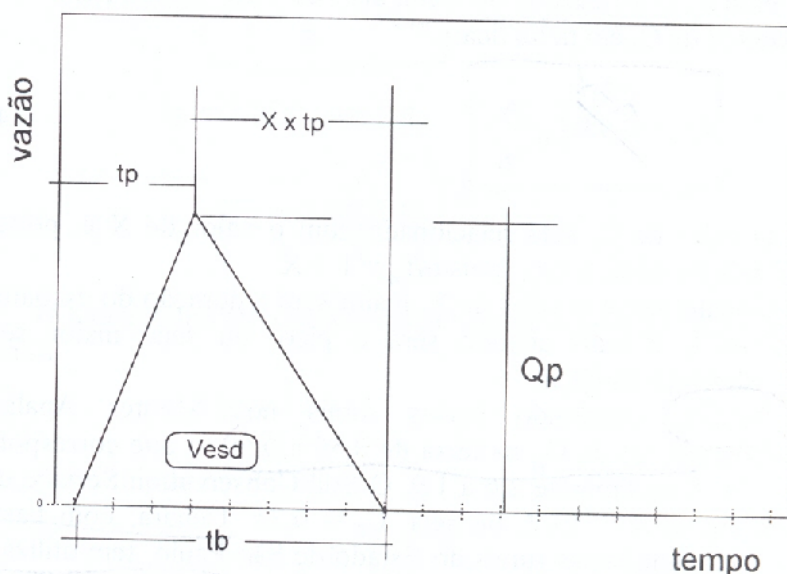


Figura 100.1- Hidrograma triangular.

Fonte: Porto et al, 1995

$$t_b = t_A + X \cdot t_A = t_A (1+X)$$

O volume do escoamento superficial Vesc será:

$$V_{esc} = Q_p \times t_b / 2$$

Mas $V_{esc} = A \times h_{ex}$

Sendo:

A= área da bacia

hex= altura da chuva excedente

Substituindo o valor de Vesc temos:

$$A \times \text{hex} = Q_p \times t_b / 2$$

Tirando o valor de Q_p

$$Q_p = 2Ax\text{hex}/t_b$$

Mas fazendo hex=1

$$Q_p = 2 \times A / t_b$$

Substituindo t_b

$$Q_p = 2xA / (1+X) t_A$$

Fazendo **$C_p = 2 / (1+X)$**

$$Q_p = C_p \cdot A / t_A$$

$$t_A = D/2 + 0,6 \times t_c$$

D= duração da chuva unitária.

$$D = 0,133t_c$$

$$t_p = 0,6t_c$$

t_c = tempo de concentração

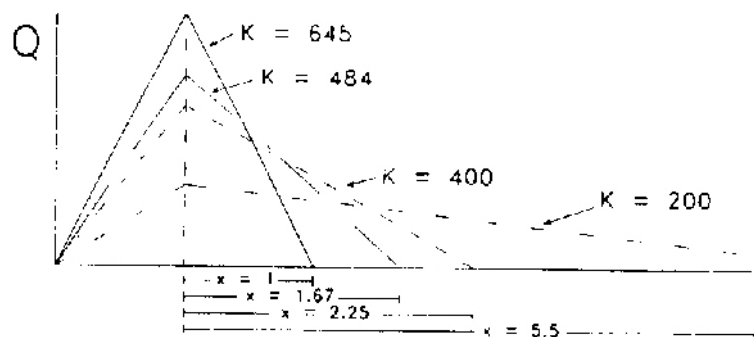
Para chuva unitária de 1cm com área de bacia de 1km² e t_p em horas, para que Q_p fique em m³/s teremos:

$$Q_p = 2,78 \cdot C_p \cdot A / t_A$$

Tabela 100.8 Parâmetros dos hidrogramas triangulares

Descrição	Fator de decaimento X	Fator de redução do pico Cp	Unidades original do SCS PF (fator de pico)
Método racional	1,00	1	645
Áreas urbanas com declividades grandes	1,25	0,89	575
Método do SCS	1,67	0,75	484
Uso misto (rural e urbano)	2,25	0,62	400
Área rural ondulada	3,33	0,47	300
Área rural com declividade pequena	5,50	0,31	200
Área rural com declividade muito pequena	12,0	0,16	100

Fonte: Porto et al, 1995 e Wanielista et al. 1997 e Wanielista e Yossef, 1993



**Figura 100.2- Hidrograma triangular de acordo com o fator de pico, 484, 645, etc.
 Fonte: Wanielista e Yossef, 1993**

Na Figura (100.2) estão os hidrogramas triangular para os diversos fatores de pico, sendo o mais usual o denominado 484. Wanielista e Yossef, 1993 recomendam que em caso de dúvida usar o que fornece maior valor de pico.

Na Tabela (100.8) estão os parâmetros dos hidrogramas triangulares baseado em Porto et al, 1995 e Wanielista et al, 1997.

O valor default usado pelo Método do SCS é 484.

Para o Método do SCS podemos ver que $X=1,67$ e $C_p= 0,75$ e nas unidades americanas o famoso fator 484.

$$Q_p = 2,78 \cdot C_p \cdot A / t_A$$

$$Q_p = 2,78 \times 0,75 A / t_A$$

$$Q_p = 2,085 \cdot A / t_A$$

Que é o valor usualmente usado no Brasil para o uso do hidrograma unitário com 1cm de altura, área da bacia em Km^2 e vazão em m^3/s

Caso seja adotado $C_p=0,89$ para áreas urbanas com declividades grandes teremos:

$$Q_p = 2,78 \cdot C_p \cdot A / t_A$$

$$Q_p = 2,78 \times 0,89 A / t_A$$

$$Q_p = 2,4742 A / t_A$$

100.15 Hidrograma curvilíneo do SCS

Para o hidrograma curvilíneo podemos usar tabelas ou usar equação matemática que fornece com boa aproximação o hidrograma baseado no fator de pico PF.

$$q/q_p = [t/t_p \cdot \exp (1 - t/t_p)]^X$$

$$X = 0,8679 \times \exp(0,00353 \times PF) - 1$$

Observação importante: o PF é aquele da Tabela (100.8) tal como PF= 484 e PF= 575.

Exemplo 100.2

Para PF= 484 (tradicional) temos:

$$X = 0,8679 \times \exp(0,00353 \times PF) - 1$$

$$X = 0,8679 \times \exp(0,00353 \times 484) - 1 = 3,79$$

$$q/q_p = [t/t_p \cdot \exp (1 - t/t_p)]^X$$

$$q/q_p = [t/t_p \cdot \exp (1 - t/t_p)]^{3,79}$$

Tabela 100.9-Hidrograma unitário curvilíneo adimensional para PF=484

t/tp	q/qp
0,00	0
0,10	0,005
0,20	0,046
0,30	0,148
0,40	0,301
0,50	0,481
0,60	0,657
0,70	0,807
0,80	0,916
0,90	0,980
1,00	1,000
1,10	0,982
1,20	0,935
1,30	0,867
1,40	0,786
1,50	0,699
1,60	0,611
1,70	0,526
1,80	0,447
1,90	0,376
2,00	0,312
2,20	0,210
2,40	0,137
2,60	0,087
2,80	0,054
3,00	0,033
3,20	0,020
3,40	0,012
3,60	0,007
3,80	0,004
4,00	0,002
4,50	0,001
5,00	0,000

Para o Método do SCS podemos ver que $X=1,67$ e $C_p= 0,75$ e nas unidades americanas o famoso fator 484.

$$Q_p = 2,78 \cdot C_p \cdot A / t_A$$

$$Q_p = 2,78 \times 0,75 \cdot A / t_A$$

$$Q_p = 2,08 \cdot A / t_A$$

Exemplo 100.3

Para **PF= 575** para áreas urbanas com declividade grande conforme adotado pela Rio Águas no RJ temos:

$$X = 0,8679 \times \exp(0,00353 \times PF) - 1$$

$$X = 0,8679 \times \exp(0,00353 \times 575) - 1 = 5,61$$

$$q/q_p = [t/tp \cdot \exp(1 - t/tp)]^X$$

$$q/q_p = [t/tp \cdot \exp(1 - t/tp)]^{5,61}$$

Tabela 100.9-Hidrograma unitário curvilíneo adimensional para PF=575 para áreas urbanas com declividades grandes

t/tp	Q/Qp
0,00	0
0,10	0,000
0,20	0,011
0,30	0,059
0,40	0,170
0,50	0,339
0,60	0,537
0,70	0,728
0,80	0,878
0,90	0,970
1,00	1,000
1,10	0,974
1,20	0,906
1,30	0,810
1,40	0,700
1,50	0,589
1,60	0,482
1,70	0,387
1,80	0,304
1,90	0,235
2,00	0,179
2,20	0,100
2,40	0,053
2,60	0,027
2,80	0,013
3,00	0,006
3,20	0,003
3,40	0,001
3,60	0,001
3,80	0,000
4,00	0,000
4,50	0,000
5,00	0,000

Para o Método do SCS podemos ver que $X=1,25$ e $C_p= 0,89$ e nas unidades americanas o famoso fator 484.

$$Q_p = 2,78 \cdot C_p \cdot A / t_A$$

$$Q_p = 2,78 \times 0,89 \cdot A / t_A$$

$$Q_p = 2,4742 \cdot A / t_A$$

Observar neste caso temos o número 2,4742 que é maior que o 2,08 usado tradicionalmente.

Portanto, devemos lembrar que quando alteramos o **valor default** do SCS temos que alterar também o hidrograma unitário curvilíneo (CUIDADO !!!).

100.16 Modelo de cálculo do SCS

No livro que escrevemos denominado Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para obras municipais mostra o uso prático do Método do SCS com o valor default 484.

100.17 Bibliografia e livros consultados

- ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEER). *Curve Number Hydrology – state of practice*. Richard H. Hawkins, Timothy J. Ward, Donald E. Woodward e Joseph A. Van Mullem. ASCE, 2009 ISBN 978-0-7844-1004-2, USA, 106 páginas.
- MISHRA, SURENDA KUMAR e SINGH, VIJAY P. *Soil conservation service curve number (SCS-CN0 methodology)*. Kluwer Academic Publishers, 2010, Netherlands. 513 páginas. ISBN 978-90-481-6225-3
- PORTO, RUBEM LALAINA E TUCCI, CARLOS E.M. e BARROS, MARIO TADEU DE. *Drenagem Urbana*. . ABRH, 1995, 428 páginas. ISBN 85-7025-364-8.
- TOMAZ, PLINIO. *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais*, Navegar setembro 2011, 2ª edição atualizada e revisada, 592 páginas.
- WANIELISTA, MARTIN et al. *Hydrology- water quantity and quality control*. 2a ed. John Wiley, 565 páginas.
- WANIELISTA, MARTIN P. E YOSEF, YOSEF A. *Stormwater management*. John Wiley and Sons, 1993. ISBN 0-471-57135-0. 577 páginas;
- WILKEN, PAULO SAMPAIO. *Engenharia de drenagem superficial*. Cetesb, 1978 7.35.001.10.