

A background image showing a splash of water in a blue hue, with a white rectangular box containing the title text.

# **HIDROMETRIA**

## **Principais métodos e Instrumentos**

PROF. DR. PATRICIA ANGÉLICA ALVES MARQUES

# HIDROMETRIA

- ▶ Medidas de Velocidade e Vazão
- ▶ Uso
  - ▶ abastecimento de água urbano
  - ▶ tarifação urbana, industrial e agrícola
  - ▶ instalações hidrelétricas
  - ▶ disponibilidade hídrica
  - ▶ estudo ambiental
  - ▶ defesa civil (inundações)

# MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO

- ▶ Diretos (Método volumétrico ou de pesagem, hidrômetro e fluxímetro)
- ▶ Relação área x velocidade (Flutuador, molinete, coordenadas em tubo com descarga livre, tubo de Pitot e processo colorimétrico)
- ▶ Estreitamento da seção de escoamento (Venturímetro, diafragma, vertedores, calha Parshall e calha WSC)

# MÉTODOS DIRETOS: Método volumétrico

- ▶ Recipiente de volume conhecido

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{tempo}}$$

- ▶ Recipiente de 20 L
- ▶ Leituras: 25s; 26s e 24s

# MÉTODOS DIRETOS: Método volumétrico

## ▶ Variação do volume do reservatório

$$Q = \frac{\Delta \text{Volume}}{\text{tempo}}$$

## ▶ Peso

$$\gamma = \frac{\text{Peso}}{\text{volume}} \rightarrow \text{volume} = \frac{\text{Peso}}{\gamma} \rightarrow Q = \frac{\text{peso}}{\gamma \cdot \text{tempo}}$$

# MÉTODOS DIRETOS: Método volumétrico

## ► hidrômetro

-tubulações

-Rotor é posto em movimento pela corrente de água

-Acoplado a um mostrador, onde se lê o volume que passou pelo hidrômetro

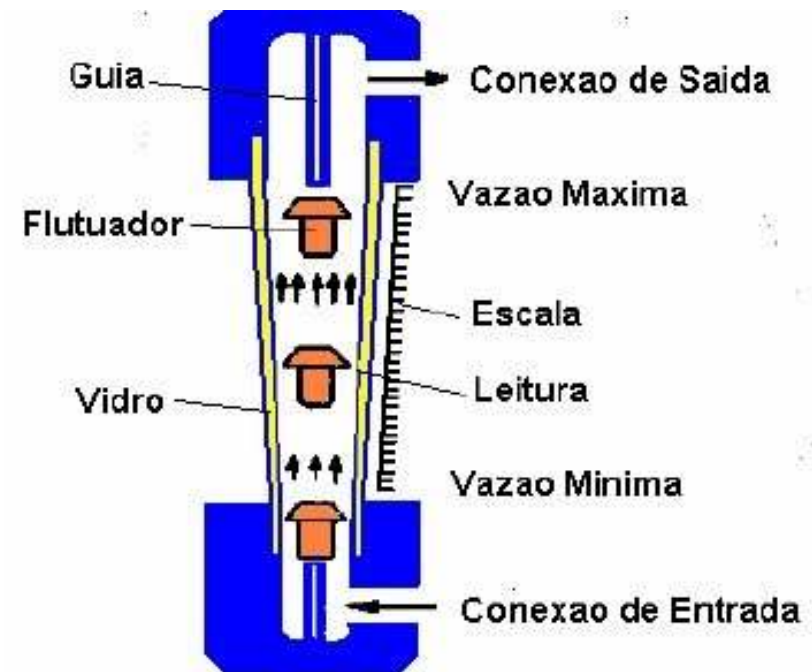
$$Q = \text{Vol}/T$$



# MÉTODOS DIRETOS: Método volumétrico

## ► fluxímetro

- Obstrui parcialmente o fluxo de água
- Variações no fluxo de água mudam a posição do dispositivo no interior do fluxímetro
- Tubo afunilado é graduado para marcar a vazão a partir da posição do dispositivo
- Leitura direta e fácil



# MÉTODOS: VELOCIDADE x ÁREA

## ► Flutuador

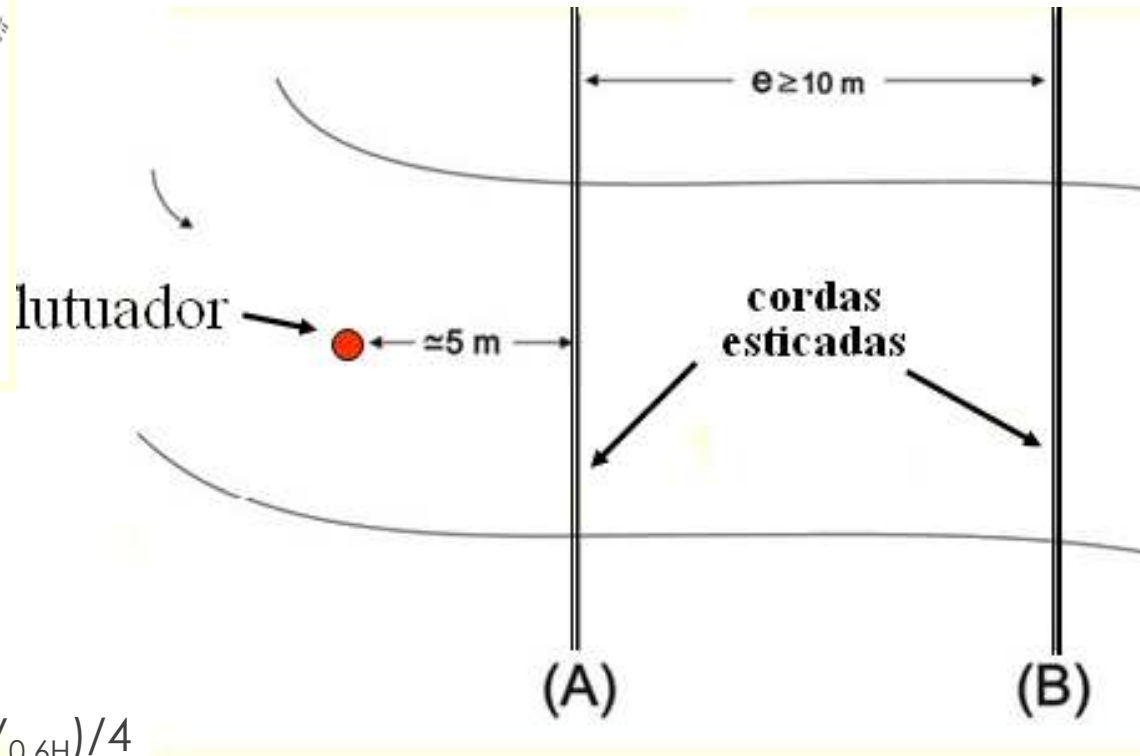
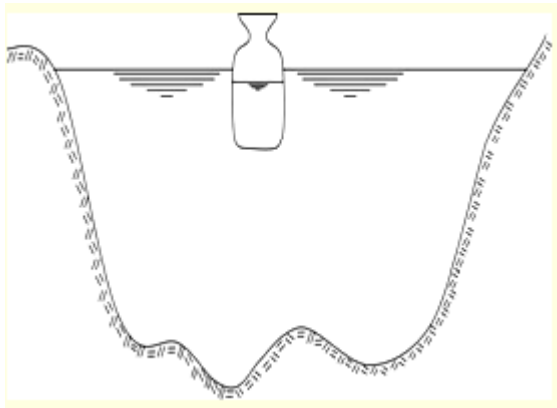
Objeto flutuante que adquire a velocidade da água que o circunda

- Utilização: canais de pequeno ou médio porte
- Vantagem: determinação rápida
- Desvantagem: imprecisão causada por ventos, correntes secundárias e ondas



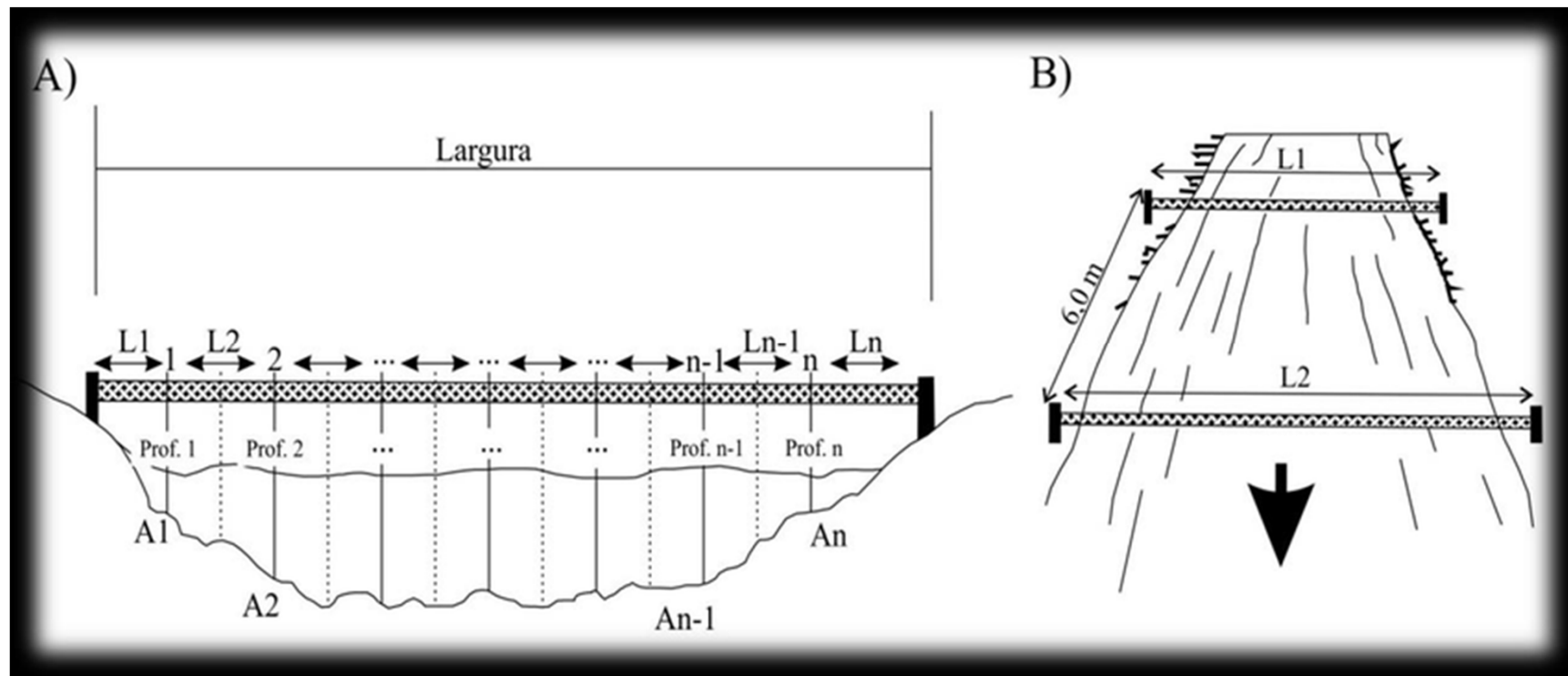
# MÉTODOS: VELOCIDADE x ÁREA

## ► Flutuador



- $V_m = 0,85 \times V_{\text{sup}}$
- $V_m = V_{0,6H}$
- $V_m = (V_{0,2H} + V_{0,8H})/2$
- $V_m = (V_{0,2H} + V_{0,8H} + 2 V_{0,6H})/4$

# Método dos trapézios



## Exemplo:

- ▶ Distância entre os pontos A e B = 10m
- ▶ Área da seção transversal = método dos trapézios
- ▶ Leitura = 25 s

# MÉTODOS: VELOCIDADE x ÁREA

## ► 2) Molinete

$$V = 0,307 N + 0,04$$



$V = a \cdot (N/t) + b$ , em que

$a$  = passo da hélice (constante - função da hélice do molinete)

$b$  = inércia da hélice (constante - função da hélice do molinete)

$t$  = duração da medição

$N$  = número de rotações da hélice

# MÉTODOS: VELOCIDADE x ÁREA

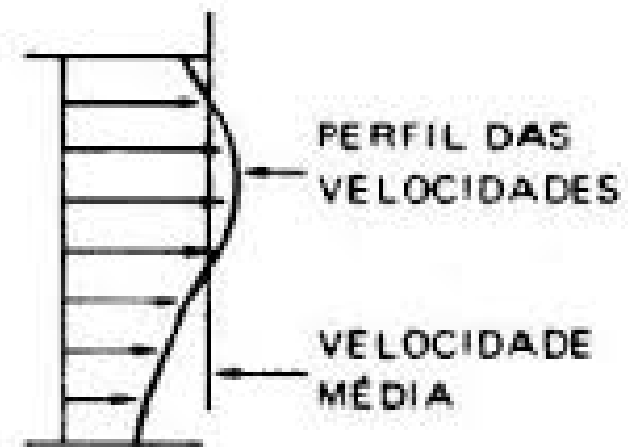
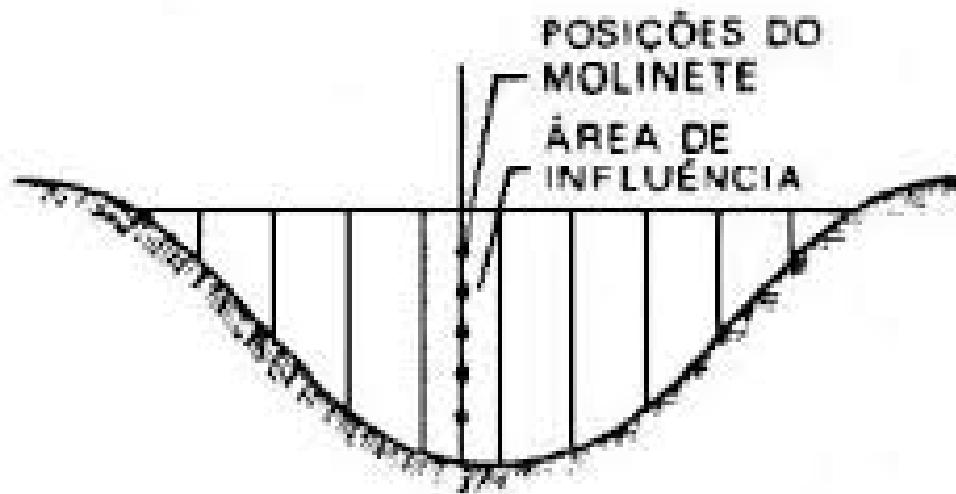
## ► Molinete

Rotor que entra em movimento pela ação da corrente de água

- Princípio de funcionamento: proporcionalidade entre  $V_{\text{água}}$  e  $V$  angular do rotor
- Mecanismo contador de rotação (eletrônico ou com sinais sonoros)
- Conversão de número de giros em vazão: curva de calibração

# MÉTODOS: VELOCIDADE x ÁREA

## ► Molinete



# Profundidades recomendadas

<b>Profundidades</b>	<b>Posição</b>
0,15 a 0,60	0,6.P
0,60 a 1,20	0,2.P e 0,8.P
1,20 a 2,00	0,2.P; 0,6.P e 0,8.P
2,00 a 4,00	S; 0,2.P; 0,4.P; 0,6.P e 0,8.P
acima de 4,00	S;0,2.P; 0,4.P; 0,6.P; 0,8.P e F.

A posição S (superfície) corresponde à profundidade de 0,10m, e a posição F (fundo) corresponde àquela determinada pelo comprimento da haste de sustentação do lastro.

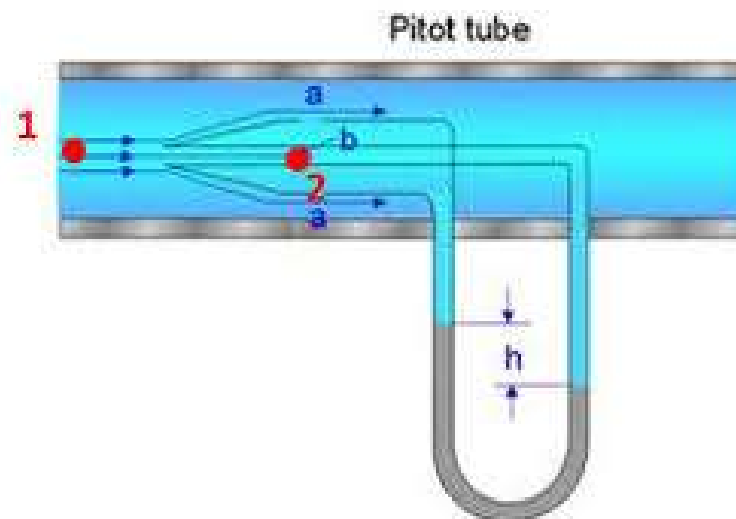
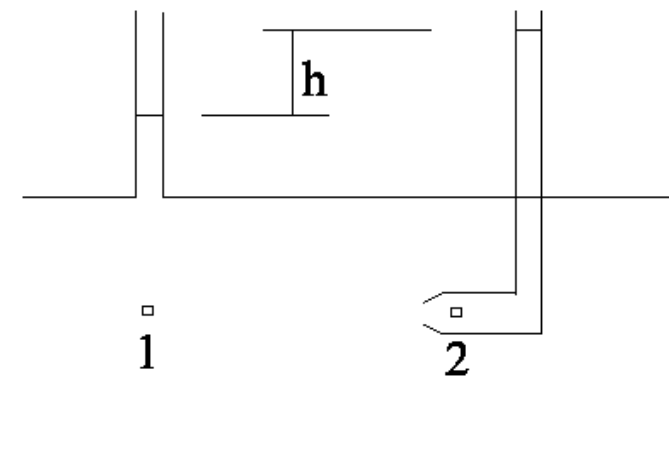
# MÉTODOS: VELOCIDADE x ÁREA

## ► Tubo de Pitot

$$V_{\text{real}} = K \cdot \sqrt{2gh}$$

$$K = 0,90 - 0,98$$

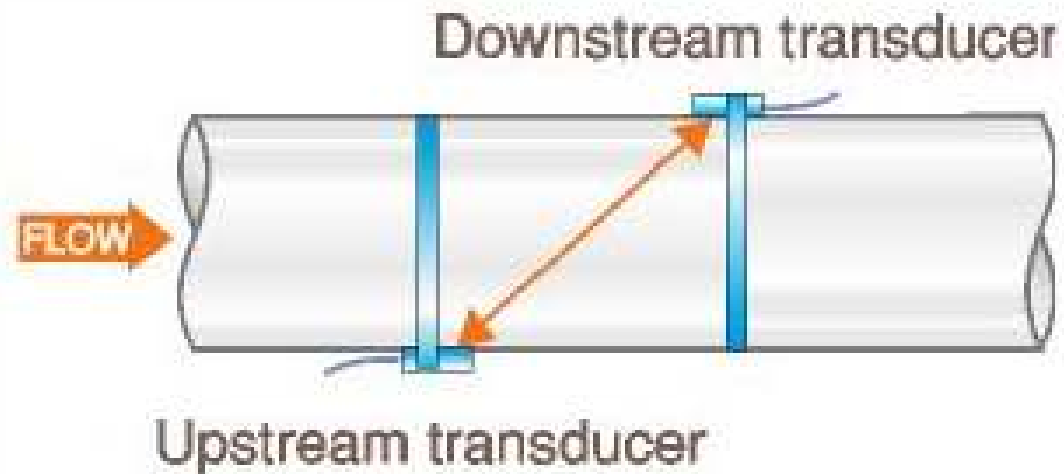
- Transformação de energia de velocidade em energia de pressão





# MÉTODOS: VELOCIDADE x ÁREA

## ► Ultra-som



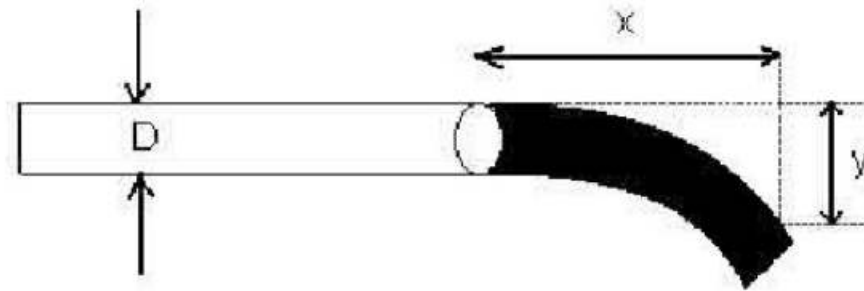
# MÉTODOS: VELOCIDADE x ÁREA

## ► Método das coordenadas

- Medida de vazão em tubos de descarga livre

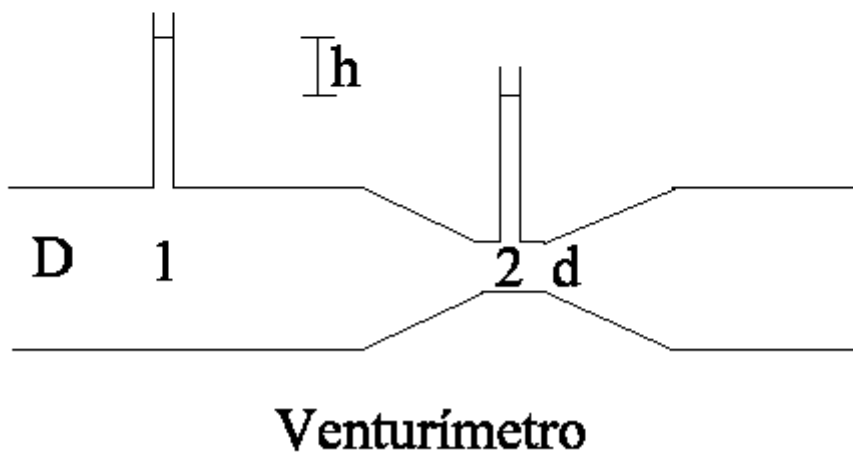
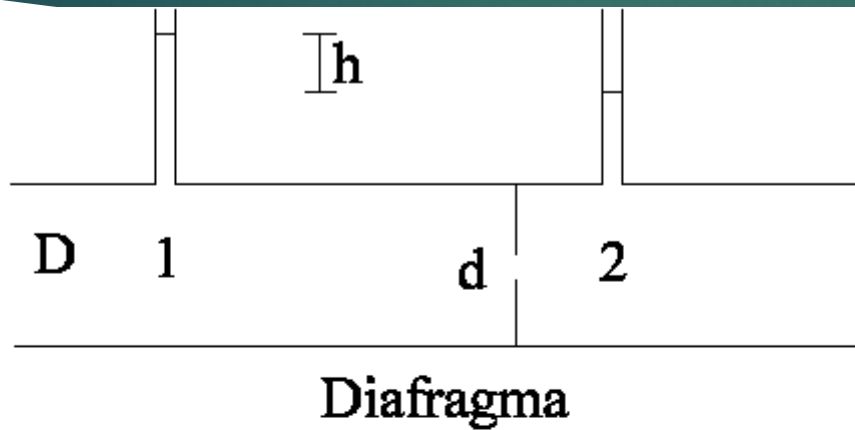
$$V = 2,21 \frac{x}{\sqrt{y}}$$

$$Q = S \cdot 2,21 \frac{x}{\sqrt{y}}$$



Exemplo: diâmetro = 62mm;  $x = 15,9$  cm e  $y = 50$  cm

# MÉTODOS: ESTREITAMENTO DA SEÇÃO DE ESCOAMENTO



$$Q = \frac{3,48 \cdot D_1^2 \cdot C_d}{\sqrt{\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right]}} \cdot \sqrt{\Delta h}$$

$$C_d \text{ diafragma} = 0,62$$

$$C_d \text{ venturímetro} = 0,95$$

# Exemplo:

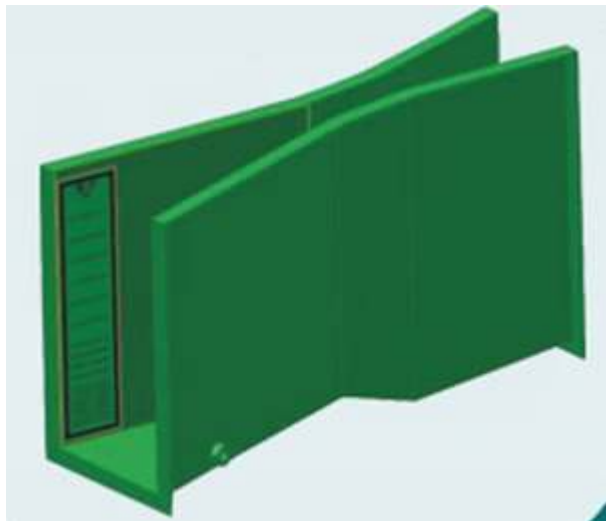
- ▶  $D = 150 \text{ mm}$                        $d = 100 \text{ mm}$
- ▶  $C_d = 0,95$                        $\Delta h = 3,69 \text{ cm}$

$$Q = \frac{3,48 \cdot D_1^2 \cdot C_d}{\sqrt{\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right]}} \cdot \sqrt{\Delta h} = \frac{3,48 \cdot 0,15^2 \cdot 0,95}{\sqrt{\left[\left(\frac{0,15}{0,10}\right)^4 - 1\right]}} \cdot \sqrt{0,0369} =$$

$$Q = 0,0071 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 7,1 \text{ L s}^{-1}$$

# MÉTODOS: ESTREITAMENTO DA SEÇÃO DE ESCOAMENTO

► Calha Parshall e WSC



Medidor  
WSC



# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS



# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

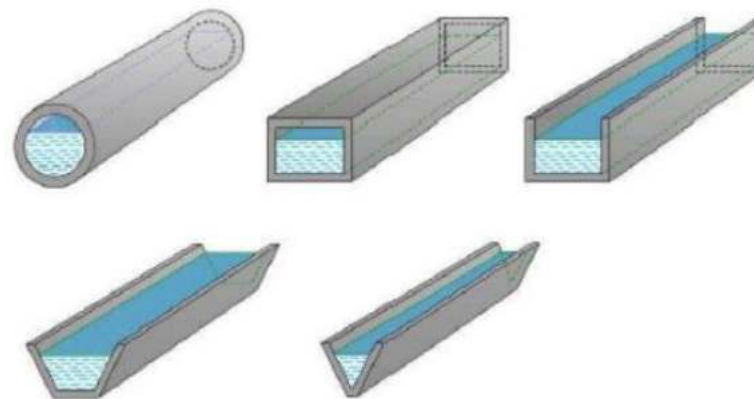
- ▶ Conduitos livres são aqueles em que o escoamento ocorre à pressão atmosférica local.
  - Aquedutos para abastecimento urbano
  - Condução de água em áreas agrícolas
  - Drenagem superficial (bueiros, valetas etc.)
  - Irrigação por superfície (sulcos e inundação)



# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

## Formas

- Circular ou semicircular
- Retangular
- Trapezoidal
- Triangular



[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4137264/mod\\_resource/content/0/Aula%206%20-%20Escoamento%20em%20condutos%20livres.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4137264/mod_resource/content/0/Aula%206%20-%20Escoamento%20em%20condutos%20livres.pdf)

# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

## Velocidade de escoamento em condutos livres

### Hazen-Williams (Canais circulares)

$$V = 0,355 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} = 0,355 \cdot C \cdot (4 R_H)^{2,63} \cdot i^{0,54}$$

---

### Manning

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{0,5} \quad \text{e} \quad Q = \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

$V$  – velocidade de escoamento, m/s;  $R_H$  – raio hidráulico, m  
 $i$  – declividade do canal, m/m;  $n$  – coeficiente de rugosidade de Manning (tabelado, depende do material)

# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

## Coefficiente de rugosidade de Manning (n) em função do revestimento do canal

Material	n
Terra (sem revestimento)	
Argiloso	0,025 – 0,030
Arenoso	0,030 – 0,040
Cascalho	0,030 – 0,035
Revestido	
Concreto	0,018 – 0,022
Tijolos	0,018 – 0,022
Membrana plástica	0,025 – 0,030

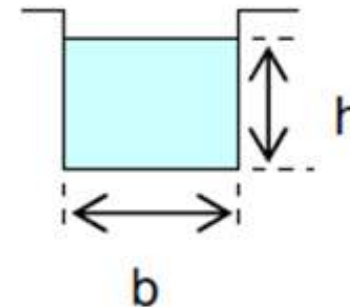
# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

## Caracterização da forma:

-Seção molhada (S): área útil do escoamento numa seção transversal de fluxo

-Perímetro molhado (P): comprimento da linha de contato entre a água, as paredes e o fundo do canal

-Raio hidráulico ( $R_H$ ):  $S/P$

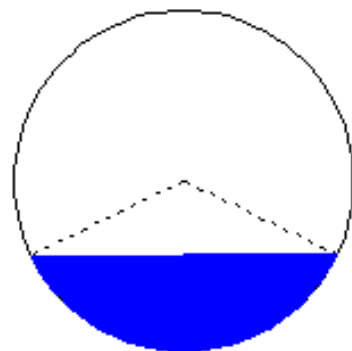


$$S = \text{Área} = b \cdot h$$

$$P = \text{Perímetro molhado} = 2 \cdot h + b$$

$$R_h = \text{Raio Hidráulico} = \frac{S}{P}$$

# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS



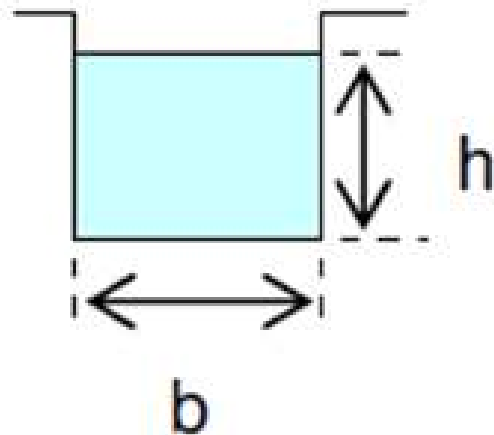
$$Q = \frac{K}{n} \cdot D^{2,667} \cdot i^{0,5}$$

$$D = \left( \frac{Q \cdot n}{K \cdot i^{0,5}} \right)^{0,375}$$

Seção parcial (%)	K		h/D	K
50	0,156		0,5	0,156
60	0,200		0,6	0,209
70	0,244		0,7	0,260
80	0,284		0,8	0,304
90	0,315		0,9	0,331
95	0,324		0,95	0,334
100	0,311		1,0	0,311

# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

RETANGULAR:



$$S = \text{Área} = b \cdot h$$

$$P = \text{Perímetro molhado} = 2 \cdot h + b$$

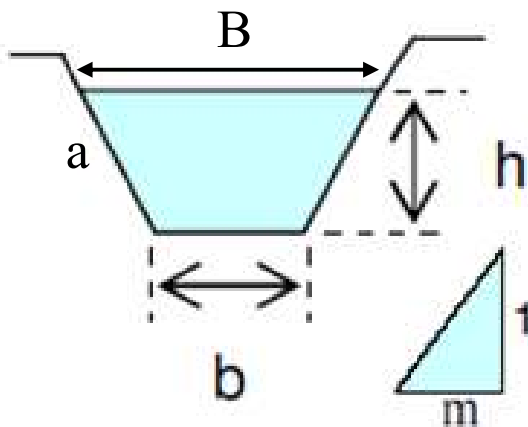
$$Rh = \text{Raio Hidráulico} = \frac{S}{P}$$

$$V = \text{velocidade} = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$Q = \text{vazão} = S \cdot V$$

# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

TRAPEZOIDAL:



$$S = \text{Área} = b \cdot h + m \cdot h^2$$

$$P = \text{Perímetro molhado} = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{(1 + m^2)}$$

$$Rh = \text{Raio Hidráulico} = \frac{S}{P}$$

$$V = \text{velocidade} = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

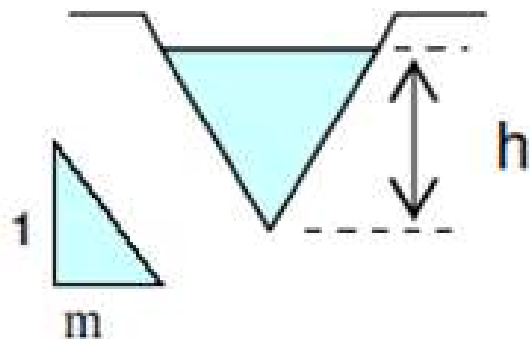
$$Q = \text{vazão} = S \cdot V$$

Ou  $S = (B + b)/2 \cdot H$

$P = \text{Perímetro molhado} = 2 \cdot a + b$

# CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

TRIANGULAR:



$$S = \text{Área} = m \cdot h^2$$

$$P = \text{Perímetro molhado} = 2 \cdot h \cdot \sqrt{(1 + m^2)}$$

$$Rh = \text{Raio Hidráulico} = \frac{S}{P}$$

$$V = \text{velocidade} = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$Q = \text{vazão} = S \cdot V$$



# Problemas hidráulicamente determinados

- Dados disponíveis levam a uma única solução

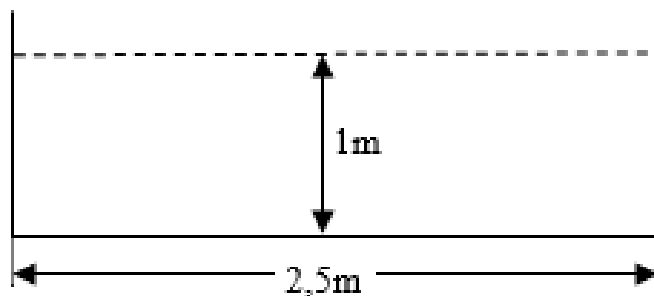
Dados	Incógnita
1) $n, R_H, S, V$ ou $Q$	$i$
2) $n, R_H, S, i$	$Q$ ou $V$
3) $n, Q, i$	$H, R_H, S$

- Problemas 1 e 2: solução direta

- Problema 3: solução por tentativas

# Problemas hidráulicamente determinados

Calcular a vazão do canal do esquema a seguir:

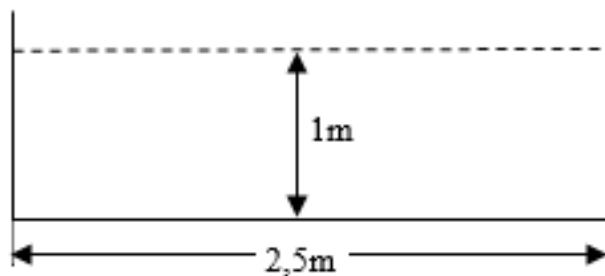


$$i = 0,4\text{‰} \quad (0,0004 \text{ m/m})$$

Revestimento: cimento liso ( $n = 0,013$ )

# Problemas hidráulicamente determinados

Calcular a declividade que deverá ter o canal do esquema a seguir:



Revestimento: cimento ( $n = 0,018$ )

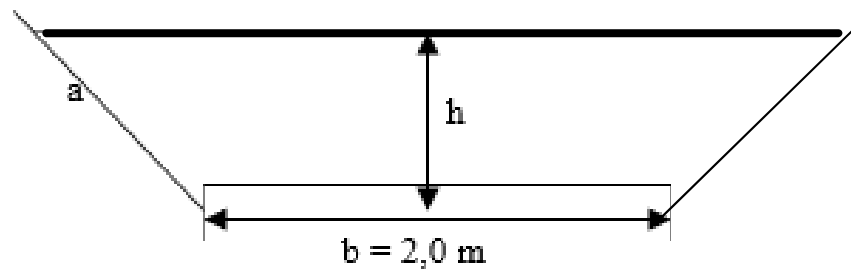
$$Q = 2,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 2,5 \text{ m}^2$$

$$P = 4,5 \text{ m}$$

# Problemas hidráulicamente determinados

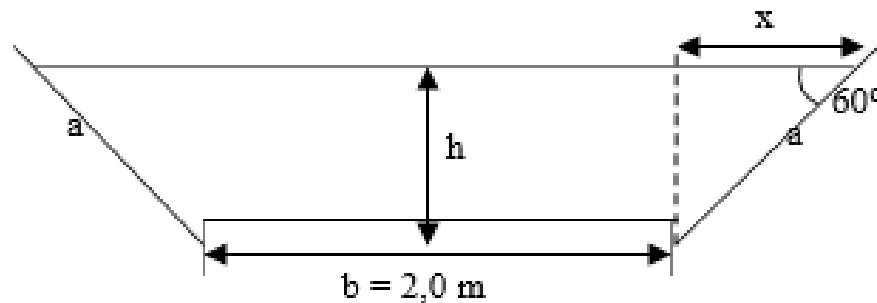
Calcule a V e a Q



$n = 0,014$   
 $m = 1:1$   
 $i = 0,3$  por mil  
 $h = 80$  cm

# Problemas hidráulicamente determinados

Calcular a altura (h) que o canal deverá ter no esquema a seguir.



$$Q = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0,3\text{‰}$$

$$n = 0,013 \text{ (cimento liso)}$$

# Problemas hidráulicamente determinados

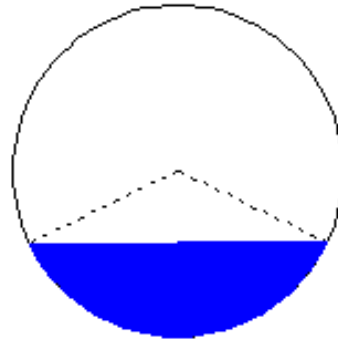
Calcule o diâmetro de um bueiro circular com as seguintes características:

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0,4\text{‰}$$

Material: concreto ( $n = 0,015$ )

Seção molhada:  $h/D = 0,6$



$$Q = \frac{K}{n} \cdot D^{2,667} \cdot i^{0,5}$$

$$D = \left( \frac{Q \cdot n}{K \cdot i^{0,5}} \right)^{0,375}$$

Seção parcial (%)	K
50	0,156
60	0,200
70	0,244
80	0,284
90	0,315
95	0,324
100	0,311