

## **Capítulo 159**

# **Canais em solos não-coesivos pelo Método de Chin da Tensão Trativa**

## Capítulo 159- Canais em solos não-coesivos Método de Chin da Tensão Trativa

### 159.1 Introdução

Há três tipos básicos de canais:

- **Canais revestidos**
- **Canais não revestidos e**
- **Canais gramado**

O caso de canais revestidos com colchão de gabião e canais gramados serão tratados à parte.

### 159.2 Canais em solos não-coesivos conforme Chin e usando tensão trativa.

**Vamos mostrar um exemplo para dimensionamento de canais em solos não-coesivos usando Método de Chin com tensão trativa.**

#### **Exemplo 159.1 baseado em Chin- Modelo de cálculo baseado na tensão trativa**

Queremos dimensionar um canal sem revestimento com seção trapezoidal com declividade  $S=0,0015$  m/m para conduzir  $20\text{m}^3/\text{s}$  de um canal ligeiramente sinuoso com partícula moderadamente arredondadas sendo dado diâmetro da partícula em 50% da massa igual  $d_{50}=20$  mm.

**Nota: para aplicação do método da tensão trativa máxima permissível precisamos de ensaio de campo para obter o diâmetro  $D_{50}$ .**

#### **Primeiro passo:**

Adotar ou calcular o coeficiente de rugosidade de Manning. No caso pela experiência do projetista foi adotado  $n=0,025$ . Verifiquemos os calculos:

Conforme Strickler, 1948

$$n = D_{50}^{1/6} / 21,0$$

Sendo  $D_{50}$  em metros.

Para  $D_{50}= 20\text{mm}=0,02\text{m}$

$$n = 0,02^{1/6} / 21,0 = 0,0248$$

**Portanto, está bom o valor adotado**

#### **Segundo passo:**

Achar o ângulo de repouso do solo do canal que será estimado usando a Figura (159.3).

O diâmetro  $d_{50}=20\text{mm}$ .

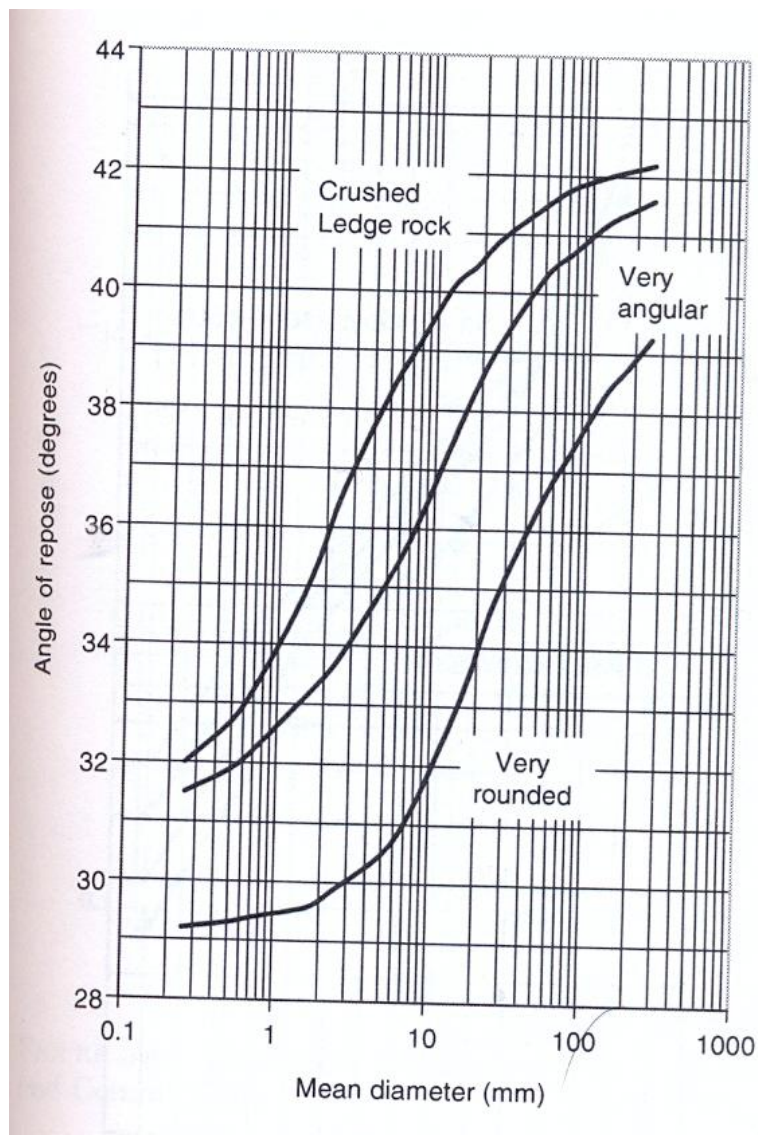


Figura 159.1- Ângulo de repouso de material não coesivo sendo que o diâmetro  $d_{50}$  está em mm

Entrando com 20 mm achamos ângulo de repouso do solo de  $\psi=32^\circ$ .

**Terceiro passo:**

Como o canal é ligeiramente sinuoso entrando na Tabela (159.5) achamos  $C_s=0,90$ .

**Tabela 159.1- Fator de correção da tensão trativa crítica conforme o grau de sinuosidade do canal**

Grau de sinuosidade de um canal	Fator de correção $C_s$
Canal em linha reta	1,00
Canal ligeiramente sinuoso	0,90
Canal moderadamente sinuoso	0,75
Canal muito sinuoso	0,60

**Quarto passo:**

Especificar a declividade do talude. Escolhemos talude com 1(V): 2 (H). O ângulo da declividade do talude é  $\theta$  que pode ser calculado assim:

$$\theta = \tan^{-1} (1/2) = 26,6^\circ$$

Tabela 159.2-Declividades do talude conforme tipo de material

Material	Declividade do Talude (zH: 1 V)
Rocha	Praticamente vertical
Argila rija	½ : 1 até 1:1
Solo firme	1:1
Solo arenoso solto	2:1
Solo arenoso margoso	3:1

Fonte: Open-Channel Flow, Chraudry, 1993 p. 238

**Quinto passo:** calcular o fator K da força trativa

$$K = [(1 - (\sin \theta / \sin \psi)^2)^{0,5}]$$

$$K = [(1 - (\sin 26,6^\circ / \sin 32^\circ)^2)^{0,5}]$$

$$K = 0,54$$

**Sexto passo:**

Achar a tensão trativa crítica do fundo do canal que pode ser estimada usando a Figura (159.5). A Figura (159.5) foi indicada por Akan, 2010 e que ela foi sugerida por Thibodeau baseado em Chen e Cotton, 1988.

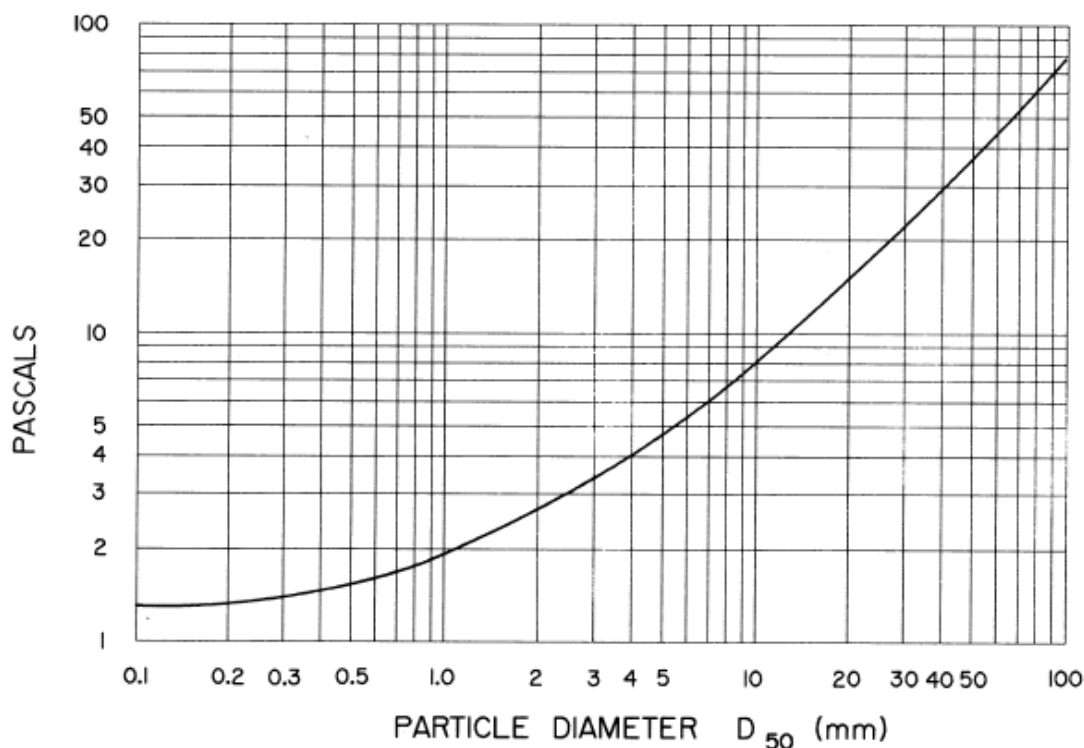


Figura 159.2-Tensão trativa crítica para solos não-coesivos.  
 Fonte: Yang,

Para partículas maiores que 100mm a tensão trativa permissível  $\tau_p$  pode se estimado pela equação:

$$\tau_p = 6,25 \times 10^{-4} D_{50}$$

Sendo:

$\tau_p$  = tensão trativa permissível (kPa)

$D_{50}$  = diâmetro da partícula (mm)

Entrando com partícula média de 20mm achamos  $16 \text{ N/m}^2$  ou Pa que é a tensão trativa máxima permissível.

Portanto, no fundo a tensão máxima permissível será =  $16 \times C_s = 16 \times 0,9 = 14,40$  Pa

A tensão trativa máxima no talude será =  $14,40 \times K = 14,4 \times 0,54 = 7,72$  Pa.

,  
**Sétimo passo:**

Par a achar a profundidade normal y vamos supor a pior situação que é o talude.

$$\tau_{\text{máxima}} = 0,76 \cdot \gamma \cdot y \cdot S$$

Mas  $\tau_{\text{máxima}} = 7,72 \text{ Pa}$

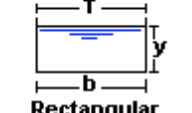


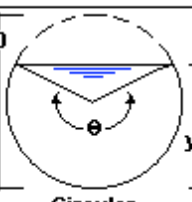
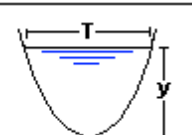
Então teremos:

$$\begin{aligned} 7,72 &= 0,76 \cdot \gamma \cdot y \cdot S \\ 7,6 &= 0,76 \times 9790 \cdot y \cdot 0,0015 \\ \mathbf{y} &= \mathbf{0,69 \text{ m}} \end{aligned}$$

**Oitavo passo:**

Temos que achar a largura do canal “b”.

**Tabela 159.3- Elementos geométricos das varias seções de canais**

Tipo de sección	Área A (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

A prática de usar a equação de Manning em planilha Excel é calcular por tentativas até achamos largura da base **b=23,55m**.

Yn	n	S	B	z	Area molh	P	R	V	Q	Espelho T
0,69	0,025	0,0015	23,55	2	17,26	26,65	0,65	1,16	20,02	26,3

**Nono passo:**

Calculo da força trativa no fundo do canal

$$\tau_{\text{máxima}} = \gamma \cdot y \cdot S$$

$$\tau_{\text{máxima}} = 9790 \times 0,69 \times 0,0015 = 10,16 \text{ N/m}^2 < 14,4 \text{ Pa} \quad \text{OK}$$

**Décimo passo:**

Cálculo do número de Froude F.

O número de Froude para uma seção trapezoidal é:

$$F = V / (g \cdot A/T)^{0,5}$$

Sendo:

F= número de Froude;

V= velocidade (m/s)=1,16 m/s;

g= aceleração da gravidade=9,81 m/s<sup>2</sup>;

A= área da seção molhada (m<sup>2</sup>)=17,26m<sup>2</sup>

T= 26,32m =comprimento transversal da superfície da água da seção trapezoidal (m).

$$Fr = V / (g \cdot A/T)^{0,5}$$

$$Fr = 1,16 / (9,81 \cdot 17,26/26,32)^{0,5}$$

$$Fr = 0,46 < 0,86 \text{ OK}$$

**Décimo primeiro passo:**

Cálculo da borda livre (*freeboard*).

$$f = (C \cdot Y)^{0,5} = (1,7 \times 0,69)^{0,5} = 1,17\text{m}$$

O valor de C=1,5 para vazão até 0,57m<sup>3</sup>/s. C=2,5 para vazão acima de 85m<sup>3</sup>/s. Fazendo uma simples interpolação achamos C=1,7

### 159.3 Superelevação em curvas conforme Pazwash

Pazwash.2016 mostra equação para escoamento em uma curva de um canal.

$$E = (V^2 \cdot T) / (g \cdot r)$$

Sendo:

**E= sobrelevação (m) ou superelevação**

**V= velocidade média na seção (m/s)**

**T=largura da superfície da água ou largura do canal \*m). Observar que pode ser um canal de seção trapezoidal ou outra seção qualquer.**

**g= 9,81=aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)**

**r= raio médio do canal (m)**

#### **159.4 Aumento da tensão trativa na curva**

**Pazwash, 2016 salienta que na curva aparecerão forças centrífugas que aumentarão as tensões superficiais, ou seja, a tensão trativa.**

$$\sigma_b = K_b \cdot \sigma_d$$

**Sendo:**

**$\sigma_d$ = tensão trativa se não houvesse curva (Pa)**

**$\sigma_b$ = tensão trativa na curva (Pa)**

**$K_b$ = fator de curva do canal**

**O fator da curva K depende da relação do raio médio da curva dividido pela largura da superfície do canal T.**

**Se  $2 < r/T < 10$**

$$K_b = 2,38 - 0,206(r/T) + 0,0073 (r/T)^2$$

**Se  $r/T \leq 2,0$**

$$K_b = 2,0$$

**Se  $r/T \geq 10$**

$$K_b = 1,05$$

**Tabela 159.4- Fator da curva do canal  $K_b$  em função de  $r/T$  sendo r o raio da curva médio e T a largura da superfície do canal.**

<b>r/T</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Kb</b>	<b>1,05</b>	<b>1,13</b>	<b>1,20</b>	<b>1,30</b>	<b>1,41</b>	<b>1,53</b>	<b>1,670</b>	<b>1,83</b>	<b>2,0</b>

**Ao passar a curva existe uma distância  $L_b$  na qual há influência do aumento da tensão trativa e o interessante salientado por Pazwash, 2016 é que o raio da curva não influencia no comprimento  $L_b$ .**

$$L_b = 0,74 R^{(7/6)} / n_b$$

**Sendo:**

**$L_b$ = comprimento até onde há influencia no aumento da tensão trativa (m)**

**R= raio hidráulico (m)**

**$n_b$ = coeficiente de rugosidade de Manning**



### Exemplo 159.2

Um canal em solo não coesivo calculado no Exemplo anterior temos seguintes dados:

Seção trapezoidal

Base B= 23,55m

Altura da água= 0,69m

Declividade S=0,0015 m/m

Vazão = 20 m<sup>3</sup>/s

Velocidade média= 1,16 m/s

Raio hidráulico= 0,65m

Raio da curva r= 353m (critério da Índia)

T= 26,32m

No fundo a tensão

Como  $r/T = 353/26,32 = 13,4$

Na Tabela (159.4) achamos  $K_b = 1,05$

$$\sigma_b = K_b \cdot \sigma_d$$

$$\sigma_d = \gamma \cdot y \cdot S = 9790 \times 0,69 \times 0,0015 = 10,16 \text{ Pa}$$

$$\sigma_b = K_b \cdot \sigma_d = 1,05 \times 10,16 = 10,7 \text{ Pa} < 14,4 \text{ Pa OK}$$

### 159.5 Raio de curvatura para curvas horizontais

Segundo French, 2007 não há uma regra para estimar o mínimo raio de curvatura.

Na Índia o mínimo raio de curvatura é 91m para canais com vazões de 0,30m<sup>3</sup>/s e raio de 1500m para vazões maiores que 85m<sup>3</sup>/s.

Khatsuria, 2005 recomenda o raio mínimo de curvatura aceitável para canal com seção retangular os estudos de Wes, 1970.

$$R_{\min} = 4 V^2 B / g \cdot y$$

### Exemplo 159.3

Com dados do exemplo anterior.

$$R_{\min} = 4 V^2 B / g \cdot y$$

$$R_{\min} = 4 \times 1,16^2 \times 23,55 / (9,81 \times 0,65) = 20\text{m}$$

Caso adotássemos o mesmo critério da Índia para 1500 de raio seria a vazão de 85m<sup>3</sup>/s e fazendo uma regra de três, para 20m<sup>3</sup>/s acharemos 353m que adotaremos no exemplo acima.

### 159.6 Bibliografia e livros consultados

- AKAN , A. OSMAN. *Open channel hydraulics*. 1a ed. 2006, reprinted in 2008. Elsevier, 364 páginas. ISBN 978-0-7506-6857-6.
- BAPTISTA, MÁRCIO BENEDITO et al. *Hidráulica Aplicada*. ABRH, 2001, 619 páginas.
- CHAUDHRY, M. HANIF. *Open-Channel Flow*. Prentice Hall, 1993, 483páginas.
- CHIN, DAVID A. *Water Resources Engineering*. Prentice Hall, 2000, 750páginas
- CHOW, VEN TE. *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill, 1986, 680 páginas.
- FOX, ROBERT W. E MCDONALD, ALAN T. *Introduction to fluid mechanics*. 3a ed. 1985, John Wiley & Sons, 741páginas.
- FRENCH, RICHARD H. *Hydraulic of open channel flow*. Chapter 3 in MAYS, LARRY W. *Stormwater collection systems design handbook*, 2001.
- FRENCH, RICHARD H. *Open channel hydraulics*. Editora WRP, 638 páginas, 20076, ISBN 978-1-887201-44-5.
- GUPTA, RAM S. *Hydrology and hydraulic systems*. Waveland editora, 3a ed, ano 2008, ISBN 978-1-57766-455-0, 896 páginas.
- MCCUEN, RICHARD H. *Hydrologic analysis and design*. 2a ed. 814 páginas, 1998, ISBN 013-134958-9. Editora Prentice Hall.
- PARTHENIADES, EMMANUEL. *Cohesive Sediments in Open Channels*. Editora Esevier, 2009, 358 paginas, ISBN 978-1-85617-556-2
- PAZWASH, HORMOZ. *Urban stormwater management*. Editora CRC Press, 2ª ed ano 2016, 683 oáginas.
- SUBRAMANYA, K. *Flow in open channels*. McGraw-Hill, India,3a ed. 548p.
- VANONI, VITO A. *Sedimentation Engineering*. ASCE- American Society of Civil Engineers, USA, ISBN 0-7844-0823-8, ano 2006, 418 páginas.