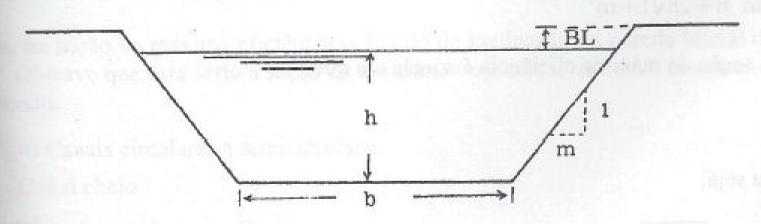
Canais

Forma Geométrica dos Canais

Quanto à forma geométrica, existem quatro tipos de canais: trapezoidal, retangular,

a) Canal trapezoidal, retangular e triangular – Na Figura 5.1 tem-se um corte
 zansversal, em um canal trapezoidal, com seus principais parâmetros.



Tura 5.1 - Seção transversal de um canal trapezoidal.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em qualquer método de irrigação a água tem que ser conduzida da captação até a parcela irrigada. Nota-se, desta maneira, a importância da condução d'água dentro do sistema de irrigação como um todo. Muitos são os projetos de irrigação que não atingiram os objetivos preestabelecidos por causa de problema na condução d'água.

Em geral, os principais problemas na condução d'água são falhas estruturais, infiltração excessiva e erro de dimensionamento.

São dois os tipos principais de condutos usados em irrigação: Canais ou Condutos Livres e Encanamentos ou Condutos sob Pressão.

CANAIS

FORMA GEOMÉTRICA DOS CANAIS

Quanto à forma geométrica, existem 4 tipos de canais: trapezoidal, retangular, triangular e semicircular.

a) Canal trapezoidal, retangular e triangular

Na Figura 5.1 tem-se um corte transversal, em um canal trapezoidal, com seus principais parâmetros.

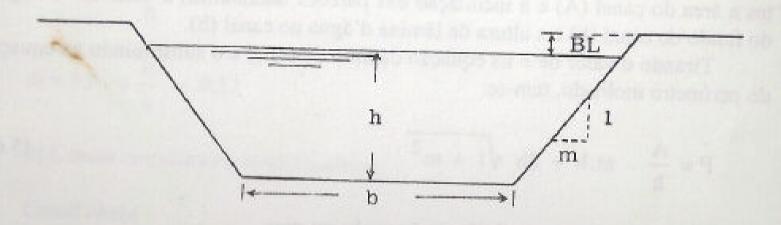


FIGURA 5.1 - Seção transversal de um canal trapezoidal

A área transversal de um canal trapezoidal pode ser calculada pela seguinte expressão:

A área transversal de um canal Trapezoidal pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$A = h (b + m h)$$

Sendo

A = área da seção transversal, em m²; h = altura da lâmina d'água no canal, em m; b = largura do fundo do canal, em m; m = inverso da declividade das faces laterais; BL = borda livre do canal, em m. E o perímetro molhado (P), pela seguinte expressão:

$$P = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$$
 (5.2)

Como o raio hidráulico (Rh) é o quociente da área dividida pelo perímetro molhado, tem-se:

$$Rh = \frac{h(b+m.h)}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$$
(5.3)

Para canais retangulares, m é igual a zero (m = 0). Assim sendo,

$$A = b.h e P = b + 2h$$

Para canais triangulares, b é igual a zero (b = 0). Assim sendo,

$$A = m.h^2 e P = 2 h \sqrt{1 + m^2}$$

Determinação da seção de máxima eficiência – É feita considerando constantes a área do canal (A) e a inclinação das paredes laterais (m) e variáveis a largura do fundo do canal (b) e a altura da lâmina d'água no canal (h).

Tirando o valor de b na equação da área do canal e o substituindo na equação do perímetro molhado, tem-se:

$$P = \frac{A}{h} - m.h + 2h \sqrt{1 + m^2}$$
 (5.4)

A seção de máxima eficiência é aquela em que:

$$\frac{dP}{dh} = 0$$

ou seja

$$-\frac{A}{h^2} - m + 2\sqrt{1 + m^2} = 0$$

$$A = h^2 (2 \sqrt{1 + m^2} - m)$$

que é a área de máxima eficiência.

Como A = h(b + mh), substituindo esta equação na anterior, tem-se:

$$b = 2h (\sqrt{1 + m^2} - m)$$
, ou

$$Z = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1 + m^2} - m)$$

que é a relação entre b e h na seção de máxima eficiência. Assim sendo, para

$$m = 0.0 \rightarrow \frac{b}{h} = 2.0$$

$$m = 1.0 \rightarrow \frac{b}{h} = 0.83$$

$$m = 1.5 \rightarrow \frac{b}{h} = 0.61$$

$$m = 2.0 \rightarrow \frac{b}{h} = 0.47$$

$$m = 2.5 \rightarrow \frac{b}{h} = 0.39$$

$$m = 3.0 \rightarrow \frac{b}{b} = 0.32$$

b) Canais circulares e semicirculares

Canal cheio

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$
, $P = \pi . De Rh = \frac{D}{4}$

Canal pelo meio

$$A = \frac{\pi D^2}{8}$$
, $P = \frac{\pi D}{2}$ e Rh = $\frac{D}{4}$

Canal parcialmente cheio: Na Figura 5.2, tem-se um canal circular parcialmente cheio, com seus principais parâmetros.

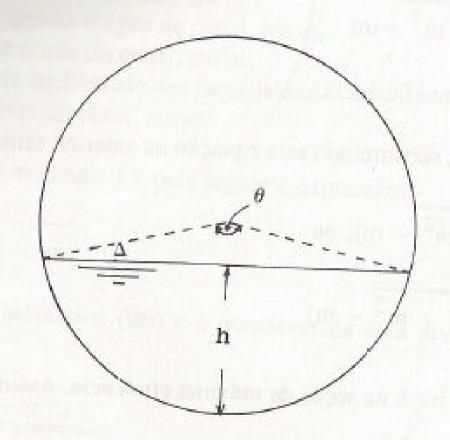


FIGURA 5.2 - Canal circular parcialmente cheio

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta)$$

Sendo

A = área ocupada pela água

D = diâmetro do canal

 θ = ângulo, em radiano, formado pelos raios laterais

$$P = \frac{D \cdot \theta}{2}$$

$$Rh = \frac{D}{4} (1 - \frac{\operatorname{sen} \theta}{\theta})$$

$$h = \frac{D}{2} (1 - \cos(\frac{\theta}{2})),$$

sendo h a altura da lâmina d'água, no centro do canal.

DECLIVIDADES RECOMENDADAS PARA TALUDES DE CANAIS NÃO-REVESTIDOS

Para obter boa estabilidade das paredes laterais dos canais não-revestidos, a declividade dos taludes deve ser determinada em função da estabilidade do material

com o qual se construirá o canal. No Quadro 5.1 estão relacionadas as declividades mais usuais para canais, não-revestidos, de diversos materiais.

QUADRO 5.1 - Declividades recomendadas para taludes de canais não-revestidos

Material	Declividade (horizontal: vertical)
Rocha firme	0,25:1
Rocha fissurada	0,50:1
Solo firme	1,00:1
Solo argilo-arenoso	1,50:1
Solo areno-argiloso	2,50:1

VELOCIDADE D'ÁGUA NOS CANAIS

A magnitude da velocidade dos filetes d'água em um canal varia parabolicamente, tendo um valor mínimo, junto ao fundo do canal, e máximo, próximo à superfície livre da água, conforme Figura 5.3. Por causa desta variação da velocidade com a profundidade, trabalha-se com a velocidade média.

Existem várias expressões para o cálculo da velocidade média (Vm):

- velocidade média = K x velocidade na superfície livre, com o valor de K variando entre 0,8 e 0,9;
- velocidade média = velocidade a 0,6 da profundidade, a partir da superfície
 - velocidade média = média da velocidade a 0,2; 0,6; e 0,8 da profundidade.

$$Vm = \frac{V_1 + V_2 + 2V_3}{4} \tag{5.12}$$

Sendo

V₁ = velocidade d'água a 0,2 da profundidade

V₂= velocidade d'água a 0,8 da profundidade

V₃ = velocidade d'água a 0,6 da profundidade

No Quadro 5.2 têm-se os valores máximos recomendáveis da velocidade nos canais, os quais foram determinados em função da erodibilidade do canal. Porém outro problema é a sedimentação nos canais. Neste caso, são recomendados os seguintes valores mínimos para velocidade média nos canais (Quadro 5.3).

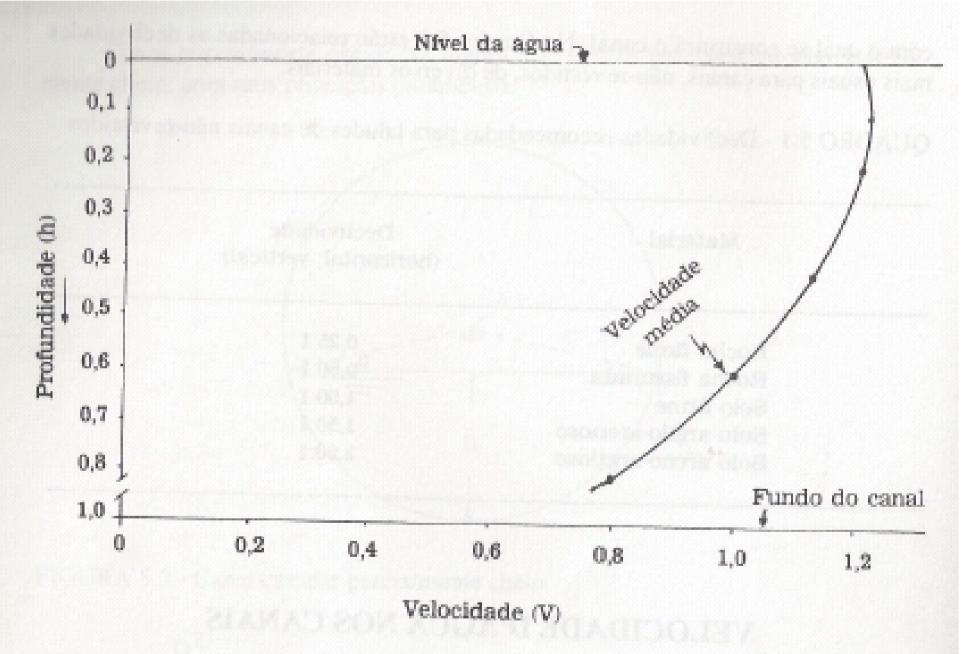


FIGURA 5.3 - Distribuição da velocidade em um canal

QUADRO 5.2 - Valores máximos recomendáveis da velocidade média no canal

Tipo de Canal	Velocidade		
Canal em areia muito fina	0,20 a 0,30 m/s		
Canal em areia grossa pouco compactada	0,30 a 0,50 m/s		
Canal em terreno arenoso comum	0,60 a 0,80 m/s		
Canal em terreno sílico-argiloso	0,70 a 0,80 m/s		
Canal em terreno argiloso-compacto	0,80 a 1,20 m/s		
Canal em rocha	2,00 a 4,0 m/s		
Canal de concreto	4,0 a 10,0 m/s		

QUADRO 5.3 - Valores mínimos recomendáveis da vellocidade média no canal

Tipo de Água	Velocidade
Água com suspensão fina	0,30 m/s
Água com areia fina	0,45 m/s
Água de esgoto	0,60 m/s
Água pluvial	0,75 m/s

PERDA D'ÁGUA POR INFILTRAÇÃO, EM CANAIS NÃO-REVESTIDOS

O fator que, em geral, determina se deve ou não revestir um canal é a quantidade d'água que será perdida por ele, quando não-revestido, ou seja, comparando o custo do revestimento 'versus' o custo da água perdida.

Há vários métodos para determinar a perda por infiltração em um canal, e os principais são: a) Método do Infiltrômetro de Canal ou Açudagem; b) Método de "Entrada-Saída"; c) Método do Medidor de Vazamento. O método do infiltrômetro de canal é o mais preciso e consiste em isolar um trecho de 5 m do canal, por meio de comporta, canvas ou diques, encher o trecho isolado com água e medir o volume infiltrado, em função do tempo. O volume infiltrado menos a água evaporada será a água perdida por infiltração.

No Quadro 5.4, têm-se os valores médios da perda por infiltração, em canais não-revestidos, em função de diferentes tipos de materiais.

QUADRO 5.4 - Perda d'água por infiltração, em canais não-revestidos, segundo Linsley

Material	Perdas (m ³ /m ² por dia)
Solo argiloso	0,08 a 0,25
Solo areno-argiloso	0,30 a 0,45
Solo arenoso	0,45 a 0,60
Solo com cascalho	0,90 a 1,80

BORDA LIVRE DO CANAL

Borda livre de um canal é a distância vertical entre o nível da água no canal, determinada no dimensionamento, e a margem do mesmo (Figura 5.1). Ela é necessária para evitar o transbordamento da água durante o manejo do canal.

Existem várias equações e ábacos para o cálculo da borda livre, tais como:

$$BL = 0.30 + 0.30 \text{ h}$$
 (5.13)
 $BL = 0.20 + 0.15 \text{ Q}^{1/3}$ (5.14)
 $BL = \sqrt{\text{K.h}}$

em que

BL = borda livre, em m;

h = altura da lâmina d'água no canal, em m;

Q = vazão do canal, em m3/s;

K = coeficiente, variando de 0,46 a 0,76.

De modo geral, podem-se usar os seguintes valores de borda livre para pequenos canais:

Vazão do canal	Borda livre
(m ³ /s)	(m)
até 0,39	BL = 0,20 m
0,40 a 0,69	BL = 0,35 m
0,70 a 0,99	BL = 0,45 m
1,00 a 2,99	BL = 0,55 m

MOVIMENTO UNIFORME NOS CANAIS

Em condições normais, tem-se nos canais um movimento uniforme, ou seja, a velocidade média d'água é constante, ao longo do canal.

Sendo a equação de continuidade:

Q = A.V.

em que

Q = a vazão do canal, em m3/s;

A = área transversal do canal, em m2;

V = velocidade média da água, em m/s.

A área é determinada geometricamente, como foi visto no início deste capítulo, e a velocidade pode ser medida no local ou, na maioria dos casos, determinada, através de equações. Existem várias equações para o cálculo da velocidade média da água em um canal, porém as mais usadas são as de Chezy, Bazin e de Manning.

a) A equação de Chezy e de Bazin pode ser escrita da seguinte forma:

$$V = C \sqrt{Rh \cdot I}$$

sendo

V = velocidade média da água, m/s;

C = coeficiente, dependendo do material;

Rh = raio hidráulico;

I = declividade do canal, m/m.

O coeficiente de Bazin (C) pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C = \frac{87\sqrt{Rh}}{m + \sqrt{Rh}}$$

$$\sqrt{\frac{30}{30}}$$
(5.17)

sendo m fator que depende da natureza das paredes do canal, o qual é apresentado no Quadro 5.5.

QUADRO 5.5 - Valores de m para determinação do coeficiente de Bazin

Natureza das paredes	m	
Muito lisas (cimento alisado)	0,06	
Lisas (concreto, tijolos)	0,16	
Pouco lisas (alvenaria de pedra bruta)	0,46	
Paredes mistas (com ou sem revestimento)	0.85	
Canais de terra normal	1,30	
Canais de terra com grande resistência ao		
escoamento (fundo com vegetação ou pedras soltas)	1,75	

b) A equação de Manning é a seguinte:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} I^{1/2}$$

(5.18)

sendo

V = velocidade média da água, em m/s;

n = coef ciente de rugosidade, dependendo do material do canal;

Rh = raio hidráulico;

I = declividade do canal, em m/m.

São apresentados no Quadro 5.6 os valores de n, para diferentes tipos de materiais.

QUADRO 5.6 - Valores de n, para emprego na fórmula de Manning, citados por E.T. Neves

	Condições					
Natureza das paredes	Muito boas	Boas	Regu- lares	Más		
Tubos de ferro fundido sem reves-		EU I				
timento	0,012	0,013	0,014	0,015		
Idem, com revestimento de alcatrão	0,011	0,012*	0,013*			
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0.017		
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013		
				Continu		

QUADRO 5.6 - Valores de n, para emprego na fórmula de Manning, citados por E.T. Neves (Continuação)

	Condições				
Natureza das paredes	Muito boas	Boas	Regu- lares	Más	
Condutos de barro vitrificado, de	ad sept eve	When etchia	seriab sup sis		
esgotos	0,011	0,013*	0.015	0,017	
Condutos de barro, de drenagem	0,011	0,012*	0.014*	0,017	
Alvenaria de tijolos com argamassa			S03078A + 575		
le cimento; condutos de esgoto, de					
ajolos	0,012	0,013	0,015*	0.017	
Superficies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0.013	
Superficies de argamassa de ci-				eigh.	
nento	0,011	0,012	0,013*	0,015	
Cubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016	
Condutos de aduelas de madeira	0,010	0,011	0,012	0,013	
Calhas de pranchas de madeira a-					
dem não aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014	
dem, não-aplainada	0,011	0,013*	0,014	0,015	
dem, com pranchões	0,012	0,015*	0,016		
canais com revestimento de con-	an taidy in				
reto	0.012	0.014*	0.018	0.010	

Alvenaria de pedra argamassada	OLUTA	0,019"	0,016	0,018
Alvenario de pedra accumassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada Calhas metálicas lisas (semicircu-	0,013	0,014	0,015	0,017
lares)	0,011	0,012	0,013	0.015
Idem corrugadas Canais de terra, retilfneos e uni-	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canais abertos em rocha, lisos e	0,017	0,020	0,0225*	0,025
uniformes Canais abertos em rocha, irregula- res ou de paredes de pedra irregu-	0,025	0,030	0,033*	0,035
lares e mal arrumadas	0.035	0.040	0,045	
Canais dragados	0,025	0.0275*	0,030	0.000
Canais curvilíneos e lamosos Canais com leito pedregoso e vege-	0,0225	0,025*	0,0275	0,033
Canais com fundo de terra e talu-	0,025	0,030	0,035*	0,040
des empedrados	0,028	0,030	0,033	0,035
Arroios e rios				
Limpos, retilíneos e uniformes Como em 1, porém com vegeta-	0,025	0,0275	0,030	0,032
ção e pedras	0,030	0,033	0.035	0,040

QUADRO 5.6 - Valores de n, para emprego na fórmula de Manning, citados por E.T. Neves (Continuação)

Natureza das paredes -	Condições					
	Muito boas	Boas	Regu- lares	Más		
3) Com meandros, bancos e poços		m 1				
pouco profundos, limpos	0,035	0,040	0.045	0.050		
 Como em 3, águas baixas, decli- 			0,010	0,000		
vidades fracas	0,040	0.045	0,050	0,055		
 Como em \$, com vegetação e pe- 		0,0.20	27000	0,000		
dras	0,033	0.035	0,040	0.045		
3) Como em 4, com pedras	0,045	0.050	0.055	0.060		
7) Com margens espraiadas, pouca		7,777	0,000	0,000		
vegetação	0,050	0.060	0.070	0.080		
3) Com margens espraiadas, muita			4,414	0,000		
vegetação	0.075	0.100	0,125	0,150		

[&]quot; Valores aconselhados para projetos.

DIMENSIONAMENTO DO CANAL

São três os tipos de problemas que podem ser resolvidos com a equação da velocidade média e com a equação de continuidade, de modo que se obtenham soluções específicas.

- 1) Conhecendo n, I, A, Rh, calcular Q
- 2) Conhecendo n, A, Rh, Q, calcular I
- 3) Conhecendo Q, n, I, calcular A e Rh

Os problemas (1) e (2) são resolvidos diretamente com as equações de Manning ou Chezy e a equação de continuidade.

O problema (3) é o que se encontra com maior frequência na vida prática. Trata-se do dimensionamento geométrico de um canal, e a solução não é tão direta como nos casos (1) e (2). Existem vários métodos para a solução do problema (3), mas são apresentados apenas três mais generalizados.

MÉTODO DAS TENTATIVAS

Consiste em assumir valores para os parâmetros que definem a área e o raio hidráulico de um canal e, em seguida, aplicar a equação de Manning e a equação de continuidade para calcular qual será a vazão com os valores assumidos. A relação entre os valores assumidos para os parâmetros geométricos do canal pode variar ou

permanecer constante. Comparar a vazão calculada com a vazão conhecida, caso não sejam idênticas, e repetir os cálculos até encontrar dois valores idênticos. Para facilitar os cálculos, recomenda-se utilizar o seguinte tipo de quadro.

Quadro para o dimensionamento de canais, pelo método das tentativas, usando a Equação de Manning.

b	h	A	P	Rh	Rh ^{2/3}	$\frac{\sqrt{I}}{n}$	Δ.*	Q'**	Q' =Q?
	Margaria Margaria	110			OLL COLD				min action of
		in fin		THE REAL PROPERTY.				MERCHANIC A	all and the same of
					100			-	_

b) A equação de Manning é a seguinte:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} I^{1/2}$$

$$*V = \frac{1}{n} \times RH^{2/3} \times I^{1/2}$$

**Q = AV

Exemplo

Dimensionar, pelo método das tentativas, um canal com seção trapezoidal, cuja inclinação das faces laterais é de 60°, para as seguintes condições:

- cultura a ser irrigada cana-de-açúcar
- demanda de irrigação 4 mm/dia
- turno de rega 14 dias
- período de irrigação 12 dias
- eficiência de irrigação 70%
- o sistema trabalhará 12 h/dia
- o canal será de concreto (n = 0,014), com declividade de 0,4%
- área a ser irrigada 200 ha
- o solo não é fator limitante

Cálculo da Vazão Necessária

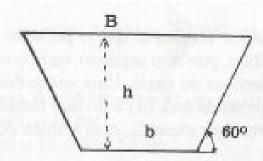
$$Q = \frac{DI \cdot A \cdot 10^4 \cdot TR}{E \cdot H \cdot 3600 \cdot PI}$$

em que

Q = vazão necessária, em l/s; DI = demanda de irrigação, em mm/dia; A = área a ser irrigada, em hectares; TR = turno de rega, em dias; E = eficiência do sistema, em decimal; H = número de horas de trabalho por dia; PI = período de irrigação, em dias.

A vazão necessária será:

$$Q = \frac{4 \times 200 \times 10^4 \times 14}{0.7 \times 12 \times 3600 \times 12} = 309 \text{ l/s}$$



Em virtude da forma geométrica do canal, para seção de máxima vazão, podem-se estabelecer as seguintes relações:

B = 2b; h = b
$$\frac{\sqrt{3}}{2}$$
; P = 3b; A = $\frac{3}{2}$ b x h; Rh = $\frac{b\sqrt{3}}{4}$

QUADRO 5.7 - Dimensionamento pelo método das tentativas

(m)	h (m)	A (m ²)	P (m)	Rh	Rh2/3	$\frac{\sqrt{I}}{n}$	V' (m/s)	Q' (m ³ /s)	କ୍ - କ୍? (କ୍-309 l/s
0,40	0,346	0,208	1,200	0,173	0,311	4,5175	1.40	0.2912	1
0,45	0,390	0,263	1,350	0,195	0,336	4,5175	1,52	0,3994	1
0,42	0,364	0,229	1,260	0,182	0.321	4,5175	1,45	0.3321	1
0.41	0,355	0,218	1,230	0.178	0,316	4.5175	1.43	0.3117	1
0.408	0,355	0,216	1,224	0,177	0,315	4.5175	1.42	0.3087	OK

MÉTODO GRÁFICO

Usando as equações de Manning e de Continuidade, tem-se:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} I^{1/2} e Q = AV$$
. Sendo assim,

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{2/3} I^{1/2}$$

Separando de um lado da equação os parâmetros geométricos do canal, tem-se:

$$\frac{nQ}{\sqrt{I}} = A Rh^{2/3} \tag{5.20}$$

Analisando esta equação, verifica-se que o primeiro termo é uma constante para cada problema específico, porém o segundo varia com a forma geométrica e com a relação entre as dimensões do canal. Uma vez definida a forma geométrica, pode-se estabelecer uma função da área (A) e do raio hidráulico (Rh) do canal com uma de suas dimensões, como, por exemplo, com a altura do canal (h), e assim tem-se:

$$A = f(h), Rh = f(h) e Rh^{2/3} = f(h)$$

Sendo assim,

$$\frac{nQ}{\sqrt{I}} = f(h)$$

Para dimensionar qualquer canal, calcula-se inicialmente o valor de $\frac{nQ}{\sqrt{I}}$,

89 : # x 8 = A : 90 = 9 : \$ 4 = 4 : 80 # 11

para as condições em apreço, a fim de saber qual é a magnitude do f(h) que interessa. Em seguida, calculam-se vários valores de f(h) = A Rh^{2/3}, a fim de poder representar graficamente h "versus" f(h). Após a construção do gráfico, entra-se com o valor de f(h) = $\frac{nQ}{\sqrt{I}}$ e determina-se o valor de h, o qual permite calcular A e Rh.

O uso deste método será ilustrado com o mesmo problema usado no método das tentativas.

Para este caso,
$$f(h) = \frac{Q.n}{\sqrt{I}}$$
 será:

$$f(h) = \frac{0,309 \times 0,014}{\sqrt{0,004}} = 0,0684$$

Para facilitar os cálculos, usa-se a tabela a seguir:

Dimensionamento pelo método gráfico

h (m)	b (m)	A (m ²)	P (m)	Rh	Rh ^{2/3}	$f(h) = A Rh^{2/3}$
0,20	0,231	0,0693	0,693	0,10	0,2154	0,0149
0,24	0.277	0,0997	0,831	0,12	0,2433	0,0243
0,28	0,323	0,1355	0,969	0,14	0,2696	0,0365
0,32	0,369	0,1769	1,107	0,16	0,2947	0,0521
0.36	0,416	0.2248	1,248	0.18	0,3188	0,0717
0.40	0,462	0,2773	1,386	0,20	0,3420	0,0948

Para o problema, cujo valor de $f(h) = \frac{Qn}{\sqrt{I}}$ é 0,0684, pela Figura 5.4 tem-se

h = 0,356 m, ou seja, h = 36 cm e b = 42 cm. Assim: largura do fundo = 42 cm altura do canal = 36 + 20 = 56 cm.

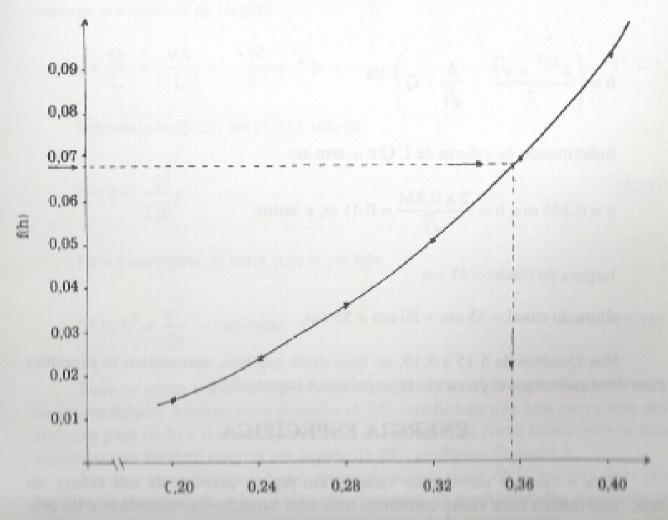


FIGURA 5.4 - Dimensionamento de canal, pelo método gráfico

Nota – Uma das grandes vantagens deste método é que uma vez construído o gráfico de h "versus"f(h), ele pode ser usado para dimensionar canais com diferentes valores de n, Q e I, porém com a mesma forma geométrica usada para construir a curva.

Plotando os valores de h "versus" f(h), tem-se a seguinte figura.

MÉTODO DIRETO

Este método, como o método gráfico, somente pode ser usado quando se predetermina uma relação constante entre os parâmetros geométricos do canal.

Para o mesmo problema usado no método das tentativas, tem-se:

$$b = \frac{2h}{\sqrt{3}}$$
; Rh = $\frac{b\sqrt{3}}{4}$; A = $\frac{3}{2}$ b h

Aplicando as equações de Manning e de Continuidade, com todos os parâmetros geométricos do canal, em função de h, obtém-se:

$$Q = \frac{2h}{\sqrt{3} 2^{2/3}} \cdot \frac{\sqrt{I}}{n} \cdot h^{8/3}$$

$$h = \left(\frac{2^{2/3} \times \sqrt{3}}{3} \cdot \frac{n}{\sqrt{I}} \cdot Q\right)^{3/8}$$

Substituindo os valores de I, Q e n, tem-se:

$$h = 0.354 \text{ m e b} = \frac{2 \times 0.354}{\sqrt{3}} = 0.41 \text{ m, e assim:}$$

largura do fundo = 41 cm

altura do canal = 35 cm + 20 cm = 55 cm.

CANAIS

(1.* PARTE)

Capítulo 6. Distribuição das velocidades. Declividade e talude. Perdas por evaporação e por infiltração.

O estudo do movimento de água nos canais é mais complexo que nos encanamentos. Enquanto que nesses últimos a forma da seção é, praticamente, uma só (circular), nos canais ela pode ser a mais diversa, dando uma distribuição muito variada da velocidade. Quase o mesmo acontece com a natureza das paredes, pois nos encanamentos há poucas modalidades (ferro fundido, aço, concreto-amianto e similares), enquanto que nos canais há uma grande variedade de tipos. Isso faz com que, no cálculo de um canal, seja maior o número de elementos a serem considerados.

Os canais podem ser descobertos ou cobertos, sendo que os primeiros são denominados, simplesmente, canais, enquanto que os cobertos recebem a denominação de aquedutos.

Nos cobertos ou não, a água tem uma superfície livre em contato com a atmosfera, estando, pois, sem pressão e só podendo descer. Isso estabelece perfeita distinção entre canais e encanamentos, porquanto os primeiros são condutos livres, enquanto que os últimos são forçados, podendo a água subir até certos limites.

Num projeto de irrigação, os canais podem ser divididos, quanto às suas finalidades, em canais de condução, de distribuição e de drenagem.

Os primeiros, geralmente maiores, levam a água da tomada aos canais de distribuição e podem se ramificar em canais principais, secundários etc., constituindo uma rede de condução.

Os de distribuição, também denominados de laterais e sublaterais, são abertos na própria área a ser irrigada, nas partes mais altas, e devem ter a superfície livre da água um pouco acima do nível do terreno, a fim de que este possa receber o líquido, segundo o sistema de irrigação usado. Sua ramificação recebe o nome de rede de distribuição.

Os canais de drenagem, geralmente mais profundos, são abertos, nas partes mais baixas e depressões do terreno, a fim de poder recolher o excesso de água de irrigação e de permitir a drenagem do solo. O sistema de ligação e disposição desses canais forma a rede de drenagem.

Nos capítulos sobre canais, a seguir, trataremos preferencialmente dos pequenos canais de condução e dos de distribuição.

DISTRIBUIÇÃO DAS VELOCIDADES

È muito importante o estudo da distribuição das velocidades da água em um canal.

Seja:

V = velocidade máxima U = velocidade média W = velocidade mínima

Considerando-se uma seção horizontal BC da veia líquida que se escoa por um canal (fig. 6-1), a velocidade máxima se encontra no meio O, diminuindo para as bordas.

Em uma seção vertical (fig. 6-1), verifica-se que a velocidade máxima não está na superfície, como à primeira vista poderia parecer. Por causa da tensão superficial, que gera uma resistência ao escoamento, a velocidade máxima se verifica um pouco abaixo

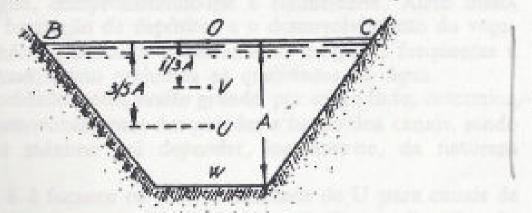


Fig. 6-1 - Distribuição das velocidades, na seção de um canal

da superfície, podendo atingir 1/3 da profundidade. A velocidade média se dá, geralmente, a 3/5 da profundidade e a velocidade mínima está no fundo.

A distribuição das velocidades pode ser representada pelas linhas isotáquicas que são vistas na fig. 6-2. As linhas do centro representam linhas com maiores velocidades.

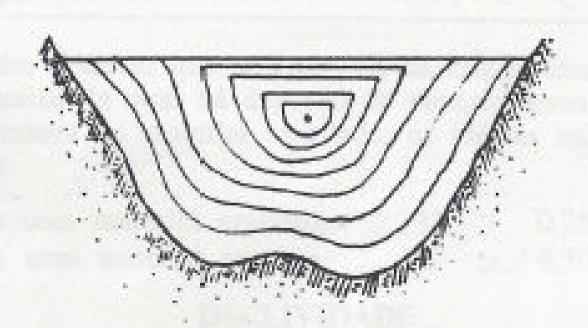


Fig. 6-2 — Distribuição das velocidades, na seção de um canal

Graficamente, pode-se traçar a curva das velocidades, para determinada posição da seção, tomando-se a altura A na ordenada e os valores das velocidades na abscissa, conforme a curva da fig. 6-3, tomada no eixo vertical de um canal.

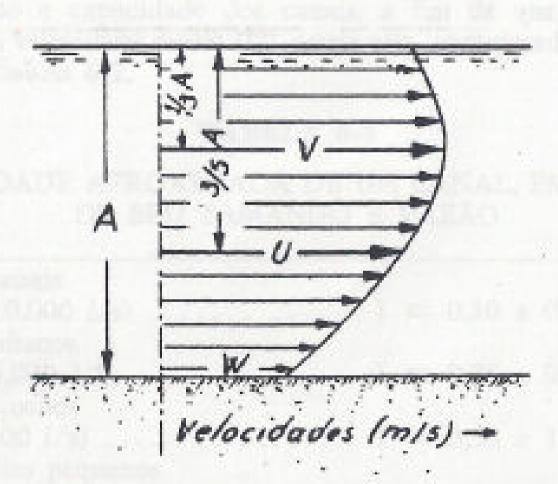


Fig. 6-3 — Representação gráfica das velocidades, na seção de um canal

Velocidade Média

A determinação da velocidade média é de grande importância, porquanto é por seu intermédio que se calcula ou se determina a vazão.

Há um sem-número de estudos procurando relacionar a velocidade média (U) com a máxima (V), sob as mais variadas condições de escoamento.

Quando, por exemplo, se mede diretamente a velocidade da água em um canal (rio, córrego, canal artificial etc.), o que se determina, geralmente, é a velocidade máxima (V), pois o flutuador quase sempre passa na zona dessa. Como, no cálculo da vazão, o que interessa é U e não V, tem-se que substituir este por aquele. Pode-se, sem grandes erros, adotar os valores constantes na tabela 6-1.

TABELA 6-1

RELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE MÉDIA U E A MÁXIMA V

Paredes lisas (cimento etc.)	U	==	0,85	a	0,95	V
Paredes pouco lisas (terra)	U	=	0,75	a	0,85	V
Paredes irregulares (terra)						
Paredes com vegetação (terra)	U	=	0,60	a	0,70	V

Limites da Velocidade Média

A velocidade média deve permanecer entre limites estabelecidos pela experiência, não devendo ser muito pequena, nem muito grande.

Uma velocidade média muito pequena não permite o bom arejamento da água, comprometendo-lhe a salubridade. Além disso, não impede a formação de depósitos e o desenvolvimento da vegetação, o que não só dificulta o escoamento, exigindo frequentes e custosas limpezas, como prejudica as qualidades da água.

Uma velocidade média muito grande, por outro lado, determina corrosões e desmoronamentos das paredes e fundo dos canais, sendo que seu valor máximo vai depender, logicamente, da natureza dessas.

A tabela 6-2 fornece os valores máximos de U para canais de terra, segundo a natureza dos solos atravessados, a fim de não haver tendência ao desmoronamento de suas paredes.

TABELA 6-2

VALORES MÁXIMOS DA VELOCIDADE MÉDIA (U), PARA CANAIS DE TERRA

Solos soltos	U	<	0,25	m/s
Solos medianos	U	<	0,50	m/s'
Solos compactos	U	<	1,00	m/s

Convém observar que as águas turvas exigem uma velocidade mínima, abaixo da qual há depósito do material transportado. Segundo a textura do material arrastado, os valores mínimos de U podem ser:

Águas	com	material	argiloso	U	>	0,25	m/s
Águas	com	material	arenoso	U	>	0,50	m/s

DECLIVIDADE

Da declividade de um canal (além de outros elementos) vai depender a velocidade com que a água circulará no mesmo. Assim sendo, não é possível escolher, arbitrariamente, uma declividade, sem antes calcular a velocidade correspondente e verificar se esta cai nos limites constantes da tabela 6-2.

A tabela 6-2, portanto, limita indiretamente a escolha da declividade, sendo que a tabela 6-3 dá alguns valores desta, em função do tamanho e capacidade dos canais, a fim de que, depois de calculada a velocidade média (U), esteja esta, aproximadamente, nos limites da tabela 6-2.

TABELA 6-3

DECLIVIDADE APROXIMADA DE UM CANAL, EM FUNÇÃO DE SEU TAMANHO E VAZÃO

Grandes canais					No.	- IIIVS
(mais de 10.000 l/s)	I =	0,10	a	0,30	por	mil
Canais medianos		10.76				
(3.000 a 5.000 l/s)	I =	0,25	a	0,50	por	mil
Canais pequenos						
(100 a 3.000 l/s)	1 =	0,50	a	1,00	por	mil
Canais muito pequenos		Ball				
(menos de 100 l/s)	I =	1,00	8	4,00	por	mil

A declividade pode ser constante ou não. No caso de o terreno exigir grandes declividades, incompatíveis com as tabelas 6-2 e 6-3, pode-se lançar mão de pequenas quedas ou saltos ao longo do canal. Assim, têm-se trechos do canal com a declividade mais aconselhável pelo cálculo e, de espaço em espaço, quedas, a fim de acompanhar a declividade do terreno.

Declividade de Custo Mínimo, em Canal de Derivação

À semelhança do que foi visto no Capítulo 4, sob o título "Importancia do Diâmetro na Vazão e Diâmetro Econômico de Derivação", poderíamos fazer o mesmo raciocínio ao projetarmos
derivar um canal de um curso de água, considerando-se este
com declive praticamente constante.

Segundo Lúcio dos Santos (1938, 2.º Vol., p. 532-536), a dealividade do canal que corresponde ao custo mínimo deve ser, aproximadamente, de 0,3 da do curso de água, isto é:

I = 0,3 I', sendo (figuras 4-17 e 8-1):

I = declividade do canal de derivação (sem revestimento), correspondente ao custo mínimo.

I' = declividade do curso de água.

O ideal, aliás, é fazer-se um projeto com várias alternativas baseadas em dados do próprio local para se chegar à conclusão definitiva, inclusive verificando se a velocidade média vai ficar compreendida entre os limites estabelecidos pela tabela 6-2 e notando-se que um canal mais longo vai exigir maior gasto em sua conservação e limpeza.

TALUDE

No traçado de um canal, a forma da seção que mais se usa é a do trapézio isósceles, sendo que a inclinação das paredes (talude) é determinada de acordo com a sua natureza.

Na fig. 6-4, tem-se:
$$\cot \alpha = \frac{a}{\Delta} = m = \text{talude}$$

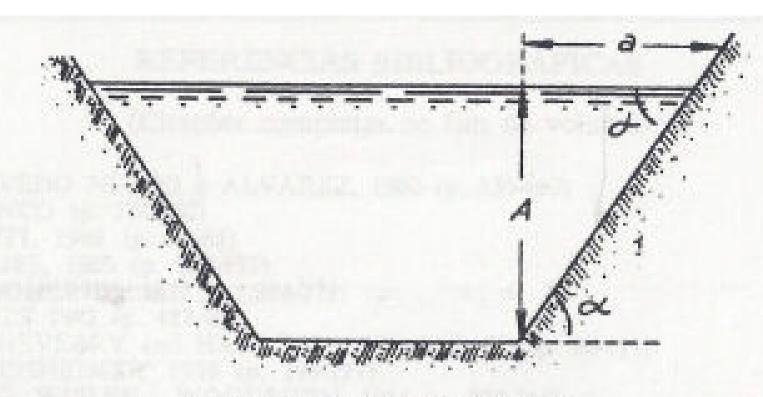


Fig. 6-4 - Talude de um canal

Chamando de m a cotg α (talude), a tabela 6-4 dá os seus valores, em função da natureza das paredes de um canal, a fim de que ele resista melhor ao desmoronamento.

TABELA 6-4

VALORES DO TALUDE, EM FUNÇÃO DA NATUREZA DAS PAREDES

(Canais sem revestimento)

Natureza do solo	Talude						
Solos muito compactos	m = 0,5 (α = 63°)						
Solos de média coesão	m = 1,0 (α = 45°)						
Solos soltos	m = 1,5 a 2,0 (α = 34 a 26°)						

PERDAS POR EVAPORAÇÃO E POR INFILTRAÇÃO

No planejamento de um grande canal, devem-se ter em vista as perdas de água por evaporação e por infiltração.

Por evaporação, a perda depende da latitude, altitude, situação e extensão da superfície exposta etc. A perda diária pode ser considerada como sendo, em nossa região, de 3 a 7 mm, podendo esta atingir um pouco mais no verão, sendo que em alguns casos pode-se também considerar as perdas por evaporação das partes úmidas adjacentes e por transpiração das plantas que crescem ao longo dos canais.

A perda por infiltração depende da natureza do solo (canais sem revestimento) ou do revestimento do canal. Assim, em canais sem revestimento escavados em solos argilosos, essa perda pode ir a 1 mm por dia; em solos pouco permeáveis a 8 mm e, em solos arenosos, de 20 a 60 mm por dia. Essa perda reduz-se, geralmente, com o correr do tempo.

É de toda conveniência empregar todos os meios disponíveis para que seja reduzida a perda por infiltração ao longo dos canais, mormente em projetos de irrigação em zonas áridas, onde a água infiltrada, juntando-se à do lençol freático, poderá elevar seu nível a tal ponto que cause graves prejuízos de salinização e inundação dos terrenos baixos adjacentes.

Para canais de irrigação muito pequenos e curtos, que são os mais comuns em nossos trabalhos, costuma-se desprezar a perda por evaporação. A perda por infiltração pode, também, ser desprezada nos cálculos, desde que se trate de canais escavados em solos compactos e em que a água circule continuamente. Aliás, em canais sem revestimento, a água não deve circular intermitentemente, pois aí a perda por infiltração seria bem maior. Finalmente, deve-se ter muito cuidado no planejamento de um canal, por pequeno que seja, e mesmo que a água circule continuamente, escavado em solos porosos, pois há sempre necessidade de um revestimento nesses tipos de solo.

As perdas por infiltração em canais sem revestimento podem ser consideravelmente reduzidas pelo tratamento com impermeabilizantes químicos. Destes, têm sido usados com sucesso, por técnicos do Instituto Agronômico de São Paulo, a soda cáustica e o carbonato e silicato de sódio, nas diluições, em água, de 3 a 6 por mil. A concentração mais indicada depende da natureza do solo e pode ser determinada por meio de ensaios de laboratório. O tratamento é feito regando-se as paredes e o fundo do canal com a solução impermeabilizante, podendo o canal entrar em serviço uns três dias após o tratamento.

CANAIS

(2.* PARTE)

CÁLCULO DE UM CANAL

- * Fórmula de Bazin
- * Cálculo de S, M e R
- Fórmula de Manning
- * Exemplos

Seção de vazão máxima

- Solução gráfica
- * Solução algébrica
- Observação

Problemas práticos

Referências bibliográficas

CÁLCULO DE UM CANAL

Como no caso das tubulações, inúmeras são as fórmulas usadas no cálculo de um canal, podendo, quase todas elas, ser usadas em ambos, desde que sejam aplicados coeficientes adequados.

Serão dadas, no presente capítulo, somente as fórmulas de Bazin e de Manning, ambas muito difundidas e usadas, sendo que, ultimamente, a de Manning, de uso corrente nos Estados Unidos, tem tido aceitação geral, inclusive no Brasil.

Fórmula de Bazin

Do estudo comparativo de umas 700 experiências realizadas em canais de diversas naturezas, começadas em 1854 por Darcy e Bazin e continuadas por este último até 1862, resultou a fórmula conhecida hoje por fórmula de Bazin:

onde:

$$c = \frac{87\sqrt{R}}{y + \sqrt{R}} \qquad (48)$$

Sendo:

U	200	velocidade média (m/s)
T	-	declividade média (m/m)
R	-	rajo médio ou hidráulico = S/M (m)
S		secão (m²)
M	-	perímetro molhado (m)
y	-	coeficiente que depende da natureza das pa-
55		redes dado pela tabela 7-1
C		coeficiente de velocidade, calculado pela for-
		mula 48 ou dado pela tabela 7-2.

TABELA 7-1

VALORES DO COEFICIENTE y DA FORMULA DE BAZIN

N.º	Natureza das paredes	у
2 Parede 3 Parede 5 Parede 5 Parede	muito lisas (cimento, madeira aplainada)	0,46

Cálculos de S, M e R

Supondo o caso de a seção ser um trapézio isósceles e chamando de (fig. 7-1):

A - profundidade do canal.

L - base inferior.

α - ângulo de inclinação.

m - cotg a

TABELA 7-2 VALORES DO COEFICIENTE c DE VELOCIDADE DE BAZIN $c = 87 \sqrt{R} / y + \sqrt{R}$

R		Valores	de y (ve	r tabela 7	-1)	
(m)	0,06	0,16	0,46	0,85	1,30	1,75
0,05	68,5	50,7	28,5	18,1	12,8	9,9
0,06	69,8	52,6	30,2	19,4	13,8	10,7
0,07	70,9	54,2	31,7	20,6	14,7	11,4
0,08	71,8	55,6	33,1	21,7	15,5	12,1
0,09	72,5	56,7	34,4	22,7	16,3	12,7
0,10	73,1	57,7	35,5	23,6	17,0	13,3
0,11	73,6	58,7	36,5	24,4	17,7	13,9
0,12	74,1	59,5	37,4	25,2	18,3	14,4
0,13	74,6	60,2	38,2	25,9	18,9	14,9
0,14	75,0	60,9	39,0	26,7	19,4	15,3
0,15	75,3	61,5	39,7	27,2	19,9	15,8
0,16	75,6	62,1	40,5	27,8	20,4	16,2
0,17	75,9	62,7	41,2	28,4	20,9	16,6
0,18	76,2	63,2	41,8	29,0	21,4	17,0
0,19	76,5	63,6	42,4	29,5	21,8	17,3
0,20	76,7	64,1	42,9	30,0	22,3	17,7
0,21	76,9	64,5	43,5	30,5	22,7	18,1
0,22	77,1	64,9	44,0	30,9	23,1	18,4
0,23	77,8	65,2	44,4	31,4	23,4	18,7
0,24	77,5	65,5	44,8	31,8	23,8	19,0
0,25	77,6	65,9	45,3	32,2	24,2	19,3
0,26	77,3	66,2	45,7	32,6	24,5	19,6
0,27	78,0	66,5	46,1	33,0	24,8	19,9
0,28	78,1	66,8	46,5	33,4	25,2	20,2
0,29	78,3	67,0	46,9	33,7	25,5	20,5
0,30	78,4	67,3	47,3	34,1	25,8	20,7
0,31	78,5	67,6	47,6	34,3	26,1	21,0
0,32	78,6	67,8	47,9	34,7	26,4	21,2
0,33	78,8	68,0	48,2	35,1	26,7	21,5
0,34	78,9	68,2	48,5	35,4	26,9	21,7
0,35 0,36 0,37 0,38 0,39	79,0 79,1 79,2 79,2 79,3	68,4 68,6 68,8 66,0 66,2	48,8 49,2 49,5 49,8 50,1	35,7 36,0 36,3 36,6 36,8	27,2 27,5 27,7 28,0 28,2	22,0 22,4 22,7 22,8
0,40	79,4	69,4	50,5	37,1	28,5	23,1
0,41	79,5	69,6	50,6	37,4	28,7	23,2
0,42	79,6	69,7	50,9	37,6	28,9	23,1
0,43	79,7	69,9	51,1	37,9	29,2	23,1
0,44	79,7	70,1	51,4	38,1	29,4	23,1

		TABEL	A 7-2 (Co	nclusão)		_
R		Valore	s de y (ve	er tabela '	7-1)	
(m)	0,06	0,16	0,46	0,85	1,30	1,75
0,45	79,8	70,2	51,6	38,4	29,6	24,1
0,46	79,9	70,4	51,8	38,6	29,8	24,3
0,47	80,0	70,5	52,0	38,8	30,0	24,5
0,48	80,0	70,6	52,3	39,1	30,2	24,7
0,49	80,1	70,8	52,5	39,3	30,4	24,8
0,50	80,2	70,9	52,7	39,5	30,6	25,0
0,55	80,4	71,5	53,7	40,5	31,6	25,9
0,60	80,7	72,1	54,6	41,4	32,5	26,7
0,65	80,9	72,6	55,4	42,3	33,3	27,4
0,70	81,1	73,0	56,1	43,1	34,1	28,1
0,75	81,3	73,4	56,8	43,9	34,8	28,8
0,80	81,5	73,8	57,0	44,6	35,5	29,4
0,85	81,7	74,1	58,0	45,2	36,1	30,0
0,90	81,8	74,4	58,6	45,9	36,7	30,6
0,95	81,9	74,7	59,1	46,5	37,3	31,1
1,00	82,0	75,0	59,6	47,0	37,8	31,6
1,10	82,2	75,4	60,5	48,0	38,8	32,6
1,20	82,4	75,9	61,3	48,9	39,7	33,5
1,30	82,6	76,3	62,0	49,8	40,6	34,3
1,40	82,8	76,6	62,6	50,6	41,4	35,1
1,50	82,9	76,9	63,2	51,3	42,2	35,8
1,60	83,0	77,2	63,8	52,0	42,9	36,5
1,70	83,1	77,5	64,3	52,6	43,6	37,1
1,80	83,2	77,7	64,8	53,2	44,2	37,7
1,90	83,3	77,9	65,2	53,8	41,8	38,3
2,00	83,4	78,1	65,6	54,3	45,3	38,9
2,20	83,6	78,5	66,4	55,3	46,4	39,9
2,40	83,7	78,8	67,1	56,2	47,3	40,8
2,60	83,8	79,1	67,7	57,0	48,1	41,7
2,80	83,9	79,4	68,2	57,7	48,9	42,5
3,00	84,0	79,6	68,7	58,3	49,7	43,3
3,20	84,1	79,8	69,2	58,9	50,4	44,0
3,40	84,2	80,0	69,6	59,5	51,0	44,6
3,60	84,3	80,2	70,0	60,1	51,6	45,2
3,80	84,4	80,4	70,4	60,6	52,2	45,8
4,00	84,4	80,5	70,7	61,0	52,7	46,4
4,50	84,6	80,9	71,5	62,1	53,9	47,6
5,00	84,7	81,2	72,1	63,0	55,0	48,8
5,50	84,8	81,4	72,7	63,8	56,0	49,8
6,00	84,9	81,6	73,2	64,6	56,8	50,7

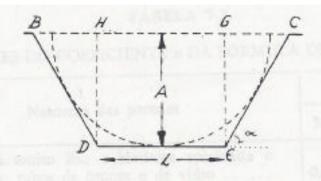


Fig. 7-1 — Cálculo da seção de um canal

tem-se:

tem-se:

$$A = A \cdot L + 2 \cdot \frac{A}{2} \cdot CG \cdot CG$$

$$S' = AL + 2 \left(\frac{A}{2} A \cdot \cot \alpha\right) = AL + A \cdot Am :$$

$$S = A (L + mA)$$
 (49)

$$M = L + 2 \sqrt{A^2 + m^2 \cdot A^2} \cdot .$$

$$M = L + 2A \sqrt{1 + m^2}$$
 (50)

Logo:

Pair
$$R = \frac{S}{M} = \frac{A(L + mA)}{L + 2A\sqrt{1+m^2}}$$
 (51)

Fórmula de Manning

A fórmula de Manning, mais simples que as primitivas e baseada em um grande número de trabalhos experimentais e comprovações práticas, teve, como ponto de partida da expressão algébrica, a fórmula de Kutter.

Assim, fazendo
$$c = \frac{R^{1/6}}{n}$$

a fórmula de Kutter se transforma, algebricamente, na de Manning:

$$U = -\frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots \dots (52)$$

O valor do coeficiente n pode ser obtido na tab. 7-3, sendo

dado tanto para canais como para tubulações.

As tabelas 8-5 e 8-6 dão as seções tipos de canais escavados em terra e revestidos de concreto, segundo a fórmula de Manning, para taludes de 1,5:1, segundo vários valores da declividade.

EXEMPLOS

1º Exemplo: Calcular a vazão de um canal de seção trapezoidal, revestido de concreto cimentado e que apresente as seguintes dimensões:

$$L = 0.37 \text{ m}$$

 $A = 0.25 \text{ m}$
 $I = 0.2^{\circ}/\text{oo} = 0.0002 \text{ m/m}$
 $Talude = 1:2 \text{ (m} = 0.5)$

TABELA 7-3

VALORES DO COEFICIENTE n DA FÓRMULA DE MANNING

because at the second second	п		
Natureza das paredes	Mín.	Máx.	
Cimento muito liso e madeira aplainada e			
lixada: tubos de bronze e de vidro	0,010	0,013	
Manilhas vitrificadas e canaletas de metal liso	0,010	0,015	
Argamassa de cimento; manilhas comuns; ma- deira não aplainada	0,011	0,015	
concreto; alvenaria de tijolo com argamassa			
de concreto	0,011	0,017	
— Concreto muito liso	0.011	0,012	
Concreto bem acabado	0.012	0,014	
Concreto poroso, sem acabamento	0,015	0,016	
Concreto com juntas ásperas	0,016	0,017	
Tubos de ferro fundido e de ferro galvanizado	0.013	0,017	
Alvenaria de pedra aparelhada	0.013	0,017	
Alvenaria de pedra argamassada	0.017	0,030	
Canais de terra, limpos e uniformes	0,017	0,025	-
Canais dragados em terra, limpos; metal cor-		0.055	
rugado	0,025	0,033	
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes	0,025	0,035	
Canais com leito pedregoso e vegetações nos	0.005	0.040	
taludes	0,025	0,045	
Canais abertos irregularmente em rocha	0,035	0,043	
Cursos naturais, retilíneos e uniformes	0,025	0,055	
Cursos naturais, irregulares	0,045	0,000	
Cursos naturais, com muita vegetação	0,075	0,150	

Solução

Tem-se:

$$R = \frac{S}{M} = \frac{A (L + mA)}{L + 2A \sqrt{1 + m^2}} = \frac{0,25 (0,37 + 0,5.0,25)}{0,37 + 2 \times 0,25 \sqrt{1 + (0,5)^2}}$$

$$R = \frac{0,125}{0,930} = 0,134 \text{ m}$$

Portanto,

$$R = 0.134 \text{ m}$$

 $S = 0.125 \text{ m}^2$

Fórmula de Bazin

Tomando-se y = 0,16 e, para R = 0,134, a tabela 7-2 dá:

$$c = 60,2$$

Logo:

$$U = c \sqrt{RI} = 60.2 \sqrt{0.134.0.0002} = 0.31 \text{ m/s}$$

Donde:

b) Fórmula de Manning

Tomando-se n = 0,012, tem-se:

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} 1^{1/2} = \frac{1}{0.012} 0.134 . 0.0002 = 0.306 m/s$$

Donde:

$$Q = S$$
, $U = 0.125 \times 0.306 = 0.038 \text{ m}^3/\text{s} = 38 \text{ l/s}$

27 Exemplo: Um canal de concreto, não muito liso, apresenta as se-

Calcular a velocidade média e a vazão para o caso de funcionar ele completamente cheio.

O valor de m é:

$$m = \frac{0.15}{0.50} = 0.30$$

Logo:

$$R = \frac{S}{M} = \frac{A. (L + mA)}{L + 2A\sqrt{1 + m^d}} = \frac{0,50 (0,60 + .0,30. 0,50)}{0,60 + 2. 0,50 \sqrt{1 + (0,30)^3}}$$

$$R = \frac{0,375}{1,68} = 0,22 \text{ m}$$

Portanto:

a) Fórmula de Bazin

Tomando-se y = 0,46 e, para R = 0,22, a tabela 7-2 dá:

$$c = 44.0$$

Logo:

$$U = c \sqrt{RI} = 44.0 \sqrt{0.22.0.003} = 1.13 \text{ m/s}$$

Donde:

$$Q = S. U = 0,375.$$
 1,13 = 0,424 m³/s = 424 l/s

b) Fórmula de Manning

Tomando-se n = 0,017, tem-se:

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} 1^{1/2} = \frac{1}{0.017} \frac{-2/3}{0.22} \cdot \frac{-1/2}{0.003} = 1.17 \text{ m/s}$$

Donde:

$$Q = S$$
. $U = 0.375 \times 1.17 = 0.438 \text{ m}^3/\text{s} = 438 \text{ l/s}$

SEÇÃO DE VAZÃO MÁXIMA

Pela fórmula de Bazin (Fórmulas 47 e 48), tem-se

$$U = c \sqrt{RI} = \frac{87 \sqrt{R}}{y + \sqrt{R}} \cdot \sqrt{RI}$$

sendo
$$R = \frac{S}{M}$$
 e $Q = S.U$,

donde:

$$Q = S. \frac{87 \sqrt{R}}{y + \sqrt{R}} \sqrt{RI}$$

Nessas condições, para se aumentar a vazão Q, tem-se que au-

mentar os valores de S, I ou R, ou diminuir o valor de y.

Considerando-se que o aumento de S acarreta maiores despesas na abertura, conservação etc. de um canal; que o aumento de I determina uma perda de altura do canal; que a diminuição de y exige o seu revestimento, o que não fica barato, vê-se que o mais aconselhável, para se aumentar Q, é aumentar R. Como R = S/M, vê-se que, para se aumentar R, deve-se diminuir M e daí concluir-se que, para os mesmos valores de S, I e y, o máximo da vazão, Q, corresponde ao mínimo de perímetro molhado M.

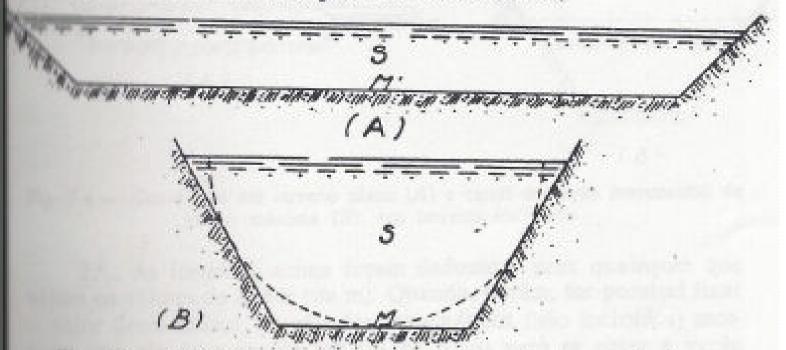


Fig. 7-2 — Canais com a mesma seção S e perímetros molhados M e M' diferentes

A fig. 7-2 dá uma idéia da conclusão a que as fórmulas conduzem. O canal A, embora tenha a mesma seção S, declividade I e natureza das paredes y dá uma vazão menor do que o canal B, pois este último apresenta um perímetro molhado M menor e, portanto, menores perdas por atrito entre a água e as suas paredes.

Para o traçado da seção de vazão máxima, também chamada de seção de máxima eficiência, tem-se que recorrer a um problema

de máximos e mínimos, que não será reproduzido.

No caso de a seção ser trapezoidal e de serem dados a altura A e o talude m (e portanto o ângulo α,) a solução do problema é a seguinte:

Solução Gráfica

Para se construir a seção trapezoidal de vazão máxima em função da altura A e ângulo α, tira-se ON igual a A (fig. 7-3) e uma reta indefinida xy, perpendicular a ON; em seguida, traça-se um semicirculo de raio A e tira-se DB e EC tangentes a esse semi-círculo e formando, ao mesmo tempo, o ângulo dado α com xy; tira-se, finalmente, BOC paralela a DE.

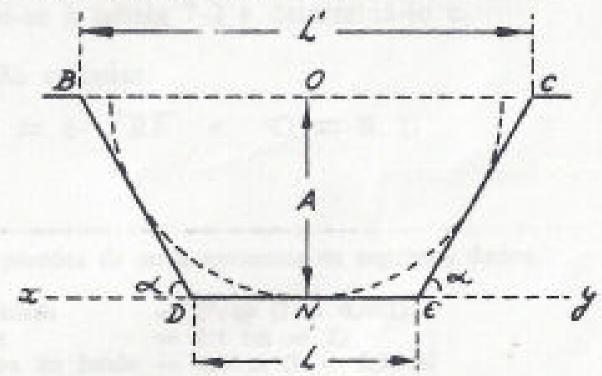


Fig. 7-3 — Traçado da seção de vazão máxima em função de A e α

Solução Algébrica

Vê-se, pela solução gráfica que, na seção trapezoidal de vazão máxima, há uma relação entre A, L e α, o que não acontece com uma seção trapezoidal qualquer. Nesta, L pode ter um valor completamente independente de A e de α sendo, portanto, necessário o seu conhecimento para se determinar os outros elementos do canal, ao passo que, na seção trapezoidal de vazão máxima, basta que se conheça A e α para se obter todos os outros elementos necessários ao cálculo do canal.

Assim, depois de várias deduções, chega-se às seguintes fór-

$$L = 2A (\sqrt{1 + m^3} - m)$$
 (54)

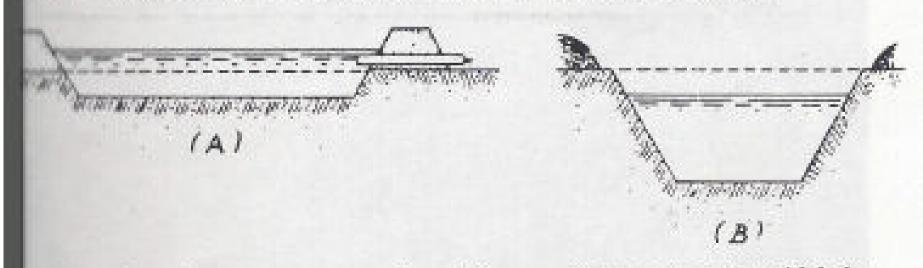
$$S = A^{2} (2\sqrt{1+m^{2}}-m)$$
 (55)

$$M = 2A (2 \sqrt{1 + m^3} - m) \dots (56)$$

$$R = \frac{S}{M} \quad \therefore \quad R = \frac{A}{2} \quad \dots \quad (57)$$

Observações

1.* Para pequenas vazões, a seção trapezoidal de vazão máma é muito usada, não só por economia, como, também, pela faidade dos cálculos. Para grandes vazões, todavia, o seu uso é nitado em vista da grande profundidade que o seu cálculo deterna. Há, também, o caso de terrenos planos, como nos pampas úchos, em que há vantagens em construir canais bem rasos g. 7-4-A), não só por economia no movimento de terra (há sonte uma pequena escavação e o levantamento de pequenos dies), como, também, pela facilidade na tomada da água.



7-4 — Canal raso em terreno plano (A) e canal de seção trapezoidal de vazão máxima (B), em terreno inclinado

2." As fórmulas acima foram deduzidas para quaisquer que jam os valores de A e α (ou m). Quando, porém, for possível fixar valor deste último, os cálculos matemáticos (não incluídos) mosam que ele deve ser de 60° (m = 0,58) para se obter a vazão áxima em canais de seção trapezoidal. Isso é muito importante

em canais revestidos, onde o talude pode ser dado em função desta economia, ao passo que em canais de terra este depende da natureza do solo, como foi visto.

PROBLEMAS PRÁTICOS

1.º Problema

Conhecendo-se a seção molhada, a natureza das paredes e a declividade média de um canal, determinar a velocidade média da água e a vazão fornecida pelo canal.

Em resumo: São dados: S, M e I Pede-se: U e Q

Tem-se R =
$$\frac{S}{M}$$

Como a natureza das paredes é conhecida, a tabela 7-1 fornece o valor de y. Com este valor de y e com o valor de R calculado acima, vai-se à tabela 7-2 e determina-se c.

Pode-se então calcular:

$$U = c \sqrt{RT} e Q = S.U$$

EXEMPLO:

Um canal de paredes de terra apresenta os seguintes dados:

Determinar a velocidade média (U) e a descarga (Q).

Solução

Como a parede é de terra comum, a tabela 7-1 dá: y = 1,30.

A fórmula 51 dá o valor de R:

$$R = \frac{S}{M} = \frac{A(L + mA)}{L + 2A\sqrt{1 + m^2}} = \frac{0,40(0,30 + 2.0,40)}{0,30 + 2.0,40\sqrt{1 + 2^2}} =$$

= 0.21 m e S $= 0.44 \text{ m}^2$

Para R = 0,21 m e y = 1,30, a tabela 7-2 dá:

c = 22,7

Tem-se portanto:

$$U = c \sqrt{RI} = 22.7 \sqrt{0.21.0.002} = 0.46 \text{ m/s}$$

 $Q = S. U = 0.44.0.46 = 0.202 \text{ m}^3/\text{s} = 202 \text{ I/s}$

2.° Problema

Conhecendo-se a seção de escoamento de um canal, a vazão ue ele deve dar e a natureza das paredes, determinar sua decliviide e a velocidade média da água:

Em resumo: São dados: Q, S e M

Pede-se: I e U

Tem-se:
$$U = \frac{Q}{S}$$
 e $R = \frac{S}{M}$

Como a natureza das paredes é conhecida, a tabela 7-1 fornece o valor de y e a tabela 7-2 dá o valor de c.

Da expressão U = c \(RI, \) tira-se, finalmente, o valor de I.



Fig. 7-6 — Canal em encosta, em trabalhos de irrigação de cana-de-açúcar (Usina Amália, São Paulo)

EXEMPLO:

Calcular a declividade média e a velocidade média da água de um canal de seção trapezoidal de vazão máxima, para dar 2.000 l/s com uma altura de 1,50 m. As paredes são de terra (* = 1,30) e taludadas de 3 de base para 2 de altura (Fig. 7-7).

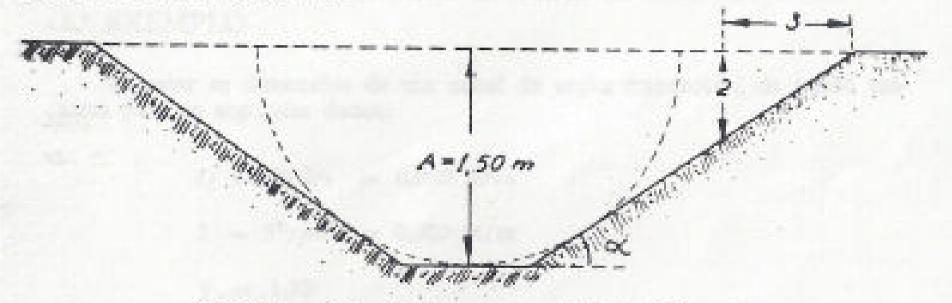


Fig. 7-7 — Cálculo de um canal (2.º Problema)

Solução

Tem-se cotg
$$\alpha = m = \frac{3}{2} = 1.5$$

Portanto (Seção trapezoidal de vazão máxima):

$$S = A^{2} (2 \sqrt{1 + m^{2}} - m) = (1,5)^{2}.$$

$$(2 \sqrt{1 + (1,5)^{2}} - 1,5) = 4,725 m^{2}$$

$$R = \frac{A}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ m}$$

$$Q = S. U : U = \frac{Q}{S} = \frac{2}{4,725} = 0,423 \text{ m/s}$$

Como as paredes são de terra, a tabela 7-1 fornece y = 1,30 e a tabela 7-2, dá, para y = 1,30 e R = 0,75:

$$c = 34.8$$

Tem-se, então:

$$U = c \sqrt{RI}$$
 ... $I = \frac{U^2}{c^2R} = \frac{(0,423)^2}{(34,8)^2.0,75} = 0,000197$

Praticamente, I = 0,0002 = 0,20/00.

3.º Problema

Conhecendo-se a vazão, a natureza das paredes, a declividade e a forma da seção (incluindo o talude) de um canal, determinar a velocidade média da água e as dimensões da seção.

Em resumo: São dados: Q, y I e a forma da seção (m).

Pede-se: U e S (A e L).

A solução direta do presente problema conduz a longas equações de resoluções penosas. Daí a preferência, na prática, de resolvê-lo por tentativas. Procede-se do seguinte modo:

TRAPEZIO DE VAZÃO MÁXIMA

Dá-se um valor arbitrário para A e determina-se S e R; a tabela 7-1 fornece o valor de y em função da natureza das paredes; a tabela 7-2 dá o valor de c em função de y e R; pode-se assim determinar

$$U = c\sqrt{RI} e Q = S. U$$

Se o valor de Q assim obtido for inferior ao dado, faz-se nova tentativa, aumentando A; se maior, diminui-se A. No fim de algumas tentativas, chega-se a um valor satisfatório para a profundidade A.

TRAPEZIO QUALQUER

Como, nesse caso, não há relação entre A e L, tem-se que fixar um determinado valor para L e fazer tentativas para diversos valores de A, ou vice-versa.

OBSERVAÇÃO:

O presente problema é um dos mais comuns na prática. Quando se vai projetar um canal, conhecem-se, geralmente, Q, y I, m e a forma mais conveniente da seção, sendo necessário, portanto, determinar os valores de U e de S.

Calculado U, deve-se observar se o seu valor corresponde, aproximadamente, aos dados pela tabela 6-2. Caso isso não se verifique, e sendo possível, deve-se aumentar ou diminuir a declividade, a fim de que os valores de U caiam dentro dos limites estabelecidos pela referida tabela. Não sendo praticável assim se proceder, não resta outro recurso senão sujeitar-se às desvantagens que uma velocidade média muito pequena ou muito grande acarreta a um canal.

1.º EXEMPLO

Calcular as dimensões de um canal de seção trapezoidal de vazão máxima para os seguintes dados:

$$Q = 80 l/s = 0,080 m^3/s$$

$$I = 3^{\circ}/00 = 0,003 \text{ m/m}$$

$$y = 1,30$$

$$\alpha = 45^{\circ}$$
 . m = 1

Solução (tentativas)

1º tentativa: Seja: A = 0,30 m

Tem-se:

$$R = \frac{A}{2} = \frac{0,30}{2} = 0,15 \text{ m}$$

c = 19,9 (na tabela 7-2, para:

$$R = 0.15 e$$

y = 1.30)

$$U = c \sqrt{RT} = 19.9 \sqrt{0.15}. 0.003 = 0.42 \text{ m/s}$$

$$S = A^{2} (2 \sqrt{1 + m^{2}} - m) = (0.30)^{2}.$$

$$(2 \sqrt{1 + 1^{2}} - 1) = 0.164 \text{ m}^{2}$$

$$Q = S. U = 0.164. 0.42 = 0.068 \text{ m}^{2}/\text{s} = 68 \text{ l/s}.$$

Como a vazão encontrada é menor do que a vazão dada, vê-se que = 0,30 m é um valor pequeno para a profundidade do canal. 2º tentativa: Seja: A = 0,40 m

Tem-se:

$$R = \frac{A}{2} = \frac{0,40}{2} = 0,20 \text{ m}$$

c = 22.3 (na tabela 7-2, para:

$$R = 0,20 e$$

y = 1,30)

$$U = c \sqrt{RI} = 22.3 \sqrt{0.20}. 0.003 = 0.55 \text{ m/s}$$

$$S = A^2 (2 \sqrt{1 + m^2} - m) = (0.40)^2.$$

$$.(2 \sqrt{1 + 1^2} - 1) = 0.29 \text{ m}^2$$

$$Q = S.U = 0.29. 0.55 = 0.160 \text{ m}^3/\text{s} = 160 \text{ l/s}$$

Vê-se que o valor A = 0,40 m é grande.

3º tentativa: Seja: A = 0,35 m

Tem-se:

```
R = 0.175 \text{ m}
c = 21.1 \text{ m}
U = 0.48 \text{ m/s}
S = 0.224 \text{ m}^2
Q = 0.108 \text{ m}^3/\text{s} = 108 \text{ l/s}
```

4* tentativa: Seja: A = 0,32 m

Tem-se:

$$R = 0.16 \text{ m}$$

 $c = 20.4$
 $U = 0.446 \text{ m/s}$
 $S = 0.186 \text{ m}^2$
 $Q = 0.082 \text{ m}^3/\text{s} = 82 \text{ l/s}$

Como a vazão encontrada é, aproximadamente, igual à vazão dada no problema, vê-se que o valor de A = 0,32 m é satisfatório.

Posto isso, calcula-se a largura no fundo:

L - 2A
$$(\sqrt{1 + m^2} - m)$$
 - 2. 0,32 $(\sqrt{1 + 1^2} - 1)$ - 0,26 m

Na prática é sempre conveniente, para maior segurança, reforçar de 20 a 30% o valor estritamente necessário da seção, não só para contrabalançar sua diminuição causada pela formação de depósitos e crescimento da vegetação, como, também, para evitar transbordamentos causados por chuvas, obstrução do canal etc.

Para muior eficiência e para facilitar o cálculo, quando se vai aumentar a seção, procede-se da seguinte maneira: traça-se o canal conforme o cálculo, isto é, conservam-se os valores de L, A e α Feito isso, toma-se um novo valor $A_1 = 5/4$ A ou $A_2 = 4/3$ A, dependendo das condições particulares do canal (fig. 7-8).

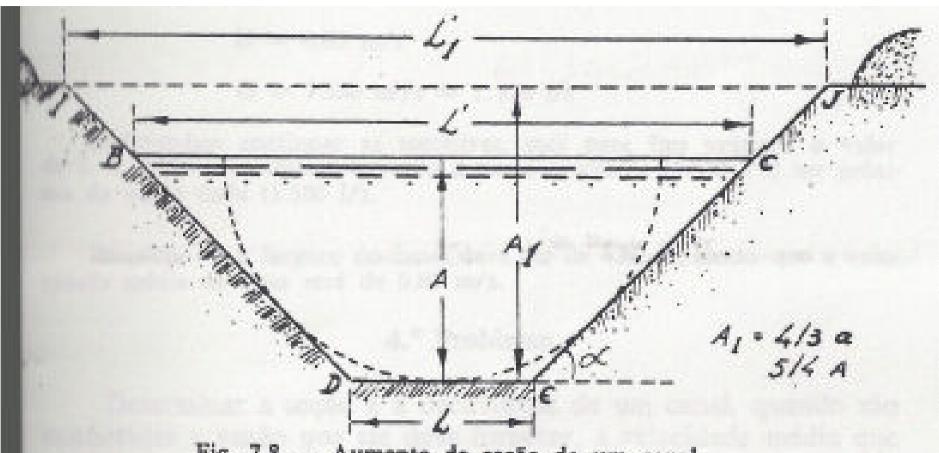


Fig. 7-8 — Aumento da seção de um canal

Tendo-se todas as dimensões do canal, pode-se fazer, com o uxílio de sarrafos, a sua forma, a fim de facilitar a escavação do premo (fig. 7-9).

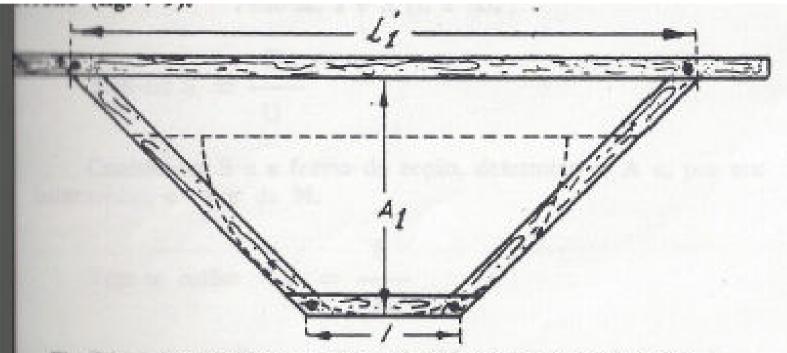


Fig. 7-9 — Contorno de um canal, armado com sarrafos de madeira

" EXEMPLO (Canal em terreno plano)

Calcular a largura de um canal para os dados abaixo (fig. 7-10).

$$Q = 1.500 l/s = 1.5 m5/s$$
 $I = 1°/oo = 0.001 m/m$
 $A = 0.50 m$
 $A_1 = 0.65 m (não entra no cálculo)$
 $m = 1$
 $y = 1.30$

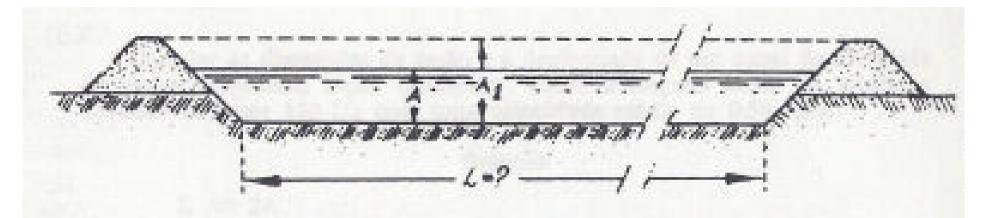


Fig. 7-10 — Cálculo da largura de um canal (2.º Exemplo)

Solução (tentativas)

19 tentativa: L = 5 m

$$R = \frac{S}{M} = \frac{A (L + mA)}{L + 2A \sqrt{1 + m^2}} = \frac{0,50 (5 + 1.0,50)}{5 + 2.0,5 \sqrt{1 + 1^2}} = \frac{2,75}{6,41} = 0,429 \text{ m}$$

$$c = 29,2 \text{ (tabela7-2, para } R = 0,429 \text{ e } y = 1,30)$$

$$U = c \sqrt{RI} = 29.2 \sqrt{0.429} \cdot 0.001 = 0.60 \text{ m/s}$$

 $Q = S$. $U = 2.75$. $0.60 = 1.65 \text{ m}^3/\text{s}$

29 tentativa: L = 4,50 m

$$R = \frac{S}{M} = \frac{A (L + mA)}{L + 2A \sqrt{1 + m^2}} = \frac{050 (4,50 + 1.0,50)}{4,50 + 2.0,50 \sqrt{1 + 1^2}} = \frac{2,50}{5,91} = 0,423 \text{ m}$$

c = 29 (tabela 7-2, para R = 0,423 e y = 1,30)
U = c
$$\sqrt{RI}$$
 = 29 $\sqrt{0,423}$. 0,001 = 0,59 m/s
Q = S. U = 2,50. 0,59 = 1,457 m³/s

39 tentativa: L = 4,60 m

$$R = \frac{S}{M} = \frac{2,55}{6.01} = 0,424$$

$$U = 0.60 \text{ m/s}$$

$$Q = 1,530 \text{ m}^3/\text{s} = 1.530 \text{ l/s}$$

Poder-se-iam continuar as tentativas, mas para fins práticos o valor de L = 4,60 m é satisfatório, visto a vazão calculada (1.530 I/s) ser próxima da vazão dada (1.500 I/).

Resposta — A largura do canal deve ser de 4,60 m, sendo que a velocidade média da água será de 0,60 m/s.

4.° Problema

Determinar a seção e a declividade de um canal, quando são conhecidas a vazão que ele deve fornecer, a velocidade média que a água deve ter, a natureza das paredes e a forma de sua seção.

Em resumo: São dados: U, Q, y e forma da seção.

Pede-se: I e S (L e A).

Tem-se:
$$S = \frac{Q}{U}$$

Conhecidos S e a forma da seção, determina-se A e, por seu intermédio, o valor de M.

Tem-se então:
$$R = \frac{s}{M}$$

Determinado R, e sendo conhecida a natureza das paredes y, a tabela 7-2 dá o valor de c.

Tem-se então:

 $U = c \sqrt{RI}$, donde se tira o valor de I.

Determinado S e conhecida a forma da seção, dá-se o ângulo de inclinação α, de acordo com a natureza das paredes (tabela 6-4). Feito isso, pode-se fixar o valor de A e calcular L, ou vice-versa, obtendo-se assim os elementos do canal.

EXEMPLO:

Calcular as dimensões da seção e a declividade de um canal de alvenaria de pedra cimentada, seção retangular, sendo a largura dupla da altura, e devendo fornecer 150 l/s com uma velocidade média de 0,50 m/s.

Solução

$$L = 2A$$

 $Q = 150 l/s = 0.150 m^3/s$
 $U = 0.50 m/s$

Tem-se:

$$S = \frac{Q}{U} = \frac{0,150}{0,50} = 0,30 \text{ m}^2$$

$$S = L. A = 2A . A = 2A^2$$

$$2A^2 = 0,30 ... A = \sqrt{0.15} = 0,39 \text{ m}$$

$$L = 2A = 2. 0,39 = 0,78 \text{ m}$$

$$R = \frac{S}{M} = \frac{A. L}{L + 2A} = \frac{0,39. 0,78}{0,78 + 2. 0,39} = \frac{0,30}{1,56} = \frac{0}{1,56}$$

= 0.19 m

Como a parede é de alvenaria de pedra cimentada, a tabela 7-1 dá:

$$y = 0,06$$

Para y = 0,06 e R = 0,19, a tabela 7-2 dá:

$$c = 76.5$$

Tem-se então:

$$U = c \sqrt{RI}$$
 : $I = \frac{U^2}{C^2R} = \frac{(0,50)^2}{(76,5)^2 \cdot 0.19}$:

$$I = 0.000225 \text{ m/m}$$

Resposta:

$$S = 0.30 \text{ m}^2$$

$$L = 0.78$$
 m

$$I = 0,000225 \text{ m/m} = 0,2250/00$$

$$A_1 \simeq \frac{3}{4}$$
 $A \simeq 0.50 \text{ m}$