



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS



curso de
ENGENHARIA CIVIL
UFPeL

Conduto Livres em Regime Uniforme (Canaís)

Prof. Hugo Alexandre Soares Guedes, CEng-UFPeL
E-mail: hugo.guedes@ufpel.edu.br
Website: wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/

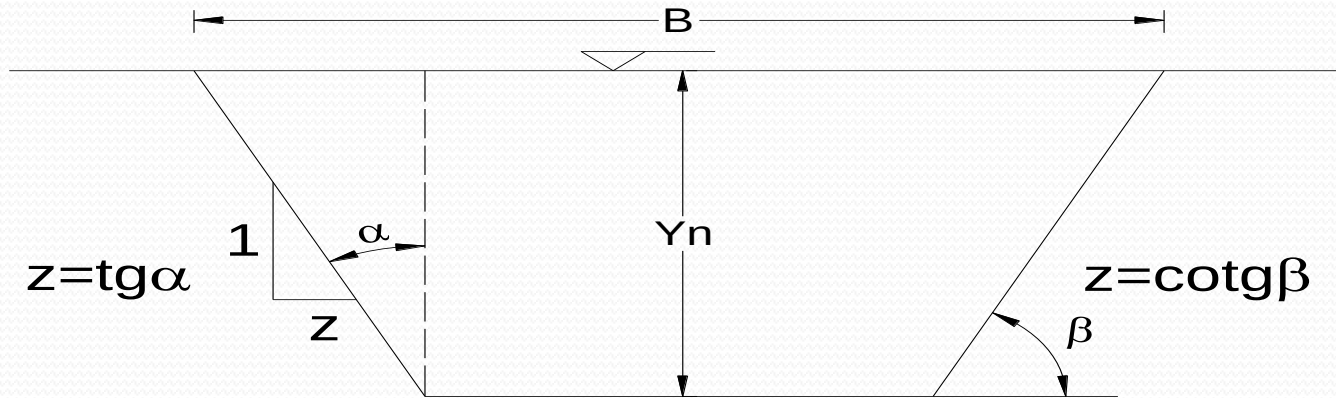
Conceito

- ✓ Canais são condutos nos quais a água escoa apresentando superfície sujeita à pressão atmosférica.
- ✓ Podem ser abertos ou fechados, apresentando uma grande variedade de seções: retangular, triangular, trapezoidal, circular, semi-circular.

Exemplos de Canais

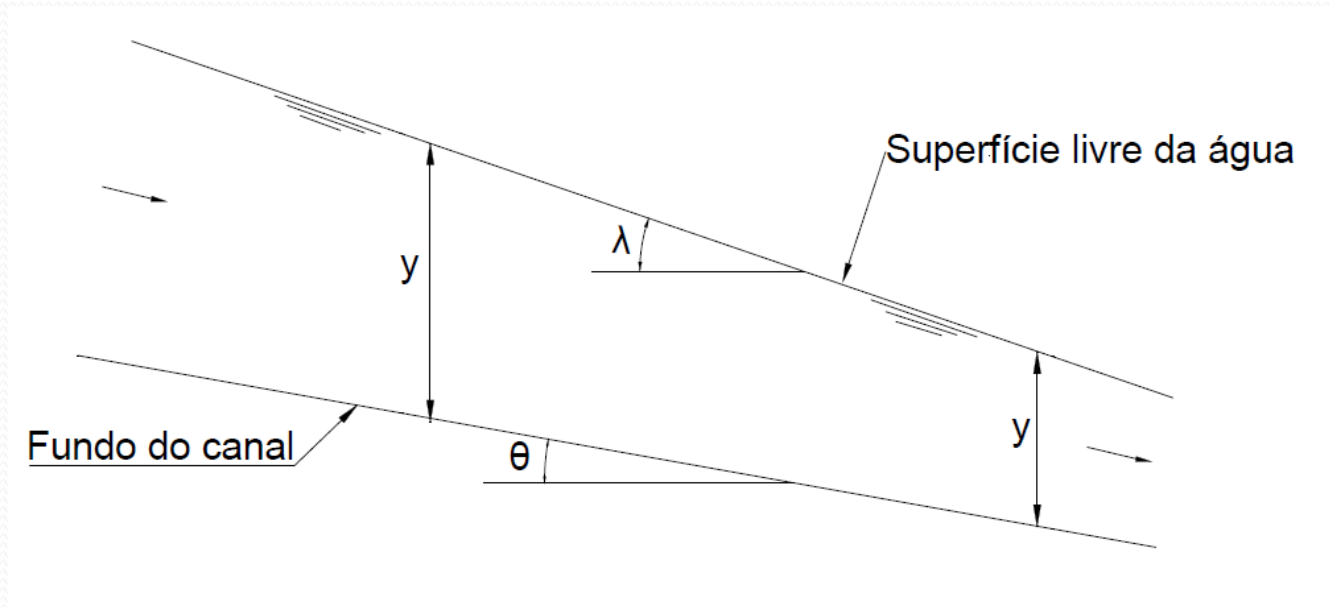
- Redes de drenagem subterrânea;
- Galerias de águas pluviais;
- Redes de esgoto;
- Canais de irrigação;
- Arroios ou cursos d'água.

Elementos Geométricos da Seção Transversal do Canal



- Profundidade de Escoamento (y_n)
- Área Molhada (A)
- Perímetro Molhado (P)
- Raio Hidráulico (R)
- Profundidade Média ou Profundidade Hidráulica (y_m)
- Talude (z)

Elementos Geométricos da Seção Longitudinal do Canal



- Declividade de fundo (I)
- Declividade de superfície (J)

Classificação dos Escoamentos

1. Em Relação ao Tempo:

a) Permanente ou Estacionário $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$

b) Não Permanente ou Transitório $\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$

2. Em Relação ao Espaço:

a) Uniforme $\frac{\partial V}{\partial L} = 0$

b) Não Uniforme ou Variado $\frac{\partial V}{\partial L} \neq 0$

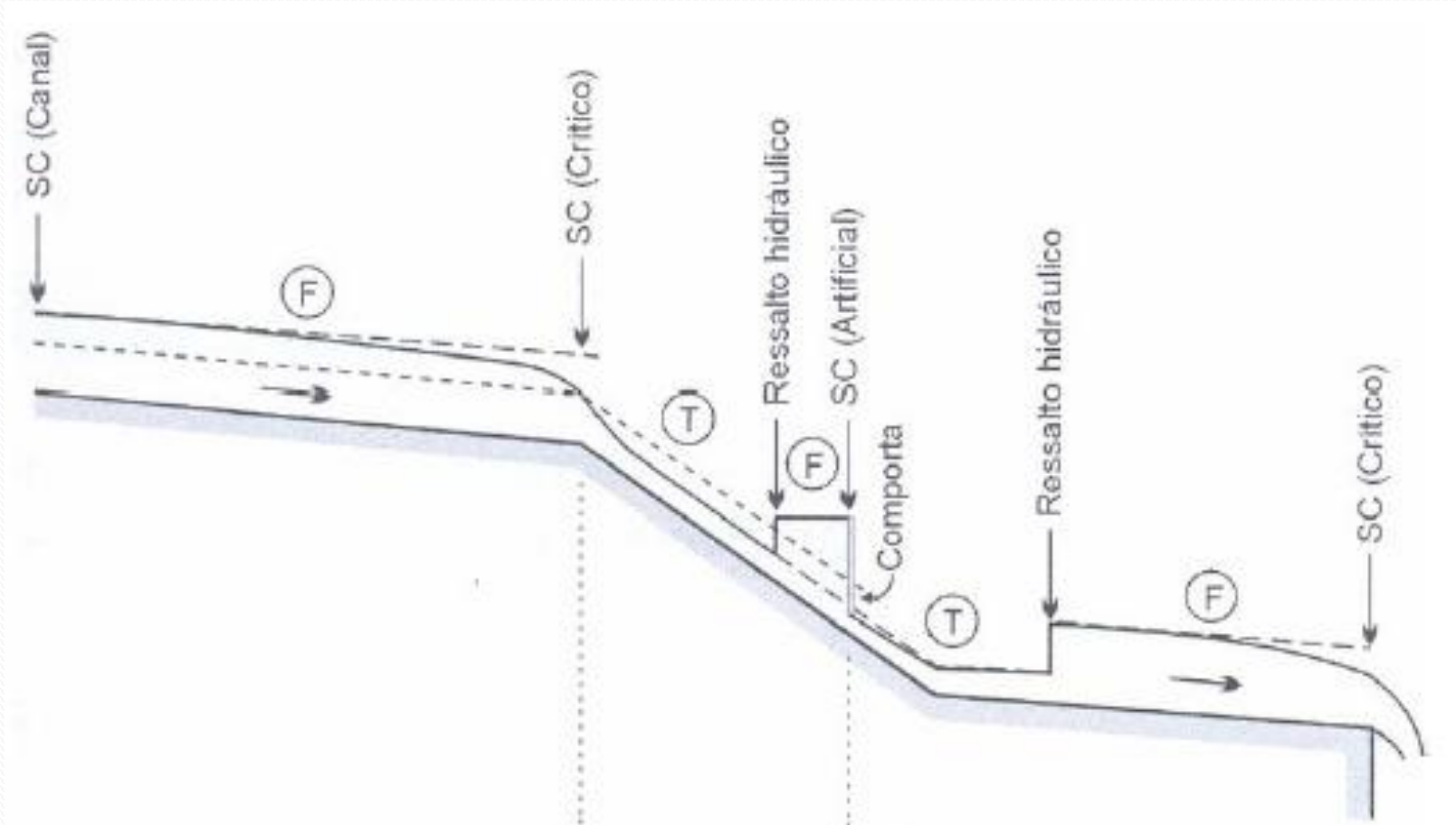
Classificação dos Escoamentos

3. Em Relação ao número de Froude (F_r):

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gy_m}}$$

- a) **Crítico** $\rightarrow Fr = 1$
- b) **Supercrítico ou Torrencial (T)** $\rightarrow Fr > 1$
- c) **Subcrítico ou Fluvial (F)** $\rightarrow Fr < 1$

Classificação dos Escoamentos



Exemplos de Escoamentos

- a) Água escoando por um conduto longo, de seção constante, com carga constante:
 - **Escoamento Permanente e Uniforme**

- b) Água escoando por um conduto longo, de seção constante, com carga crescente ou decrescente:
 - **Escoamento Permanente e Não Uniforme**

- c) Água escoando através de um canal longo de mesma seção reta, mesma declividade de fundo e mesma rugosidade das paredes (canais prismáticos):
 - **Escoamento Permanente e Uniforme**

Estudo do Escoamento em Regime Permanente e Uniforme

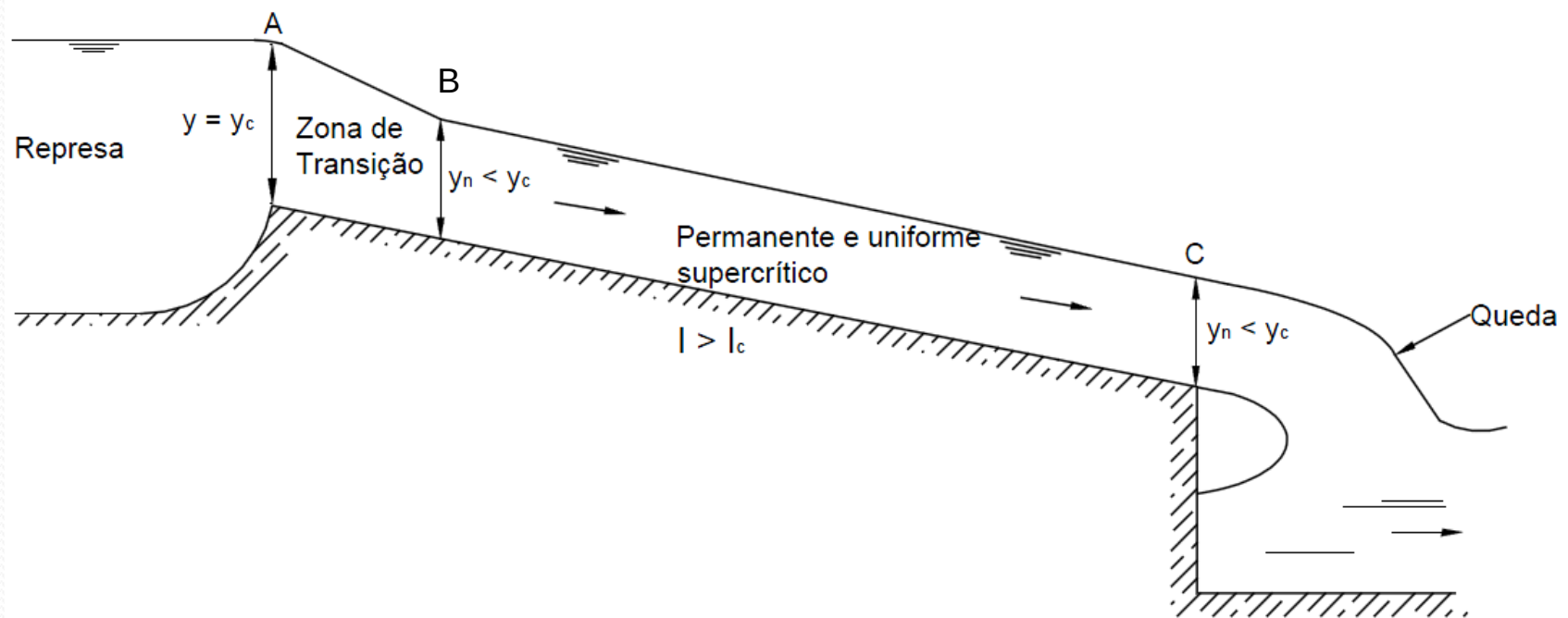
➤ Do ponto de vista cinemático:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial L} = 0$$

- ❖ Neste caso, a superfície livre da água e o fundo do canal são paralelos, a profundidade do escoamento é constante sendo a declividade do fundo do canal igual à declividade de superfície da água ($I = J$).

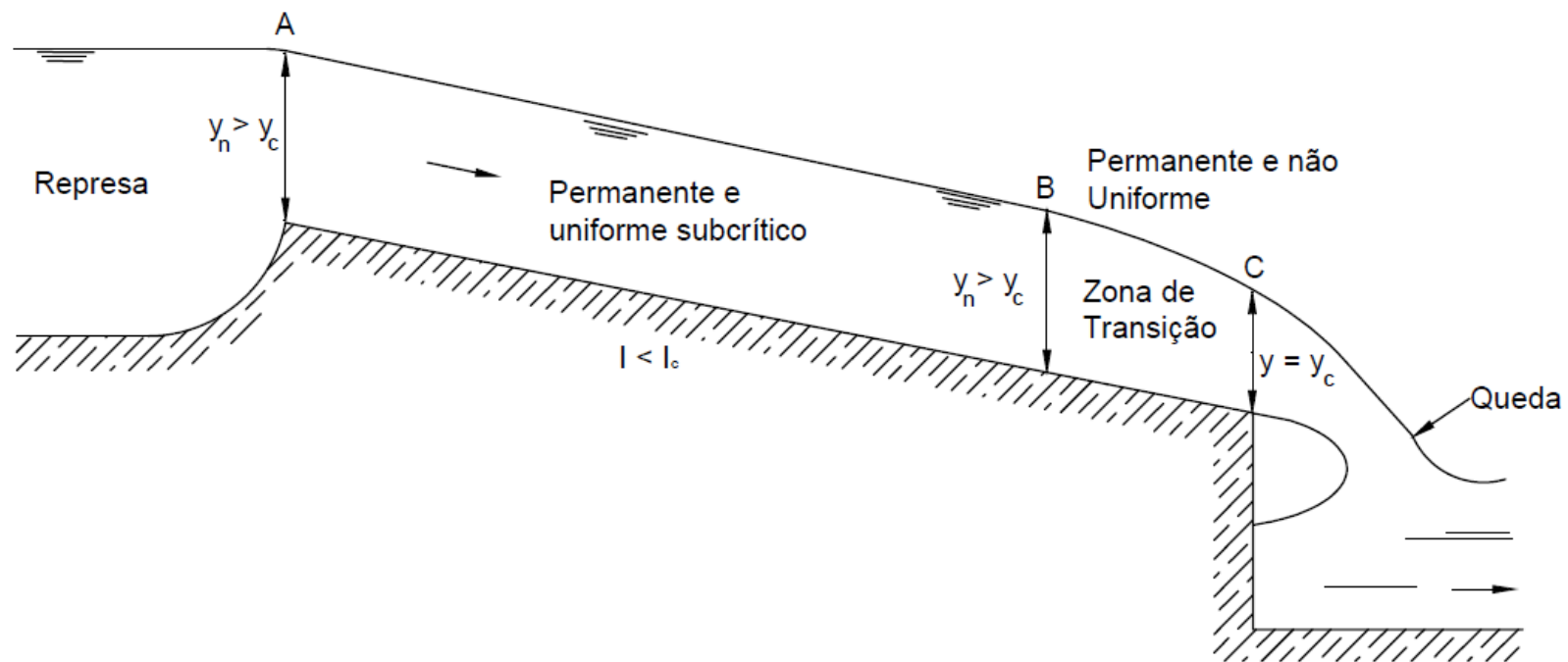
Exemplo de Escoamento ao Longo de um Canal com Grande Declividade ($I > I_c$)



Trecho AB: Escoamento não uniforme (região de transição)

Trecho BC: Escoamento uniforme (profundidade constante)

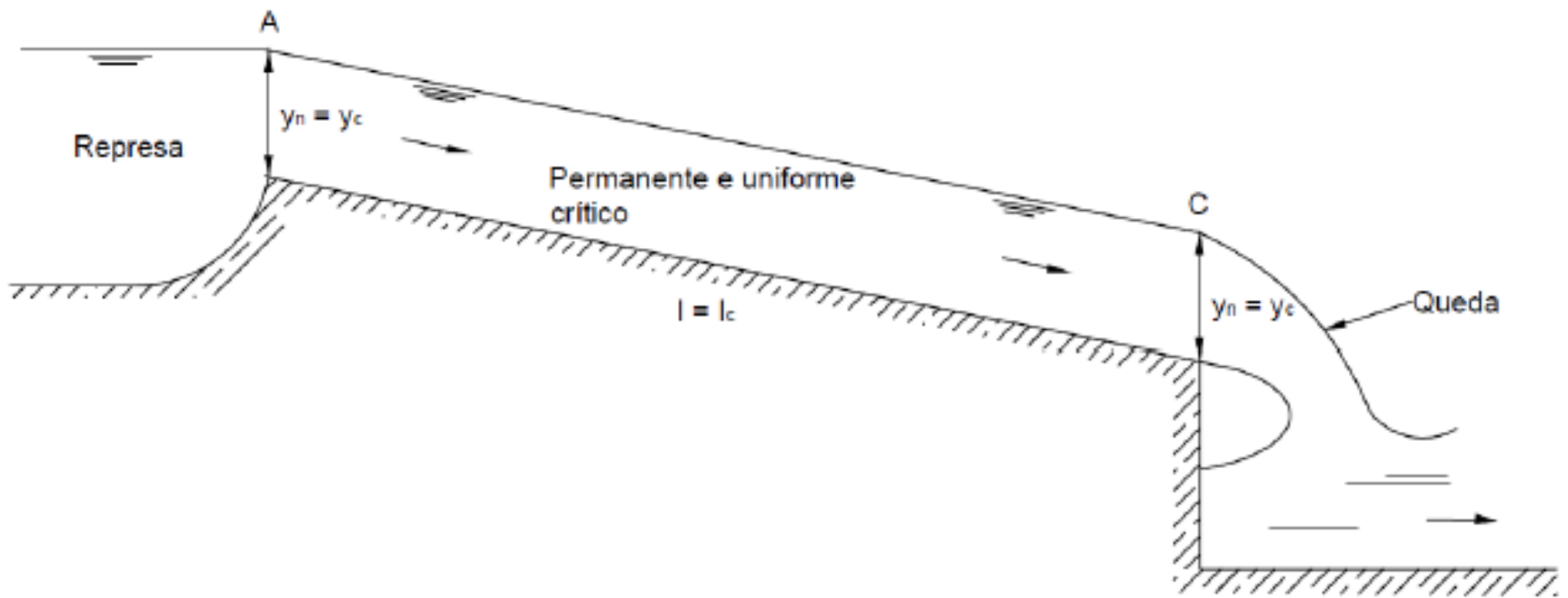
Exemplo de Escoamento ao Longo de um Canal com Pequena Declividade ($I < I_c$)



Trecho AB: Escoamento uniforme (profundidade constante)

Trecho BC: Escoamento não uniforme (região de transição)

Exemplo de Escoamento ao Longo de um Canal com Declividade crítica ($I = I_c$)



Trecho AC: Escoamento uniforme (profundidade constante)

Fórmulas Para o Cálculo da Velocidade Média (V)

Fórmula de CHÉZY: $V = C \sqrt{R I}$ (1)

Fórmula de BAZIN: $C = \frac{87 \sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}}$ (2)

Fórmula de MANNING: $C = \frac{R^{1/6}}{n}$ (3)

Substituindo (3) em (1):

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (4)$$

Fórmulas Para o Cálculo da Vazão (Q)

Relação entre vazão, área molhada e velocidade média:

$$Q = AV \quad (5)$$

Substituindo equação anterior (4) em (5):

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (6)$$

TABELA XIII

Valores de γ Para a Fórmula de Bazin

Natureza da parede	Estado da parede			
	Perfeito	Bom	Regular	Mau
Cimento liso	0,048	0,103	0,157	0,212
Argamassa de cimento	0,103	0,157	0,212	0,321
Aqueduto de madeira aparelhada	0,048	0,157	0,212	0,267
Aqueduto de madeira não aparelhada	0,103	0,212	0,267	0,321
Canais revestidos de concreto	0,157	0,267	0,377	0,485
Pedras brutas rejuntadas com cimento	0,430	0,594	0,870	1,142
Pedras não rejuntadas	0,870	0,142	1,303	1,419
Pedras talhadas	0,212	0,267	0,321	0,430
Paredes metálicas de seção semicircular lisas	0,103	0,157	0,212	0,321
Paredes de chapas corrugadas, em seção semicircular	0,733	0,870	1,007	1,142
Paredes de terra, canais retos e uniformes	0,430	0,594	0,733	0,870
Paredes de pedra, lisas em canais uniformes	0,870	1,142	1,303	1,419
Paredes rugosas de pedras irregulares	1,419	1,690	1,965	-
Canais de terra c/ grandes meandros	0,733	0,870	1,007	1,142
Canais de terra, dragados	0,870	1,007	1,142	1,303
Canais c/ leitos de pedras rugosas e c/ vegetações nas margens de terra	0,870	1,142	1,419	1,690
Canais c/ fundo de terra e c/ pedras nas margens	1,025	1,142	1,303	1,419
<u>Canais naturais</u>				
1º) - Limpas, margens retilíneas, nível máximo sem zonas mortas profundas	0,870	1,007	1,142	1,303
2º) - Mesmo que o 1º, porém c/ alguma vegetação e pedras	1,142	1,303	1,419	1,690
3º) - C/ meandros, zonas mortas e regiões pouco profundas, limpas	1,419	1,690	1,965	2,240
4º) - Mesmo que o 3º, durante estiagem, sendo declividade e seção menores	1,690	1,965	2,240	2,515
5º) - Mesmo que o 3º, c/ algumas vegetações e pedras nas margens	1,303	1,419	1,690	1,965
6º) - Mesmo que o 4º, com pedras	1,965	2,240	2,515	2,780
7º) - Zonas de pequenas velocidades, com vegetação, ou zonas mortas profundas	2,240	2,780	3,340	3,880
8º) - Zonas com muita vegetação	3,610	4,980	6,360	7,720

TABELA IV

Valores de n, Para a Fórmula de Manning

Natureza da parede	Estado da parede			
	Perfeito	Bom	Regular	Mau
Cimento liso	0,010	0,011	0,012	0,013
Argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueduto de madeira aparelhada	0,010	0,012	0,013	0,014
Aqueduto de madeira não aparelhada	0,011	0,013	0,014	0,015
Canais revestidos de concreto	0,012	0,014	0,016	0,018
Pedras brutas rejuntadas com cimento	0,017	0,020	0,025	0,030
Pedras não rejuntadas	0,025	0,030	0,033	0,035
Pedras talhadas	0,013	0,014	0,015	0,017
Paredes metálicas, de seção semicircular lisas	0,011	0,012	0,0275	0,030
Paredes de terra, canais retos e uniformes	0,017	0,020	0,0225	0,030
Paredes de pedra, lisas em canais uniformes	0,025	0,030	0,033	0,035
Paredes rugosas de pedras irregulares	0,035	0,040	0,045	-
Canais de terra c/grandes meandros	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canais de terra dragados	0,025	0,0275	0,030	0,033
Canais c/leito de pedras rugosas e c/vegetações nas margens de terra	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais c/fundo de terra e c/pedras nas margens	0,028	0,030	0,033	0,035
<u>Canais naturais</u>				
1º) - Limpos, margens retilíneas nível máximo sem zonas mortas profundas	0,025	0,0275	0,030	0,033
2º) - Mesmo que o 1º, porém c/alguma vegetação e pedra	0,030	0,033	0,035	0,040
3º) - C/meandros, zonas mortas e regiões pouco profundas, limpas	0,035	0,040	0,045	0,050
4º) - Mesmo que o 3º, durante estiagem, sendo declividade e seção menores	0,040	0,045	0,050	0,055
5º) - Mesmo que o 3º, c/algumas vegetações e pedras nas margens	0,033	0,035	0,040	0,045
6º) - Mesmo que o 4º, com pedras	0,045	0,050	0,055	0,060
7º) - Zonas de pequena velocidade com vegetação ou zonas mortas profundas	0,050	0,060	0,070	0,080
8º) - Zonas com muitas vegetações	0,075	0,100	0,125	0,150

Seções Transversais Usuais

Canais de Seção Qualquer

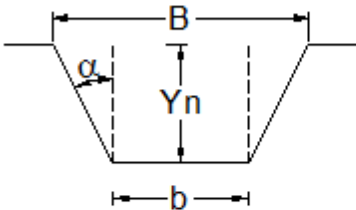
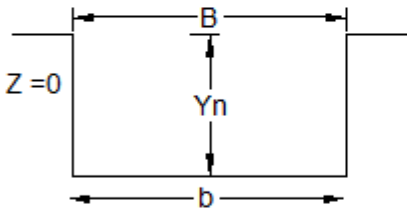
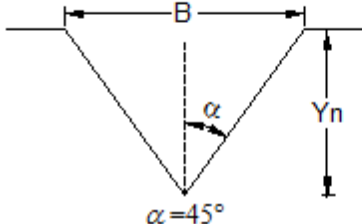
Seção	Área (A)	Perímetro Molhado(P)	Raio Hidráulico (R)	Largura Superficial (B)	Profundidade Média (y _m)
	$y_n (b + z y_n)$	$b + 2 y_n \sqrt{z^2 + 1}$	$\frac{A}{P}$	$b + 2z y_n$	$\frac{A}{B}$
	$z y_n^2$	$2y_n \sqrt{z^2 + 1}$	$\frac{z y_n}{2\sqrt{z^2 + 1}}$	$2z y_n$	$\frac{y_n}{2}$
	$b y_n$	$b + 2y_n$	$\frac{A}{P}$	b	y_n
	$\frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta)$ $\theta = \pi$	$\frac{\theta D}{2}$ $\theta = \pi$	$\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)$ $\theta = \pi$	$D \left(\frac{\sin \theta}{2}\right)$ $\theta = \pi$	$\frac{D}{8} \left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}}\right)$ $\theta = \pi$
	$\frac{\pi D^2}{8}$	$\frac{\pi D}{2}$	$\frac{D}{4}$ ou $\frac{y_n}{2}$	D ou $2y_n$	$\frac{\pi D}{8}$ ou $\frac{\pi y_n}{4}$

Para o canal circular:

$$y_n = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right)$$

$$\theta = 2 \arccos \left(1 - 2 \frac{y_n}{D}\right)$$

Seções de Máxima Eficiência (ou Seções de Mínimo Perímetro Molhado, ou Canais de Seção Econômica, ou Canais de Mínimo Custo ou Canais de Máxima Vazão)

Seções	Área (A)	Perímetro Molhado(P)	Raio Hidráulico (R)	Largura Superficial (B)	Profundidade Média (y_m)	Largura de Fundo (b)
	$y_n^2 (2\sqrt{1+z^2} - z)$	$2y_n (2\sqrt{1+z^2} - z)$	$\frac{y_n}{2}$	$2y_n \sqrt{1+z^2}$	$\frac{y_n (2\sqrt{1+z^2} - z)}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2y_n (\sqrt{1+z^2} - z)$
	$2y_n^2$	$4y_n$	$\frac{y_n}{2}$	$2y_n$	y_n	$2y_n$
	y_n^2	$2\sqrt{2}y_n$	$\frac{y_n}{2\sqrt{2}}$	$2y_n$	$\frac{y_n}{2}$	$b=0$

Velocidades Aconselháveis e Inclinações (z) Admissíveis Para as Paredes dos Canais

- **Levam-se em conta as limitações impostas:**

- ✓ Pela qualidade da água (sedimentação de partículas)
- ✓ Pela natureza das paredes do canal (erosão)

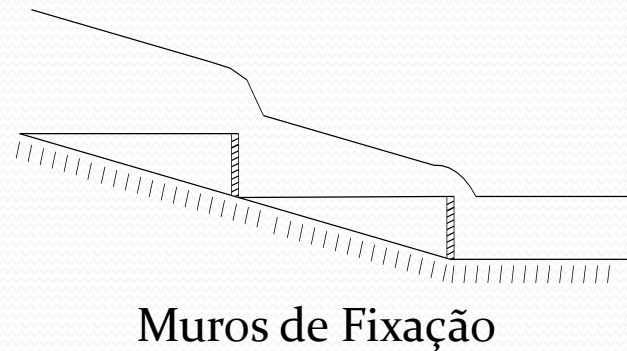
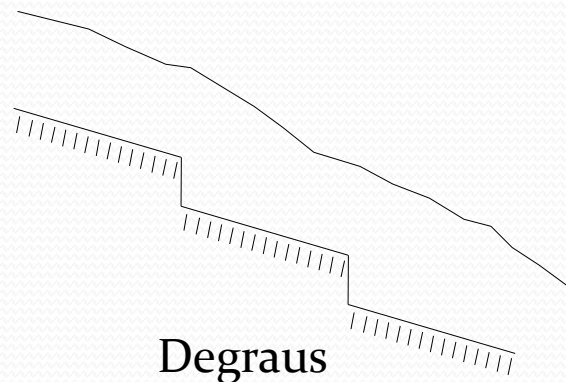
➤ Velocidade Média (V): $V_{\text{mín}} < V < V_{\text{máx}}$

$V_{\text{mín}}$ - velocidade abaixo da qual o material sólido contido na água sedimenta, produzindo assoreamento no leito do canal.

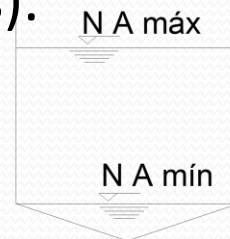
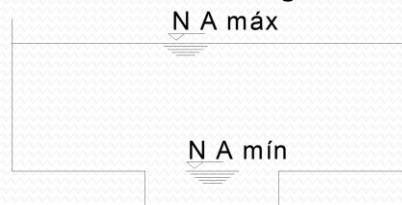
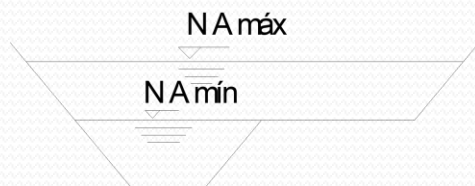
$V_{\text{máx}}$ - velocidade acima da qual ocorre a erosão das paredes e do fundo do canal.

Controle da Velocidade Média:

- Atuando na declividade de fundo do canal (degraus e muros de fixação) - para evitar velocidades excessivas.



- Atuando nas dimensões da seção do canal e na sua forma (para evitar baixas velocidades, causando assoreamento em canais submetidos a grandes variações de vazões).



Limites aconselháveis para a velocidade média nos canais transportando água limpa

Material das Paredes do Canal	Velocidade (m/s)		
	Média		Máxima
Areia muito fina	0,23	a	0,30
Areia solta-média	0,30	a	0,46
Areia grossa	0,46	a	0,61
Terreno arenoso comum	0,61	a	0,76
Terreno silt-argiloso	0,76	a	0,84
Terreno de alívio	0,84	a	0,91
Terreno argiloso compacto	0,91	a	1,14
Terreno argiloso, duro, solo cascalhento	1,22	a	1,52
Cascalho grosso, pedregulho, piçarra	1,52	a	1,83
Rochas sedimentares moles-xistos	1,83	a	2,44
Alvenaria	2,44	a	3,05
Rochas compactas	3,05	a	4,00
Concreto	4,00	a	6,00

Velocidades Aconselháveis e Inclinações Admissíveis para os Taludes

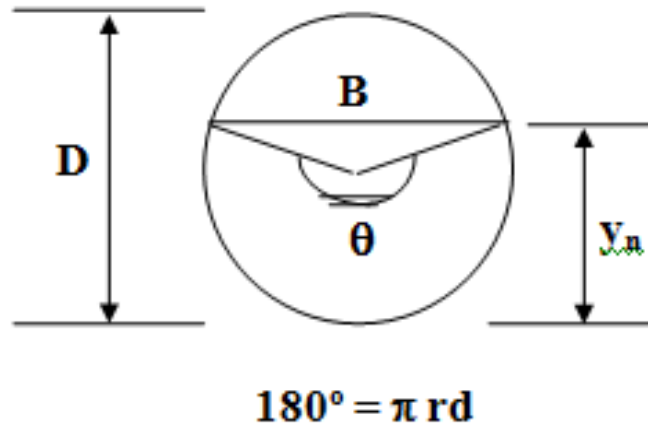
- Velocidades médias mínimas para evitar depósitos:
 - Águas com suspensões finas 0,30 m/s
 - Águas transportando areias finas 0,45 m/s
 - Águas residuárias (esgotos) 0,60 m/s
- Inclinação das paredes laterais (canais trapezoidais e triangulares)

Natureza das Paredes	$z=\text{tg } \alpha$	α
Canais em terra sem revestimento	2,5 a 5	68,2° a 78,7°
Canais em saibro, terra porosa	2	63,4°.
Cascalho roliço	1,75	60,2°
Terra compacta sem revestimento	1,5	56,3°
Terra muito compacta, paredes rochosas	1,25	51,4°.
Rocha estratificada, alvenaria de pedra bruta	0,5	26,5°.
Rocha compacta, alvenaria acabada, concreto	0	0°.

Folga dos canais

- **Folga de 20 a 30% na altura do canal**
 - Contrabalançar a diminuição de sua capacidade, causada pela deposição de material transportado pela água e crescimento da vegetação.
 - Evita também transbordamento causado por águas de chuva, obstrução do canal etc.

Velocidade Máxima em Canal Circular ($V_{\text{máx}}$)



$$(1) \quad V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$(2) \quad R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)$$

$$(3) \quad A = \frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta)$$

- Substituindo (2) em (1):

$$V = \frac{1}{n} \left[\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \right]^{2/3} I^{1/2} = \frac{D^{2/3} I^{1/2}}{4^{2/3} n} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{2/3}$$

- Derivando V em relação à θ para D, n, I constantes:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{D^{2/3} I^{1/2}}{4^{2/3} n} \left[\frac{2}{3} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{-1/3} \left(-\frac{\theta \cos \theta - \sin \theta}{\theta^2} \right) \right] = 0$$

Velocidade Máxima em Canal Circular ($V_{\text{máx}}$)

$$\text{sen}\theta - \theta \cos \theta = 0$$

$$\text{tg}\theta = \theta$$

$$\rightarrow \boxed{\theta = 4,49\text{rd} = 257^\circ} \quad \text{Para } V \text{ máx}$$

- Sabe-se que:

$$y_n = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

$$y_n = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{257}{2} \right) \rightarrow \boxed{y_n = 0,81D} \quad \text{Para } V \text{ máx}$$

➤ Portanto, o valor máximo para a velocidade das águas em um conduto circular ocorre quando o conduto está parcialmente cheio, com a relação $y_n/D = 0,81$

Vazão Máxima em Canal Circular ($Q_{\text{máx}}$)

$$(2) \ R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta} \right) \quad (3) \ A = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen} \theta) \quad (4) \ Q = \frac{A}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

- Substituindo (2) e (3) em (4):

$$Q = \frac{1}{n} \left[\frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen} \theta) \right] \left[\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta} \right) \right]^{2/3} I^{1/2}$$

$$Q = \frac{D^{8/3} I^{1/2}}{2^{13/3} n} (\theta - \text{sen} \theta) \left(1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta} \right)^{2/3} = \frac{D^{8/3} I^{1/2}}{2^{13/3} n} \frac{(\theta - \text{sen} \theta)^{5/3}}{\theta^{2/3}}$$

- Derivando Q em relação à θ para D, n, I constantes e fazendo as devidas simplificações, chega-se à seguinte expressão:

$$2\theta - 3\theta \cos \theta + \text{sen} \theta = 0 \quad \rightarrow \quad \theta = 5,379 \text{ rd} = 308^\circ \text{ para } Q \text{ máx}$$

Vazão Máxima em Canal Circular ($Q_{\text{máx}}$)

- Usando novamente a expressão:

$$y_n = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \quad \rightarrow \quad y_n = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{308}{2} \right) \quad \rightarrow \quad \boxed{y_n = 0,95D}$$

para $Q_{\text{máx}}$

- Resumindo:

a) Para $V_{\text{máx}}$	$\theta = 257^\circ$	e	$y_n = 0,81D$
b) Para $Q_{\text{máx}}$	$\theta = 308^\circ$	e	$y_n = 0,95D$

Observações Importantes Sobre Canais Circulares

- A partir da relação $y_n/D = 0,95$, pequenos acréscimos em y_n ocasionam pequenos acréscimos na área molhada (A) e maiores acréscimos no perímetro molhado (P); em razão disso, o raio hidráulico (R) diminui, diminuindo conseqüentemente a vazão (Q).
- Nas condições de máxima vazão, o escoamento é hidraulicamente instável podendo o canal operar como conduto forçado para pequenos acréscimos em y_n o que seria desastroso no caso de uma rede de esgotos.

Observações Importantes Sobre Canais Circulares

- Por medida de segurança, a NB – 568 recomenda a relação $y_n/D = 0,75$.
- A vazão escoada para $y_n/D = 0,82$ iguala-se à vazão escoada para o canal operando a seção plena.
- A velocidade média a plena seção é igual à velocidade média a meia seção porque o raio hidráulico é o mesmo.
- A vazão escoada a plena seção é o dobro da vazão escoada a meia seção já que a área a plena seção é o dobro da área a meia seção.

Diagrama Para Canais Circulares Funcionando Parcialmente Cheios

- Facilita o cálculo dos elementos da seção geométrica, da velocidade e da vazão, para seções circulares parcialmente cheias.

1. Relação entre uma Área Molhada Qualquer (A) e a Área Molhada a Seção Plena (A₀)

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

$$A_0 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$(1) \quad \boxed{\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2\pi} (\theta - \text{sen} \theta)} \quad \text{Sendo: } \theta = 2\arccos\left(1 - 2\frac{y_n}{D}\right) \\ (\theta = \text{rd})$$

Diagrama Para Canais Circulares Funcionando Parcialmente Cheios

2. Relação entre o Raio Hidráulico Qualquer(R) e o Raio Hidráulico Pleno(R_0)

$$R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta} \right)$$

$$R_0 = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

$$(2) \quad \boxed{\frac{R}{R_0} = 1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta}}$$

($\theta = \text{rd}$)

Diagrama Para Canais Circulares Funcionando Parcialmente Cheios

3. Relação Entre V e V₀

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} = \frac{1}{n} I^{1/2} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} \left(1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta} \right)^{2/3}$$

$$V_0 = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} I^{1/2}$$

$$(3) \quad \boxed{\frac{V}{V_0} = \left(1 - \frac{\text{sen} \theta}{\theta} \right)^{2/3}}$$

$$(\theta = \text{rd})$$

Diagrama Para Canais Circulares Funcionando Parcialmente Cheios

4. Relação Entre Q e Q₀

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} I^{1/2} = \frac{I^{1/2}}{n} \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen}\theta) \left[\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right) \right]^{2/3}$$

$$Q_0 = \frac{I^{1/2}}{n} \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3}$$



$$(4) \quad \boxed{\frac{Q}{Q_0} = \frac{1}{2\pi} (\theta - \text{sen}\theta) \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right)^{2/3} = \frac{\theta}{2\pi} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right)^{5/3}} \quad (\theta = \text{rd})$$

Diagrama Para Canais Circulares Funcionando Parcialmente Cheios

5. Relação Entre P e P₀

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

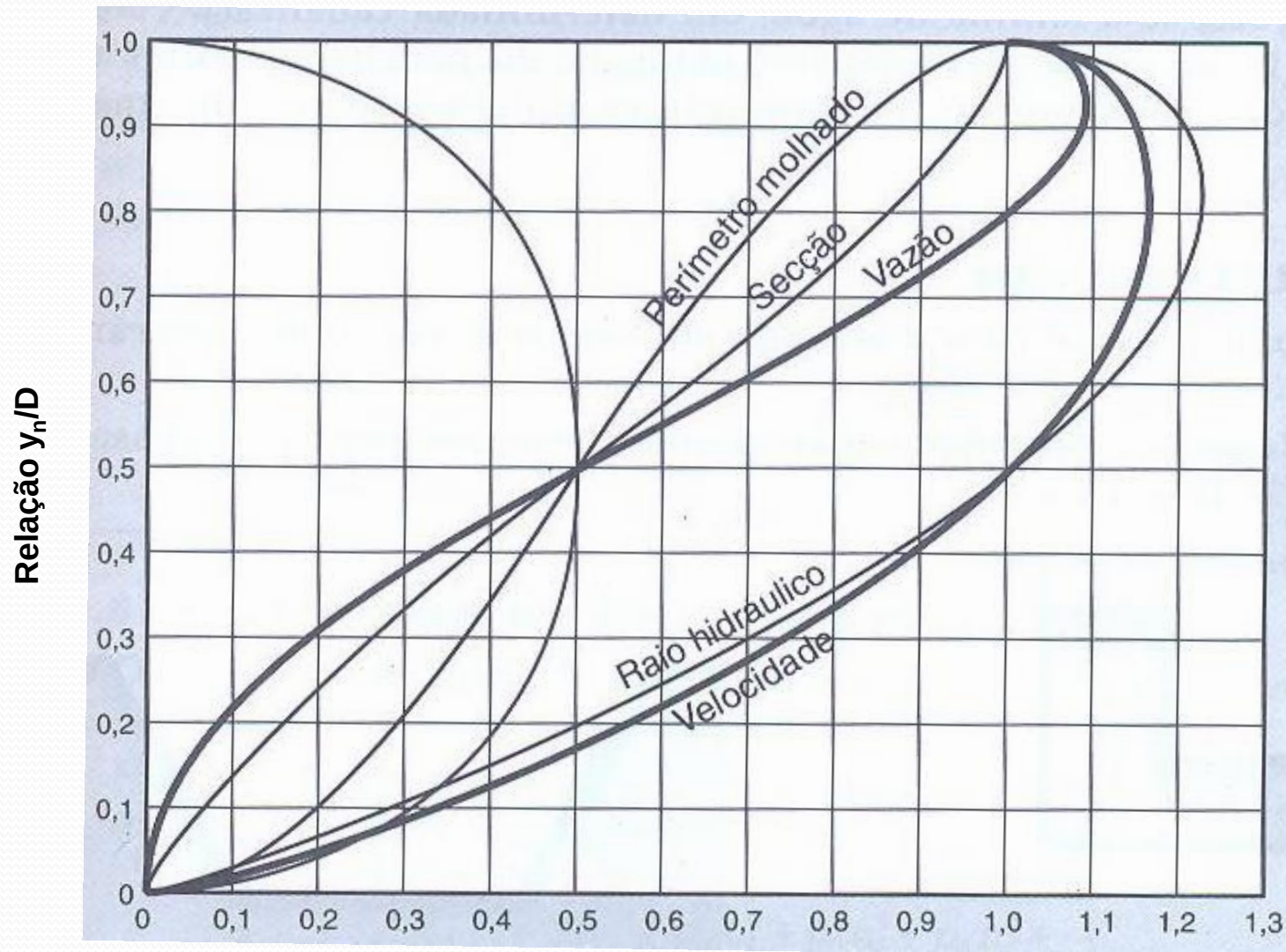
$$(5) \quad \boxed{\frac{P}{P_0} = \frac{\theta}{2\pi}} \quad (\theta = \text{rd})$$

$$P_0 = \pi D$$

➤ De posse das equações (1) a (5) , traçam-se gráficos que facilitam grandemente os trabalhos de cálculo dos elementos hidráulicos dos canais circulares funcionando parcialmente cheios (**FIGURA 9**).

FIGURA 9

Elementos hidráulicos de um canal de seção circular



$$\frac{A}{A_0} \quad \frac{R}{R_0} \quad \frac{V}{V_0} \quad \frac{Q}{Q_0} \quad \frac{P}{P_0}$$

Equação Geral Para o Dimensionamento das Seções dos Canais

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

Fórmula de Manning:

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

Sendo



$$Q = \frac{A}{n} \left(\frac{A}{P} \right)^{2/3} I^{1/2} = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} I^{1/2}$$

$$\frac{nQ}{\sqrt{I}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \quad (1)$$

Geometria da seção
do canal

Dimensionamento das Seções dos Canais

1. Seções Circulares:

$$(1) \frac{nQ}{\sqrt{I}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \quad (2) A = \frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta) \quad (3) P = \frac{\theta D}{2}$$

Substituindo (2) e (3) em (1):

$$\frac{nQ}{D^{8/3} \sqrt{I}} = \frac{(\theta - \sin \theta)^{5/3}}{2^{13/3} \theta^{2/3}} \quad (4)$$

Dimensionamento das Seções dos Canais

1. Seções Circulares:

- Cálculo da profundidade normal: supondo conhecidos n , Q , I , D , a equação (4) pode ser reescrita como:

$$\frac{nQ}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} = \left(\frac{y_n}{D} \right)^{-8/3} \frac{(\theta - \sin \theta)^{5/3}}{2^{13/3} \theta^{2/3}} \quad (5)$$

$$\theta = 2 \arccos \left(1 - 2 y_n / D \right) \quad (6)$$

- Construção de parte do **ÁBACO XI**

Dimensionamento das Seções dos Canais

2. Seções Circulares:

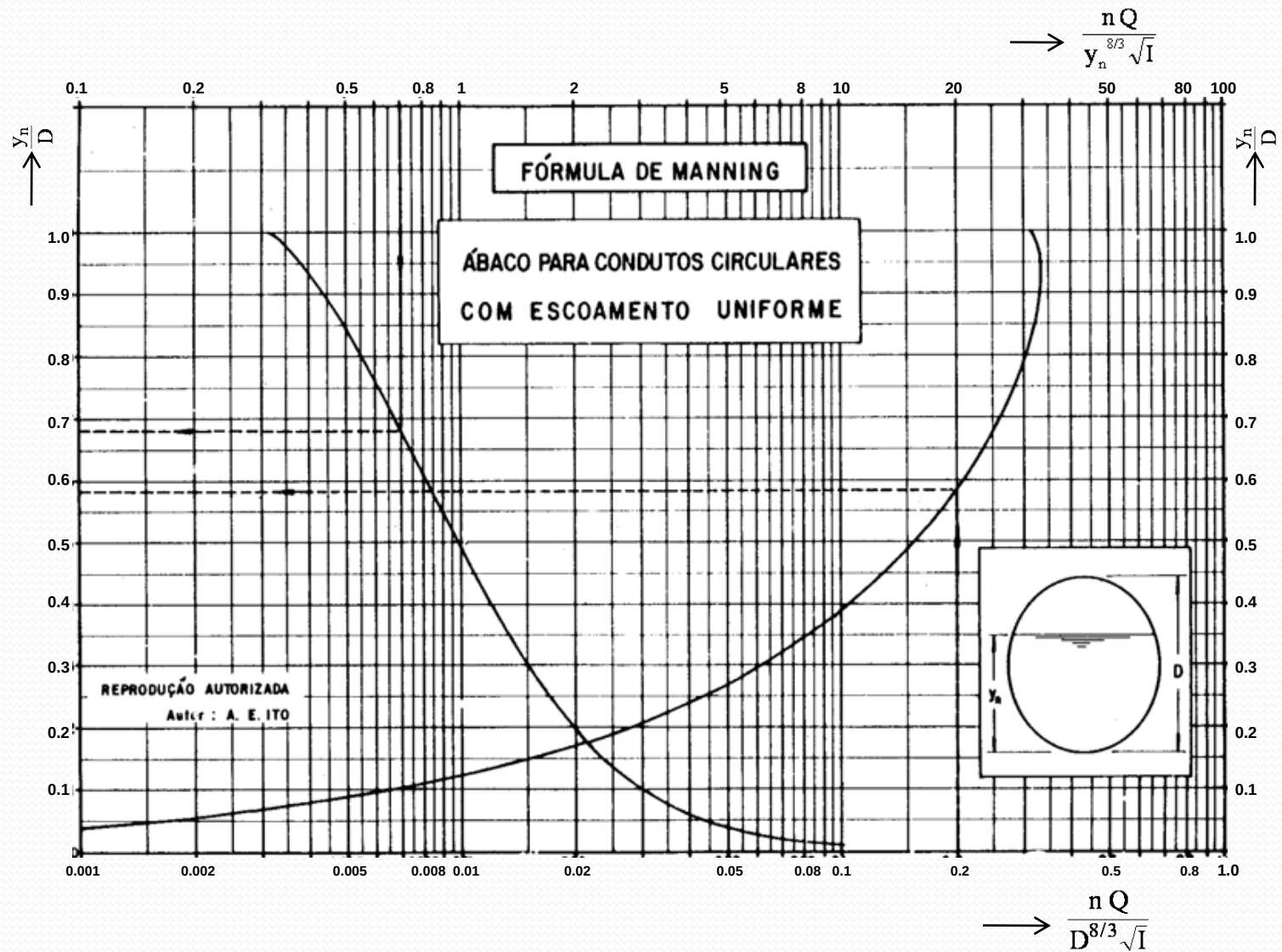
- Cálculo do diâmetro: supondo conhecidos n , Q , I e y_n , a equação (4) pode ser reescrita como:

$$\frac{n Q}{D^{8/3} \sqrt{I}} = \frac{(\theta - \sin \theta)^{5/3}}{2^{13/3} \theta^{2/3}} \quad (7)$$

$$\theta = 2 \operatorname{arc} \cos(1 - 2^{y_n/D}) \quad (6)$$

Construção da outra parte do **ÂBACO XI**

ÁBACO XI



Dimensionamento das Seções dos Canais

2. Seções Trapezoidais e Retangulares:

- Determinação da Largura de Fundo (b)

Supõe-se conhecidos n , Q , I , z e y_n

$$\frac{n Q}{\sqrt{I}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$A = y_n (b + z y_n)$$

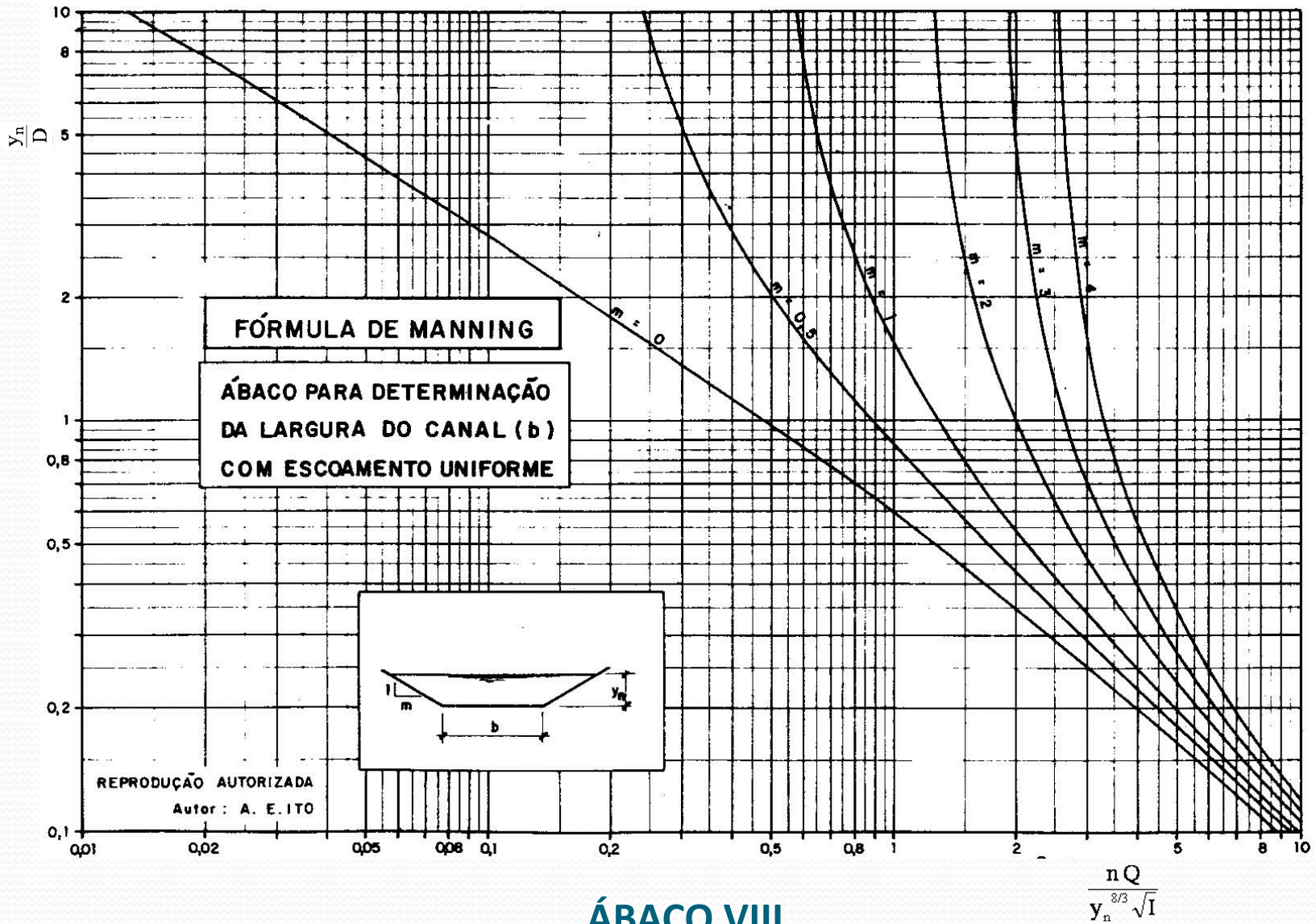
$$P = b + 2y_n \sqrt{z^2 + 1}$$

$$\frac{n Q}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} = \frac{\left(\frac{b}{y_n} + z\right)^{5/3}}{\left(\frac{b}{y_n} + 2\sqrt{z^2 + 1}\right)^{2/3}}$$

- Construção do Ábaco $\frac{n Q}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} * \frac{y_n}{b}$ (ÁBACO VIII)

Relações para Qmáx

z	0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Yn/b	0,5	0,809	1,207	2,118	3,081	4,061



Dimensionamento das Seções dos Canais

2. Seções Trapezoidais e Retangulares:

- Determinação da Profundidade Normal (y_n)
Conhecidos agora: n , Q , I , z e b .

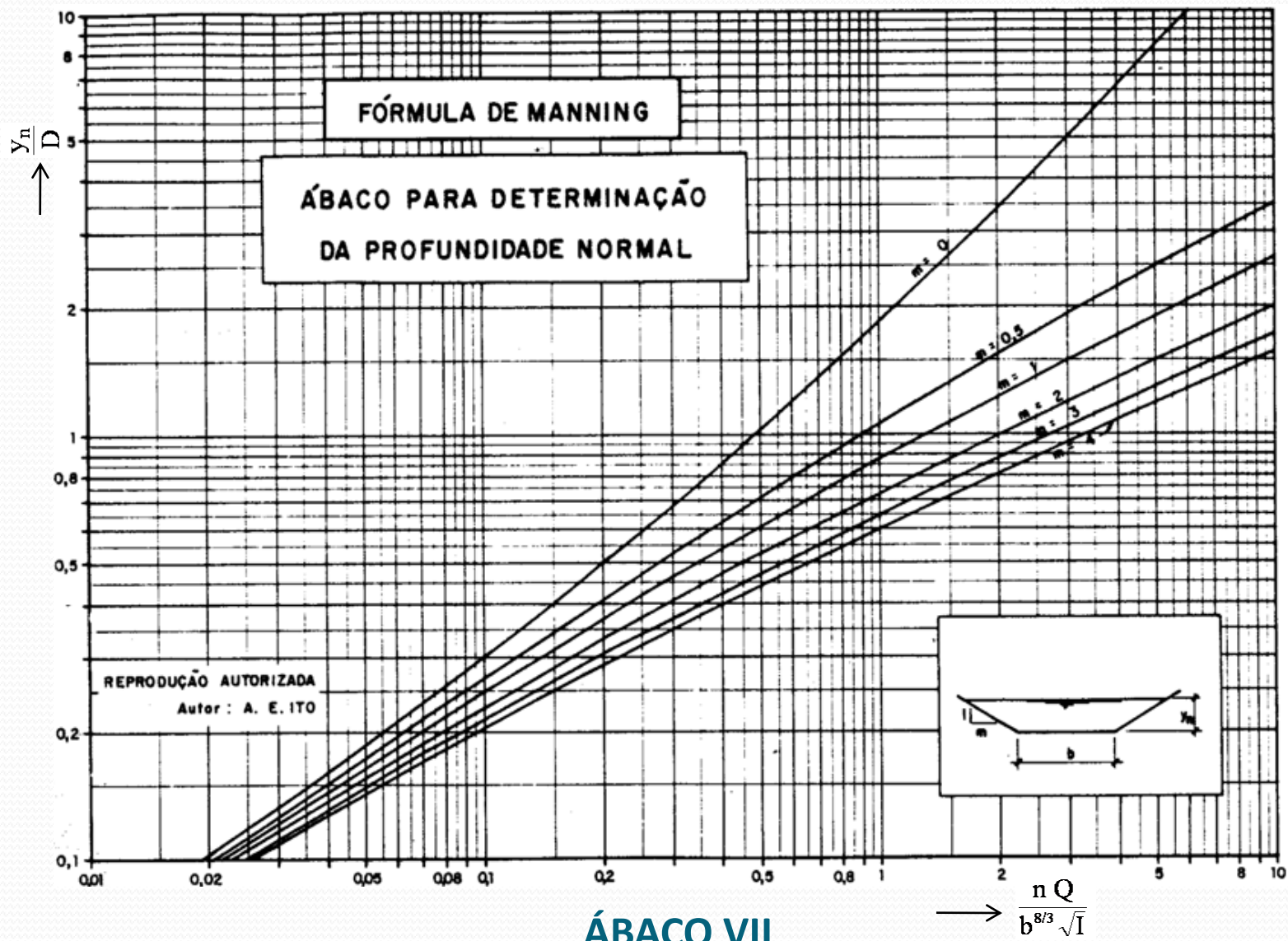
$$\frac{n Q}{\sqrt{I}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \quad A = y_n (b + z y_n) \quad P = b + 2y_n \sqrt{z^2 + 1}$$

$$\frac{n Q}{b^{8/3} \sqrt{I}} = \frac{\left[\frac{y_n}{b} (1 + z \frac{y_n}{b}) \right]^{5/3}}{\left(1 + 2 \frac{y_n}{b} \sqrt{z^2 + 1} \right)^{2/3}}$$

- $$\frac{n Q}{b^{8/3} \sqrt{I}} * \frac{y_n}{b} \quad (\text{ABACO VII})$$

Relações para Qmáx

z	0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Yn/b	0,5	0,809	1,207	2,118	3,081	4,061



Dimensionamento das Seções dos Canais

3. Seção Triangular :

- Supõe-se conhecidos n , Q , I , z (única incógnita: y_n)

$$\frac{nQ}{\sqrt{I}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

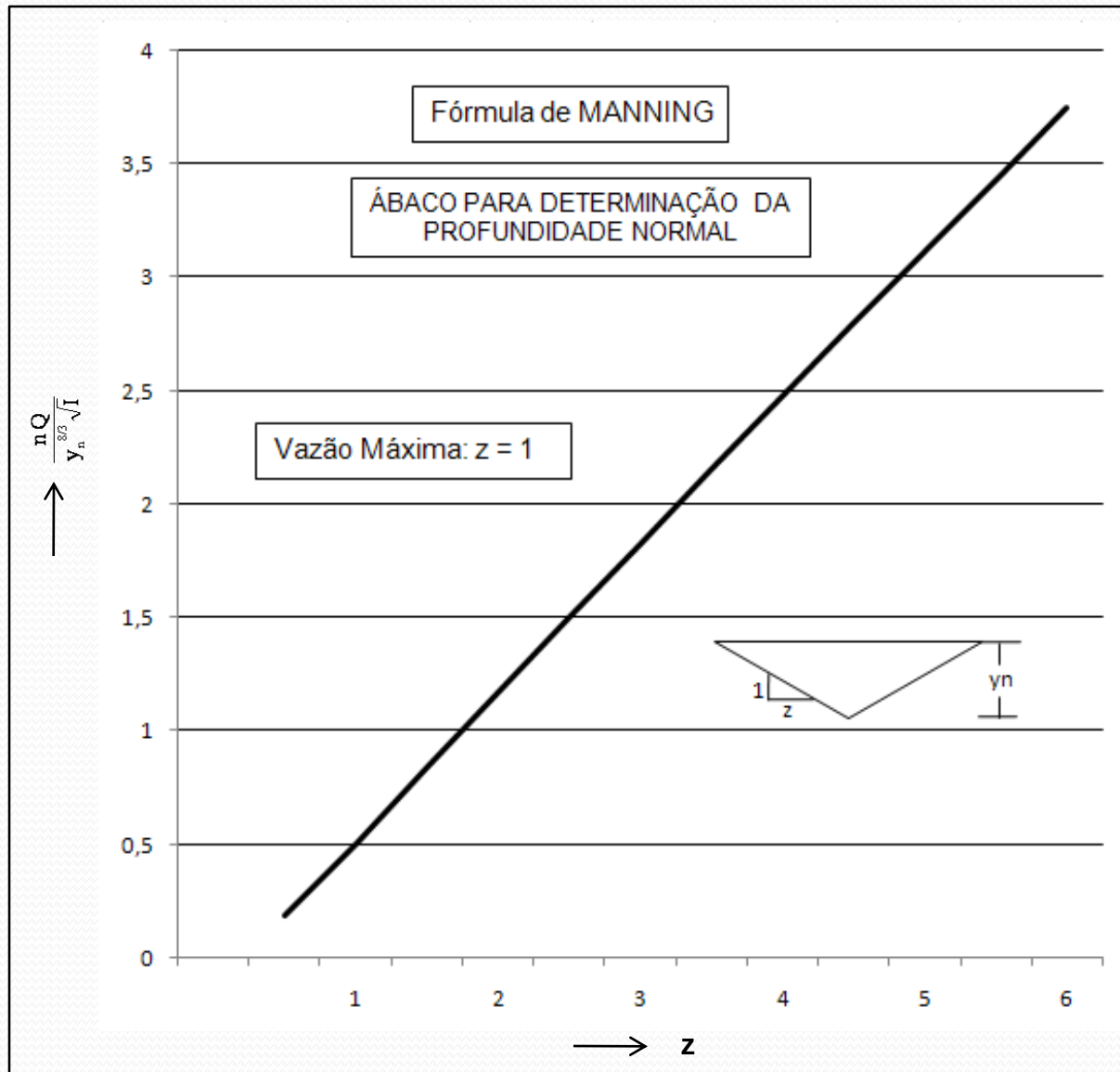
$$A = z y_n^2$$

$$P = 2y_n \sqrt{z^2 + 1}$$

$$\frac{nQ}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} = \frac{z^{5/3}}{(2\sqrt{z^2 + 1})^{2/3}}$$

- Construção do Ábaco $\frac{nQ}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} * z$ (ÁBACO VI)

ÁBACO VI



EXERCÍCIOS

1. Tem-se um canal de seção trapezoidal com talude 1:1, executado em concreto não muito liso, com declividade de 0,4%. Determinar qual a vazão capaz de escoar em regime uniforme, com uma profundidade da água de 0,40m e uma largura de fundo de 0,30m.
2. Um canal de seção retangular, de declividade de fundo de 40cm.km^{-1} e coeficiente de rugosidade de Manning igual a 0,02, foi dimensionado para uma vazão de projeto igual a $8\text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Qual a sua profundidade a fim de que o canal seja de mínimo perímetro molhado?
3. Uma manilha de concreto é assentada em um declive de 0,0002 e deve transportar uma vazão de 2365 Ls^{-1} quando estiver 75% cheia. Qual diâmetro deverá ser usado?