



Disciplina: Manejo e Conservação da água e do Solo

**Controle de Erosão Hídrica –
Cálculo de Canal Escoadouro – Terraços em Gradiente**





Detalhe do Canal Escoadouro

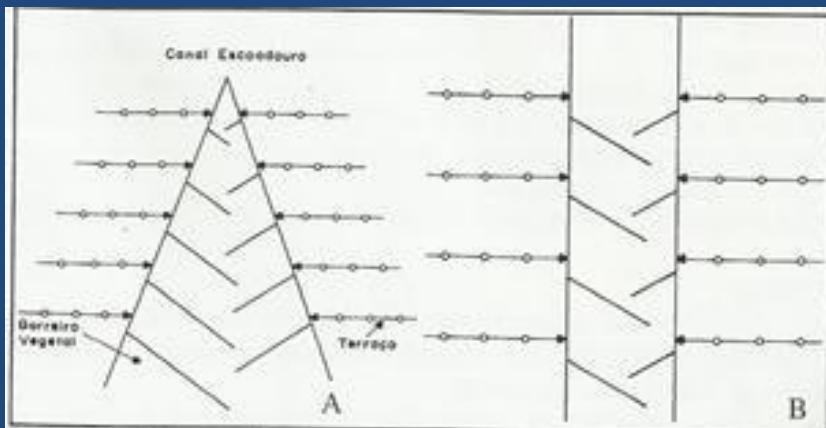


CANAIS ESCOADOUROS

- **Definição:** O canal escoadouro é um canal de dimensões apropriadas, rasos e largos, geralmente de pequena declividade e com leito resistente à erosão
- **Finalidade:** Receber água dos terraços com gradiente e transportá-la para fora da área sem causar problemas de erosão nos terrenos por onde passa.
- **Tipos de canal escoadouro:** Escoadouro Natural e Escoadouro Artificial

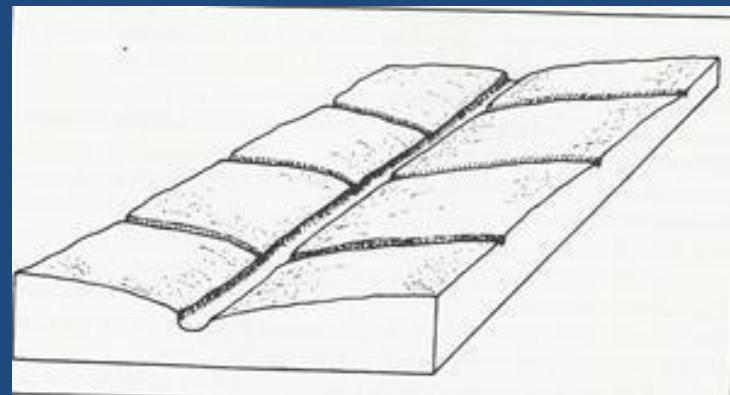


Localização do Canal Escoadouro



Fonte: Adaptado de Galetti (1984).

Figura 125. Canal escoadouro com seção cujo tamanho aumenta com o número de terraços (A) e canal escoadouro com seção contínua (B).





Características da vegetação de revestimento do Canal Escoadouro

- - Ser de fácil estabelecimento;
 - - Ser rustica e de crescimento rápido;
 - - Dar cobertura completa e uniforme ao solo; e
 - - Não ser daninha, nem hospedeira de pragas e doenças
-
- **ESPECIES**
 - Revestimento do canal:
 - Grama batatais; Capim quicuiu; gengibre; rodes; centrosema;
kudzu comum ou kudzu tropical;
-
- Barreiras ou Dissipadores de energia
 - Cana-de-açucar; capim-limão; capim elefante

Cálculo do Canal Escoadouro



Figura 126. Esquema de uma área a ser terraceada, com terraços com gradiente, de seção A e vazão Q, distanciados de 14,60 m.

Dados:

- cultura: milho
- solo: argiloso
- declividade do terreno: 10%
- declividade do canal: $6\% = 0,06 \text{ m m}^{-1}$
- período de segurança: 10 anos
- precipitação média: 1.250 mm
- Área: $500 \times 200 \text{ m} = 10 \text{ ha}$
- Revestimento do canal escoadouro: Gramíneas de densidade média com estande ótimo

1º Passo:

Calcular Espaçamento Vertical

$$EV = (D/X) + 2 \times 0,305 \text{ (Bentley)}$$

$$EV = ((10/3,5)) \times 0,305 = 1,46m, \text{ se } D = (EV/EH) \times 100, \text{ então:}$$

$$EH = 14,60m,$$

Logo:

$$200/14,60 = 14 \text{ terraços}$$

Quadro 1. Valores de "X" para cálculo do espaçamento de terraços ou práticas vegetativas, em função da cultura a implantar, tipo de prática conservacionista e resistência do solo à erosão, utilizando-se da equação de "Bentley",

Resistência do solo à erosão	Terraços				Faixas de Retenção	Valores de X
	Cultura permanente		cultura anual		cultura anual	
	gradiente	nível	gradiente	nível	nível	
Alta					Alta	1,5
Média					Média	2,0
Baixa	Alta				Baixa	2,5
	Média					3,0
	Baixa	Alta				3,5
		Média				4,0
		Baixa	Alta			4,5
			Média			5,0
			Baixa			5,5
						6,0

2º Passo :

Determinar o volume (vazão) de água escoado pelo canal.

$$Q_{\max} = \frac{CIA}{360}$$

Em que:

- **Q** = Vazão do canal escoadouro , em $m^3.s^{-1}$;
- **C** = Coeficiente de enxurrada;
- **I** = intensidade de chuva ($mm h^{-1}$); e
- **A** = Área de contribuição de enxurrada para o terraço (área acima dele) (m^2).

Quadro 13. Coeficientes de escoamento (C) para áreas agrícolas inferiores a 500 ha, em função da topografia, da cobertura e do tipo de solo

Cobertura do solo	Tipo de solo	Classes de Topografia e Declividade					
		Plena 0-3,5%	Suavemente Ondulada 3,5-5%	Ondulada 5-10%	Fortemente ondulada 10-20%	Anorreada 20-40% Montanhosa 40-100%	
Culturas anuais	Argiloso	0,50	0,60	0,58	0,76	0,85	0,95
	Arenoso	0,44	0,52	0,59	0,66	0,73	0,81
	Roxo	0,40	0,48	0,54	0,61	0,67	0,75
Culturas permanentes	Argiloso	0,40	0,48	0,54	0,61	0,67	0,75
	Arenoso	0,34	0,41	0,46	0,52	0,56	0,64
	Roxo	0,31	0,38	0,43	0,49	0,53	0,59
Pastagens limpas	Argiloso	0,31	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59
	Arenoso	0,27	0,32	0,37	0,41	0,45	0,50
	Roxo	0,25	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46
Capoeiras	Argiloso	0,22	0,26	0,29	0,33	0,37	0,41
	Arenoso	0,19	0,23	0,25	0,28	0,32	0,35
	Roxo	0,17	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32
Mata	Argiloso	0,15	0,18	0,20	0,22	0,23	0,28
	Arenoso	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24
	Roxo	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22

Obs.: Para áreas maiores que 500 ha, o valor de C deve diminuir à medida que elas aumentam.

Quadro 14. Tempos de concentração, com base na extensão da área, para bacias de comprimento aproximadamente o dobro da largura média e de topografia ondula (5% de declividade média)

Área da bacia (hectares)	Tempo mínimo de concentração (minutos)
1	2,7
3	3,9
5	4,0
8	4,7
10	6,1
15	9,5
20	11,8
25	13,5
30	14,9
40	17,0
50	19,0
75	22,0
100	26,0
150	34,0
200	41,0
250	48,0
300	56,0
400	74,0
500	96,0

Regiões de precipitação anual média inferior a 1.400
mm

Duração da chuva em tempo de concentração (minutos)	Regiões de precipitação anual média inferior a 1.400 mm			Regiões de precipitação anual média superior a 1.400 mm		
	Frequência de 5 anos	Frequência de 10 anos	Frequência de 25 anos			
				Frequência de 5 anos	Frequência de 10 anos	Frequência de 25 anos
0,5	263	290	320	350	386	386
0,7	255	281	310	341	375	
1	246	270	300	330	360	
1,5	230	257	282	310	340	
2	220	247	272	297	325	
3	200	225	252	275	300	
5	177	200	223	250	270	
7	160	180	205	225	250	
10	141	160	181	202	223	
15	117	137	155	173	193	
20	104	120	138	155	172	
30	85	98	115	130	146	
40	72	85	100	114	127	
50	64	77	89	101	115	
60	58	68	80	93	103	
80	49	58	68	79	90	
100	43	51	60	69	80	
120	38	46	54	63	72	

CALCULO PARA CADA TERRAÇO INDIVIDUALMENTE

ÁREA DO TERRAÇO 1 = $500 \times 14,60 = 7.300 \text{ m}^2 = 0,73\text{ha}$

VAZÃO DO TERRAÇO 1 =

$$Q_1 = CIA/360$$

$$Q_1 = (0,58 \times 190 \times 0,73)/360$$

$$\boxed{Q_1 = 0,22 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}}$$

Considerando todos os terraços com mesmo comprimento e largura, então: $A_1=A_2=A_3=A_4=A_5=A_6$

Se “C” e “I”, permanecem constante, então:

$Q_2 = Q_1 + Q_1$, logo $Q_2 = 2Q_1 = 2 \times 0,22 = 0,44 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, então
 $Q_3 = 3 Q_1 = 0,66 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

Então: $14 Q_1 = 3,08 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

3º Passo :

Calcular a seção do canal.

$$Q = S \times V$$

Em que

:

- **Q = Vazão, volume de água a ser escoado ($m^3 s^{-1}$);**
- **V = Velocidade máxima permitida dentro do canal ($m^3 s^{-1}$);**
- **S = Área da seção(m^2)**

Quadro 16. Velocidade máxima permitida em canais abertos

Cobertura do canal	Solos mais erodíveis			Solos menos erodíveis		
	Declividade			Declividade		
	0-5	6-10	>10	0-5	6-10	>10
		$m s^{-1}$			$m s^{-1}$	
Nenhuma				0,60	-	-
Solo cultivado	0,45	-	-	0,75	-	-
Solo não-cultivado	0,60	-	-	0,90	-	-
Gramíneas anuais						
Estande regular	0,75	-	-	1,05	-	-
Estande bom	0,90	-	-	-	-	-
Gramíneas de densidades médias						
Estande regular	0,90	0,75	-	1,20	0,90	0,75
Estande bom	1,20	1,05	0,90	1,50	1,20	1,05
Estande ótimo	1,50	1,35	1,20	1,80	1,50	1,35
Gramíneas densas						
Estande ótimo	1,80	1,50	1,20	2,10	1,80	1,50

Fonte: Beasley (1972), citado por Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Então, se $Q = S \times V$, logo $S = Q/V$

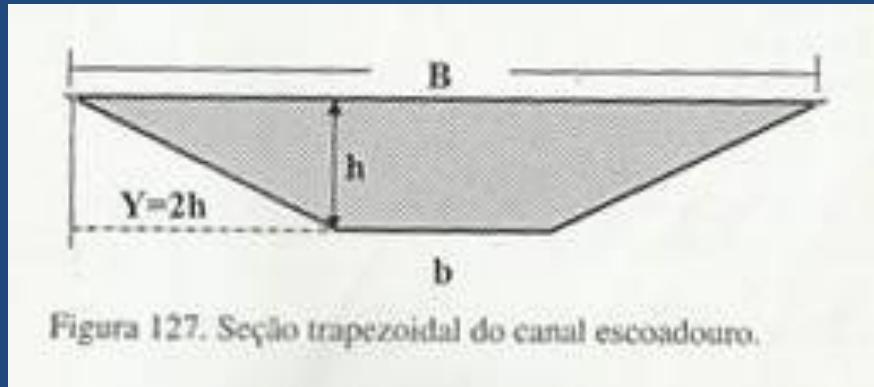
Conhecendo-se Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 e Q_6 , e sendo $V=1,35 \text{ m.s}^{-1}$

$S_1 = 0,22/1,35$, então

$$S_1 = 0,16 \text{ m}^2,$$

$S_2 = Q_2/V = 0,32 \text{ m}^2$, e assim sucessivamente até o 14º terraço:

$$S_{14} = Q_{14}/V = 2,24 \text{ m}^2$$



Se $h = 0,25\text{m}$ e $Y = 2h$, tem-se que

$$A = ((B + b)/2) \times h$$

Calculando B1 e b1 para o 1º. Terraço

$B = b + 4h$, $B = b + 4 \times 0,25$, então $B = b + 1$

Substituindo “B” por “ $b + 1$ ” e tendo $S_1 = 0,16 \text{ m}^2$, se $S = ((b + 1 + b)/2) \times h$

então:

$0,16 = ((b + 1 + b)/2) \times 0,25$, então $b1 = 0,14$,

Desse modo se $B = b + 1$, então $B = 0,14 + 1 = B1 = 1,14$

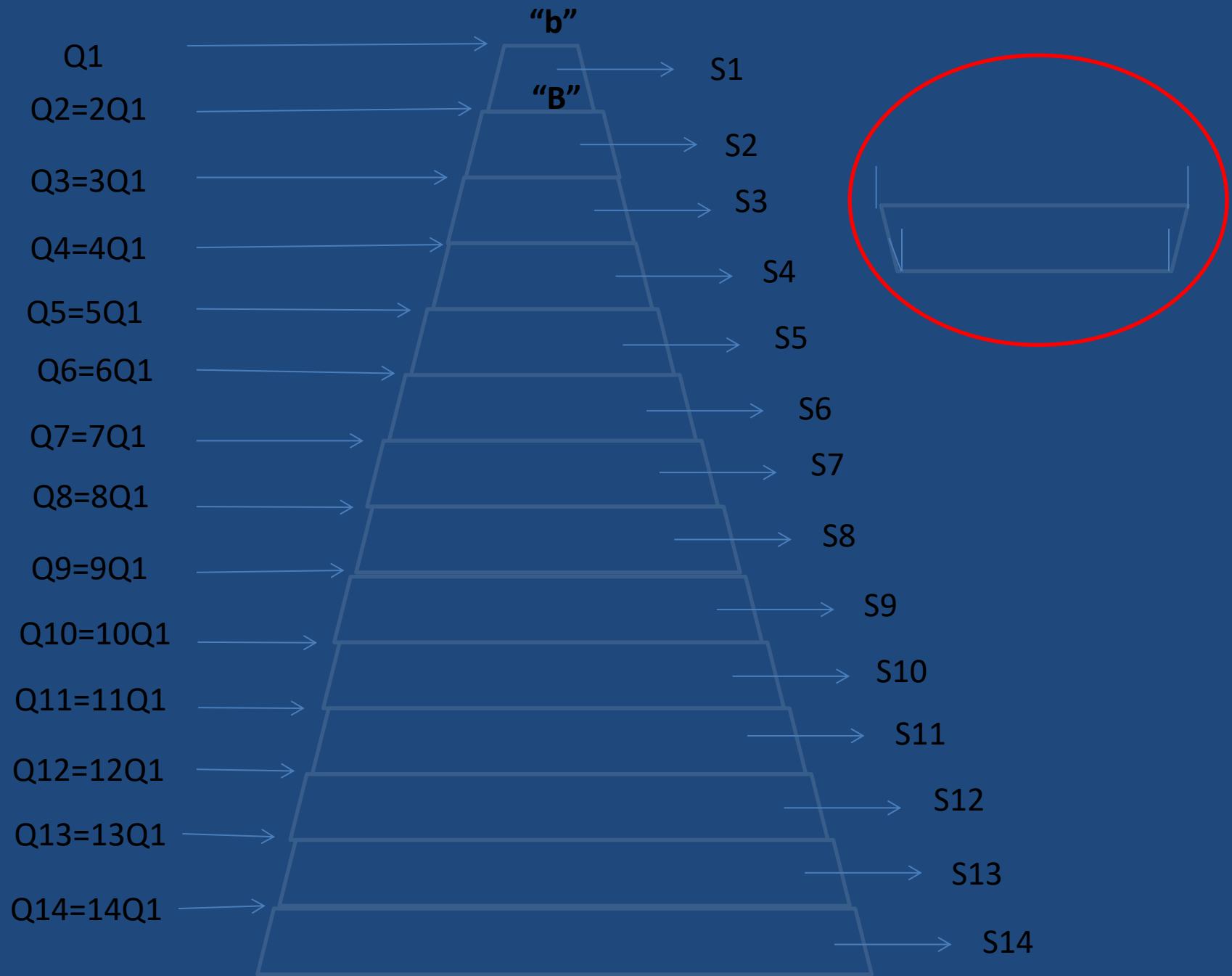
Para o segundo terraço, $S_2=0,32$, logo $0,32 = ((b+1+b)/2) \times 0,25$

Então : $b2=0,78$ e $B2=1,78$

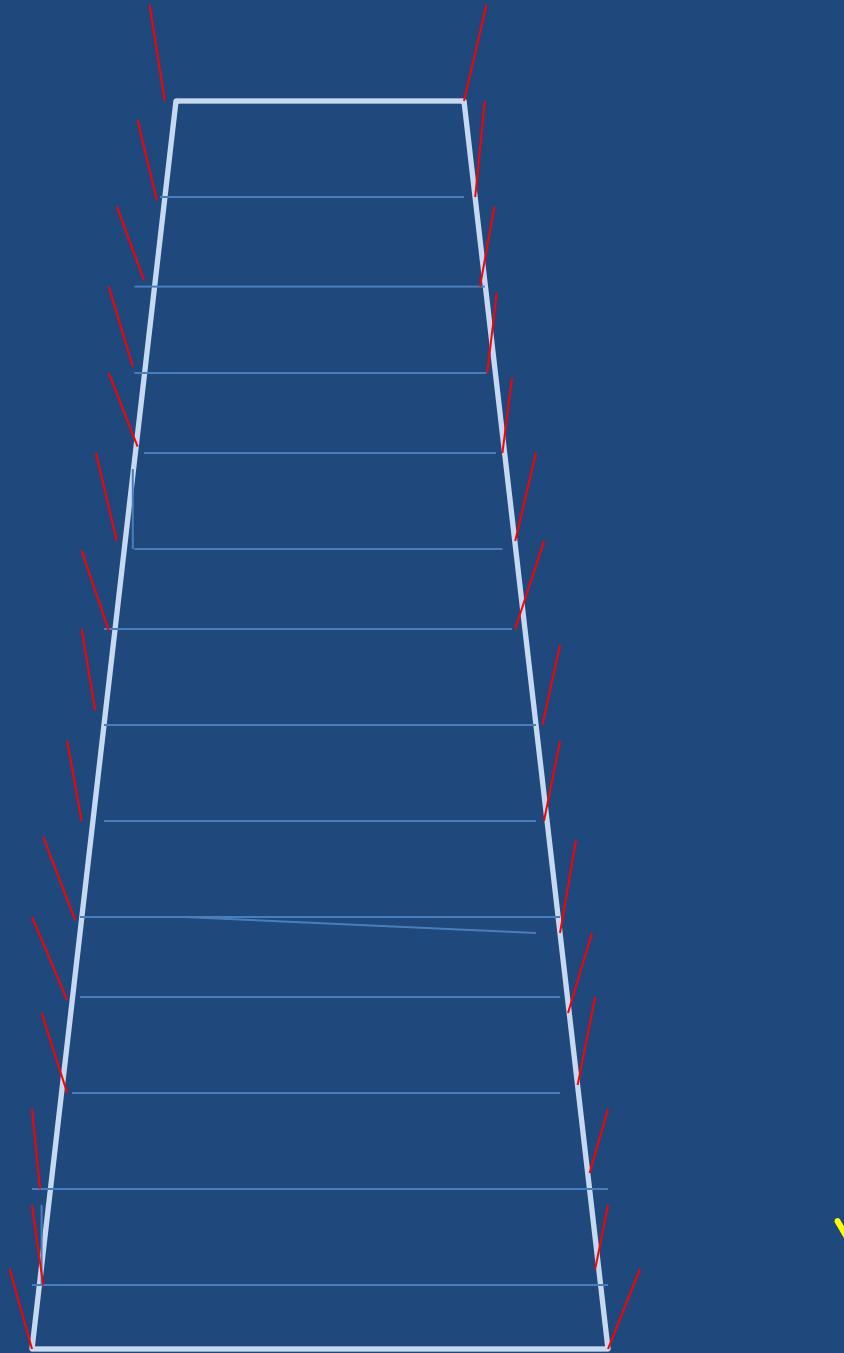
E assim são calculadas as bases maior e menor até o 14º terraço, ou seja:

$S_{14}= 2,24$

$2,24 = ((b+1+b)/2) \times 0,25$, então $b14= 8,46$ e $B14= 9,46$



LOCAÇÃO DE ESTACAS



4º Passo :

Calcular a velocidade da enxurrada:

Para calcular a velocidade da enxurrada, emprega-se a fórmula proposta por **Manning**:

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

Em que:

- V = Velocidade média da enxurrada ($m s^{-1}$);
- R = Raio hidráulico (m);
- I = Declividade do canal ($m m^{-1}$); e
- n = coeficiente de rugosidade.

O **Raio hidráulico** (R) pode ser obtido em quadros, porém, como no exemplo o canal escoadouro não possui seção uniforme em toda sua extensão, essa informação deve ser obtida através da formula:

$$R = \frac{A}{P_M}$$

Em que :

- R = Raio hidráulico (m);
- A = S = Área da seção transversal do canal
- A= ((B+b)/2)xh;
- PM = Perímetro molhado (m).

O **Perímetro Molhado** , por sua vez é obtido pela fórmula:

$$PM = b + 2h\sqrt{1 + Z^2}$$

Em
que:

- **PM = Perímetro molhado (m);**
- **b = Base menor (m);**
- **h = Altura (m); e**
- **Z = Talude, sendo que :**

$$Z=Y/h$$

Então, como $Y = 2h$, Z será:

$$Z = Y/h = 2h/h = 2 \times 0,25 / 0,25 = 2, \text{ logo,}$$

$PM = b + 2h\sqrt{5}$, então

$$PM1 = 0,14 + 2 \times 0,25 \sqrt{5} = PM1 = 1,26$$

$$PM2 = 0,78 + 2 \times 0,25 \sqrt{5} = PM2 = 1,90,$$

Então $PM14 = 8,46 + 0,25 \sqrt{5} = PM14 = 9,58$

Os **Raios Hidráulicos** serão:

$$R = \frac{A}{P M}$$

E assim até o ultimo terraço, em que se teria:

$$R_1 = A_1 / \underline{P M_1} \quad \dots \quad R_n = \underline{N_a / P M_n}$$

Então:

$$R_1 = A_1 / P M_1 = 0,16 / 1,26 = 0,127$$

$$R_2 = A_2 / P M_2 = 0,78 / 1,90 = 0,168$$

E assim até o 14º terraço = $R_{14} = A_{14} / P M_{14} = 2,24 / 9,58 = R_{14} = 0,234$

- Admitindo-se que o canal será de terra, com fundo e lateral com vegetação densa , consulta-se o Quadro 17, para **Coeficiente de rugosidade (n)**

Quadro 17. Valores de coeficiente de rugosidade

<u>Tipo de canal</u>	<u>n</u>
Revestimento de diversos materiais	
Concreto mal acabado	0,015
Concreto bem acabado	0,013
Madeira aplaniada	0,012
Madeira não-aplaniada	0,013
Tijolos rejuntados	0,013
Canais de terra	
Fundo limpo, vegetação baixa nas laterais	0,022
Fundo limpo, arbustos nas laterais	0,035
Fundo e laterais com vegetação densa	0,100

Fonte: Beasley (1972), citado por Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Considerando:

$$n=0,100$$

$$I=6\% = 0,06 \text{ m.m}^{-1}, \text{ então } I^{\frac{1}{2}} = 0,2449,$$

Aplicando na Formula de Manning teremos:

Velocidade média do 1o. Terraço:

$$V_1 = (0,127 \frac{2}{3} \times 0,06^{\frac{1}{2}}) / 0,1$$

$$V_1 = 0,62 \text{ m.s}^{-1},$$

Se $0,62 \text{ m.s}^{-1}$ é menor que a velocidade máxima permitida, ou seja $0,62 < 1,35 \text{ m.s}^{-1}$, está dentro do limite permitido para esse tipo de canal

Cálculo de “V” para os demais terraços:

Segundo terraço:

$$V2 = (0,168 \frac{2}{3} \times 0,06 \frac{1}{2}) / n =$$

$$V2 = 0,75 \text{ m.s}^{-1}$$

E assim sucessivamente até o 14º terraço,

$$V14 = (0,234 \frac{2}{3} \times 0,06 \frac{1}{2}) / 0,1 =$$

$$V14 = 0,93 \text{ m.s}^{-1}$$

Optando-se por usar outros tipos de seção do canal, as fórmulas são as seguintes :

Triangular:

- **Talude :** $Z = \frac{Y}{h}$
- **Área da seção :** $A = \frac{(B \times h)}{2}$
- **Perímetro molhado :** $PM = 2h\sqrt{Z^2 + 1}$
- **Raio Hidráulico :** $R = \frac{A}{PM}$

Parabolóide:

- **Área da seção :** $A = \frac{2}{3} Bh$
- **Perímetro molhado :** $PM = L + \frac{8h^2}{3B}$
- **Raio hidráulico :** $R = \frac{B^2 h}{1,5B^2 + 4h^2}$
- **Largura :** $B = \frac{A}{0,67h}$

Fonte: PIRES & SOUZA (2003)