



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS - CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA - DEA

Disciplina: Manejo e Conservação da água e do Solo

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



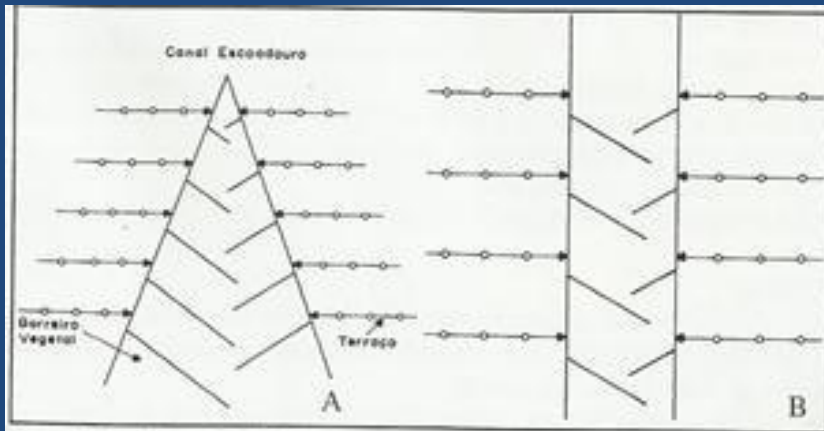


CANAIS ESCOADOUROS

- **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

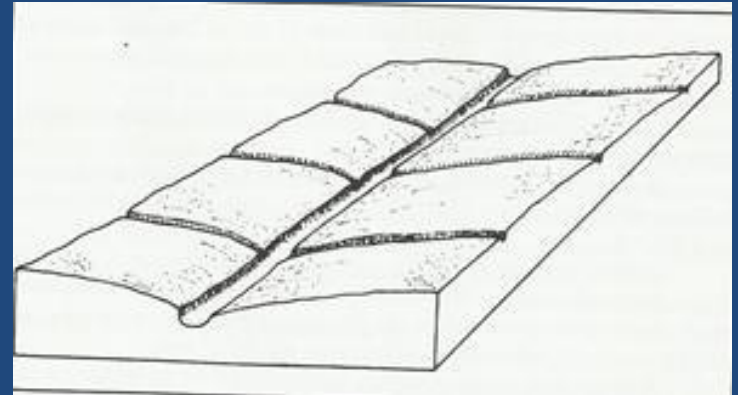


Localização do Canal Escoadouro



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-açúcar; 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

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

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

$$EH = 14,60\text{m,}$$

Logo:

$$200/14,60 = \mathbf{14 \text{ terraços}}$$

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",

Terraços					Faixas de Retenção	Valores de X
Cultura permanente			cultura anual		cultura anual	
Resistência do solo à erosão	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					
		Plana 0-2,5%	Suavemente Ondulada 2,5-5%	Ondulada 5-10%	Fortemente ondulada 10-20%	Acidentada 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
	Roso	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
	Roso	0,31	0,38	0,43	0,48	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
	Roso	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
	Roso	0,17	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32
Matas	Argiloso	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28
	Arenoso	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24
	Roso	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 ondulada (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	18,0
300	56,0
400	74,0
500	96,0

Duração da chuva ou 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	426
0,7	255	281	310	341	375	414
1	246	270	300	330	360	400
1,5	230	257	282	310	340	380
2	220	247	272	297	325	365
3	203	225	252	275	300	340
5	177	200	223	250	270	300
7	160	180	205	225	250	280
10	141	160	181	202	223	253
15	117	137	155	173	193	223
20	104	120	138	155	172	200
30	85	98	115	130	146	170
40	72	85	100	114	127	150
50	64	77	89	101	115	135
60	58	68	80	93	103	120
80	49	58	68	79	90	105
100	43	51	60	69	80	95
120	38	46	54	63	72	85

CALCULO PARA CADA TERRAÇO INDIVIDUALMENTE

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

$$\text{VAZÃO DO TERRAÇO 1} =$$

$$Q1 = CIA/360$$

$$Q1 = (0,58 \times 190 \times 0,73)/360$$

$$\mathbf{Q1 = 0,22 \text{ m}^3.s^{-1}}$$

Considerando todos os terraços com mesmo comprimento e largura, então: $A1=A2=A3=A4=A5=A6$

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

$$Q2 = Q1 + Q1, \text{ logo } Q2 = 2Q1 = 2 \times 0,22 = 0,44 \text{ m}^3.s^{-1}, \text{ então}$$

$$Q3 = 3 Q1 = 0,66 \text{ m}^3.s^{-1}$$

$$\text{Então: } \mathbf{14 Q1 = 3,08 \text{ m}^3.s^{-1}}$$

3º Passo :

Calcular a seção do canal.

$$Q = S \times V$$

Em que
:

- Q = Vazão, volume de água a ser escoado (m^3s^{-1});
- V = Velocidade máxima permitida dentro do canal (m^3s^{-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						
Solo cultivado	0,45	-	-	0,60	-	-
Solo não-cultivado	0,60	-	-	0,75	-	-
Gramíneas anuais						
Estande regular	0,75	-	-	0,90	-	-
Estande bom	0,90	-	-	1,05	-	-
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:

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

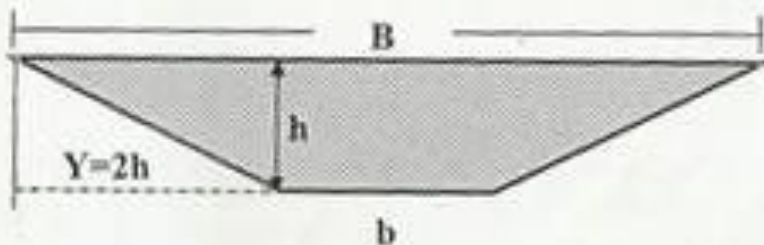


Figura 127. Seção trapezoidal do canal escadado.

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

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

Substituindo “B” por “b + 1” e tendo $S1 = 0,16 \text{ m}^2$, se **$S = ((b + 1 + b)/2) \times h$**

então:

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

$$\text{Desse modo se } B = b + 1, \text{ então } B = 0,14 + 1 = \mathbf{B1 = 1,14}$$

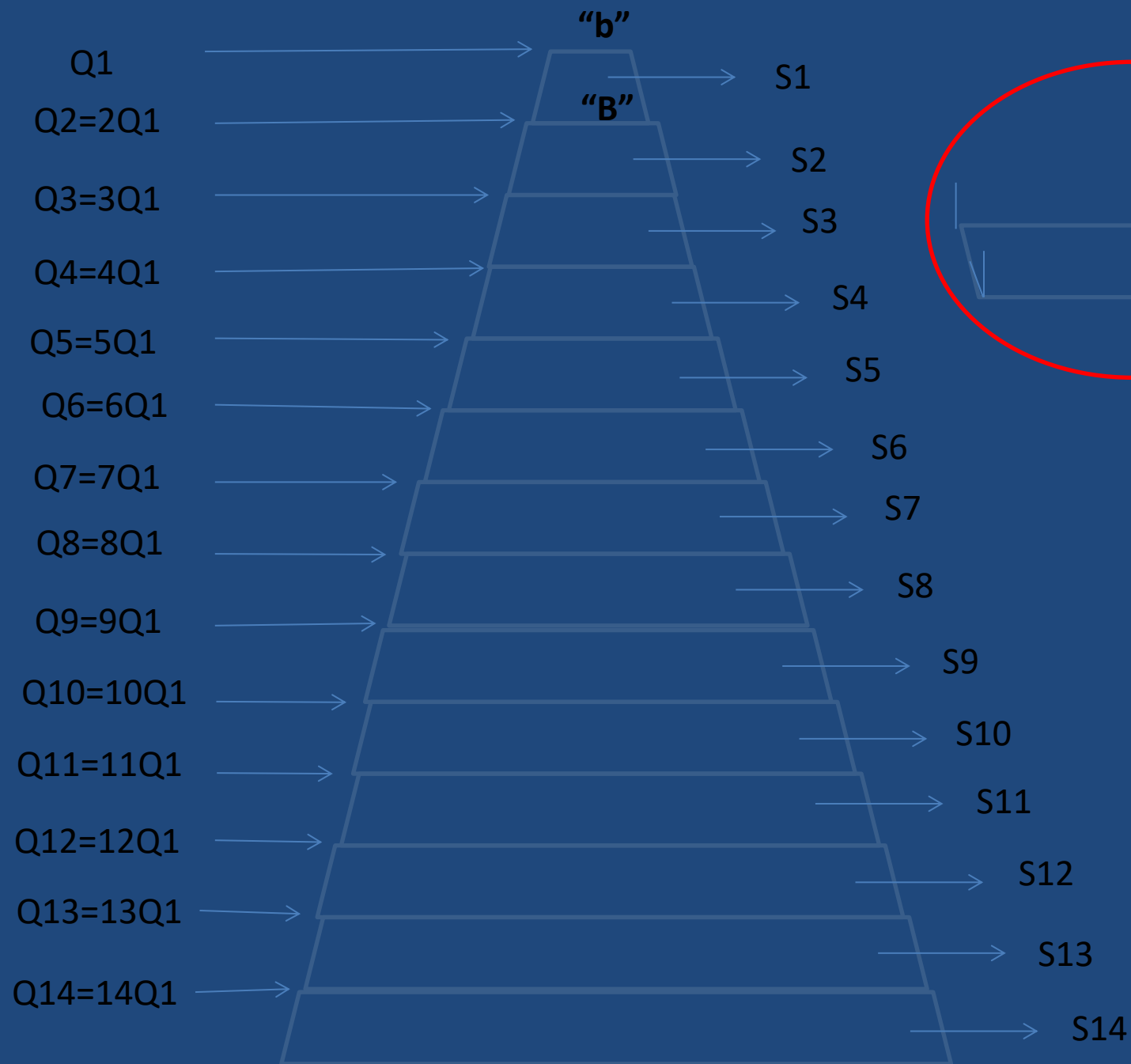
Para o segundo terraço, $S2=0,32$, logo $0,32 = ((b+1+b)/2) \times 0,25$

Então : $b2=0,78$ e $B2=1,78$

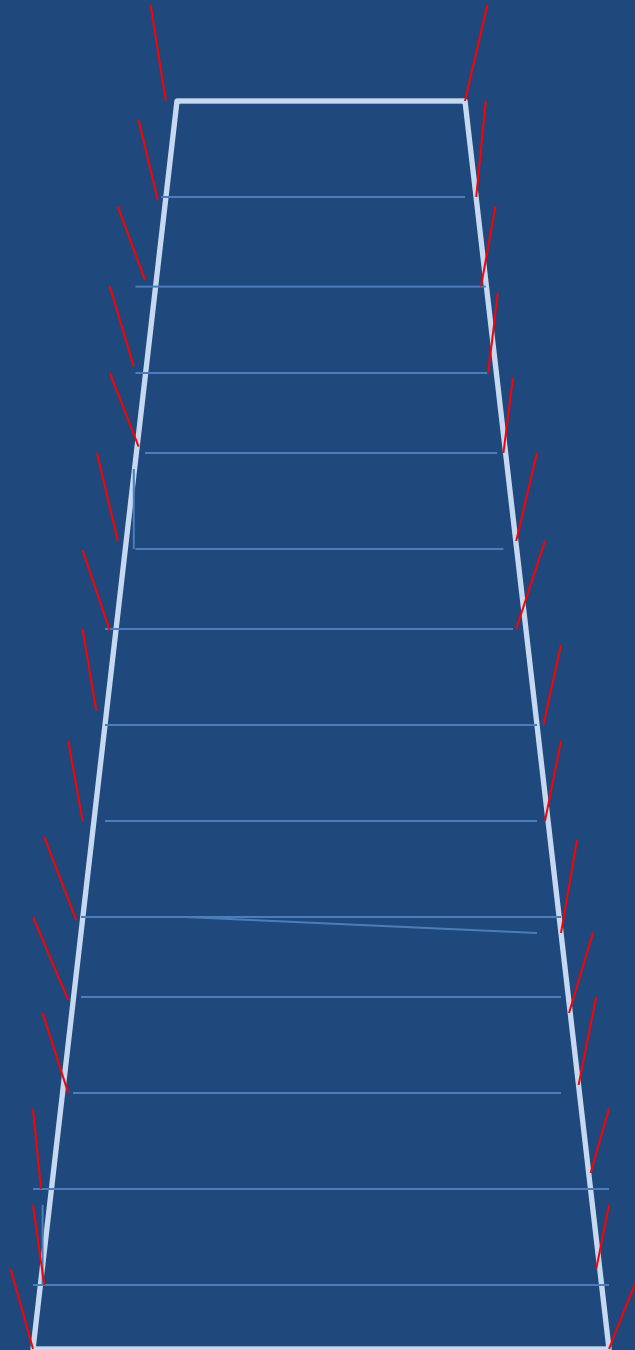
E assim são calculadas as bases maior e menor até o 14º terraço, ou seja:

$$\mathbf{S14= 2,24}$$

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



LOCAÇÃO DE ESTACAS



4º Passo :

Calcular a velocidade da enxurrada:

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

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

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 fórmula:

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

Em que :

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

○ **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

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

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

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

Os **Raios Hidráulicos** serão:

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

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

$$R1 = A1/\underline{PM1} \quad \quad Rn = \underline{Na}/PMn$$

Então:

$$R1 = A1/PM1 = 0,16/1,26 = 0,127$$

$$R2 = A2/PM2 = 0,78/1,90 = 0,168$$

E assim até o 14º terraço = $R14 = A14/PM14 = 2,24/9,58 = R14 = 0,234$

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

Quadro 17. Valores de coeficiente de rugosidade

Tipo de canal	n
Revestimento de diversos materiais	
Concreto mal acabado	0,015
Concreto bem acabado	0,013
Madeira aplainada	0,012
Madeira não-aplainada	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:

$$n=0,100$$

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

Aplicando na Formula de Manning teremos:

Velocidade média do 1o. Terraço:

$$V1=(0,127^{2/3} \times 0,06^{1/2})/0,1$$

$$V1= 0,62 \text{ m.s}^{-1},$$

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:

$$V_2 = (0,168 \frac{2}{3} \times 0,06 \frac{1}{2}) / n =$$

$$V_2 = 0,75 \text{ m.s}^{-1}$$

E assim sucessivamente até o 14º terraço,

$$V_{14} = (0,234 \frac{2}{3} \times 0,06 \frac{1}{2}) / 0,1 =$$

$$V_{14} = 0,93 \text{ m.s}^{-1}$$

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)