



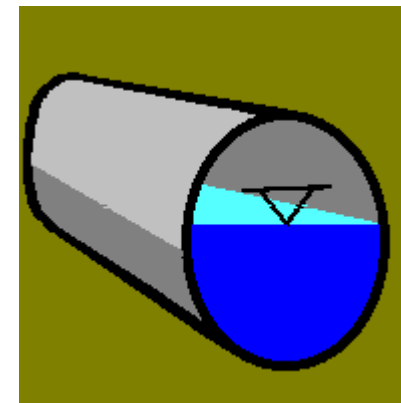
HIDRÁULICA, IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

HIDRÁULICA
CONDUTOS LIVRES & HIDROMETRIA
Abril/2023

Prof. Tamara Gomes

DEFINIÇÃO

Conduitos livres ou canais são conduitos sujeitos à pressão atmosférica em pelo menos um ponto de sua seção de escoamento.



EXEMPLOS DE CONDUTO LIVRE

- Cursos de águas naturais;
- Canais de irrigação;
- Sulcos de irrigação por infiltração;
- Drenos abertos;
- Drenos fechados ou enterrados;
- Terraços;
- Bueiros;
- Galerias pluviais;
- Aquedutos livres;
- Coletores de esgoto.

UTILIZAÇÃO NA ZONA RURAL

Condução e distribuição de água

Conduzem água da fonte de captação até o local de uso. O nível da água no canal deve estar numa cota que permita:

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POR GRAVIDADE

Exemplos de uso: irrigação, condução de água para tanques de criação de peixes, distribuição de resíduos, etc.

UTILIZAÇÃO NA ZONA RURAL

Drenagem

Recolhe água de escoamento superficial ou utilizada em alguma atividade e conduz a um dreno natural. O nível da água no canal deverá estar numa cota **menor** que a cota do local de drenagem.

Exemplos de uso: drenagem de superfície (terraços), de quadras de arroz, de tanques e açudes, etc.

UTILIZAÇÃO NA ZONA RURAL

CANAL DE IRRIGAÇÃO ELEVADO



UTILIZAÇÃO NA ZONA RURAL

CANAIS DE DRENAGEM



TIPOS DE ESCOAMENTO EM CONDUTOS LIVRES

- Movimento Permanente:

(numa determinada seção a vazão permanece constante)

- Uniforme

(seção transversal, profundidade e velocidade constantes)

- Não Uniforme

(seção transversal, e declividade modificada)

- Acelerado

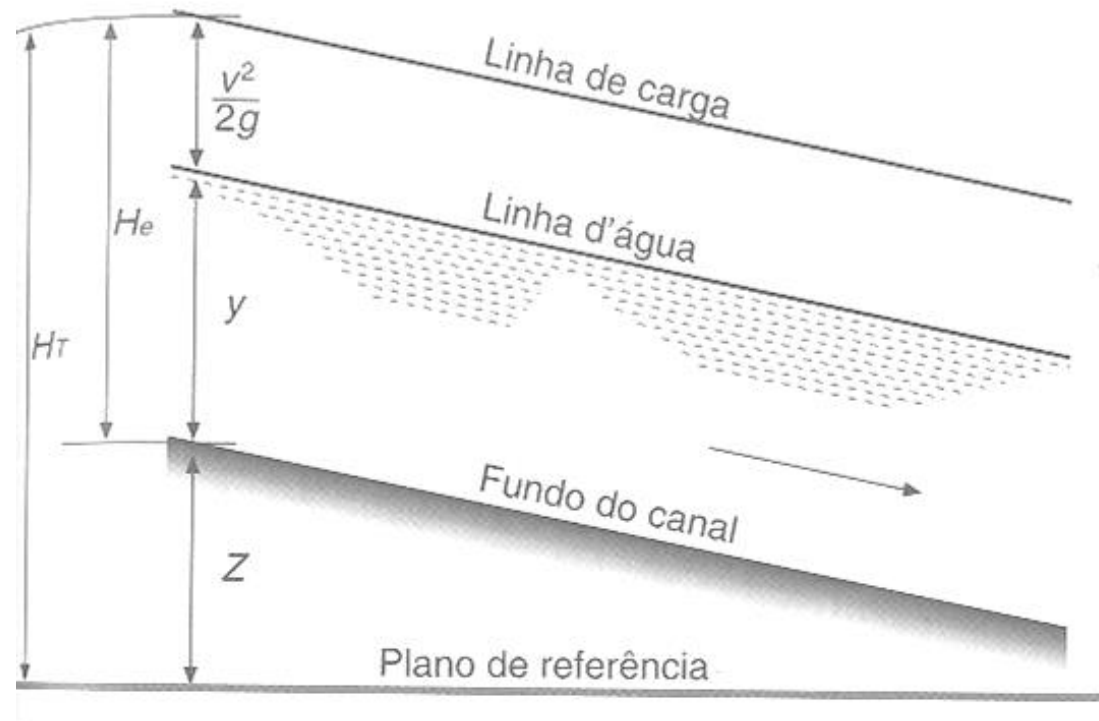
- Retardado

- Movimento Não Permanente.

(vazão variável)

O fluxo permanente uniforme, somente ocorre se o canal for prismático, isto é se os seus lados foram paralelos a um eixo tomado na direção do escoamento e sua declividade for constante

CARGA ESPECÍFICA



$$H_T = Z + y + \frac{V^2}{2g}$$

Tomando como referência o próprio fundo do canal

$$H_e = y + \frac{V^2}{2g}$$

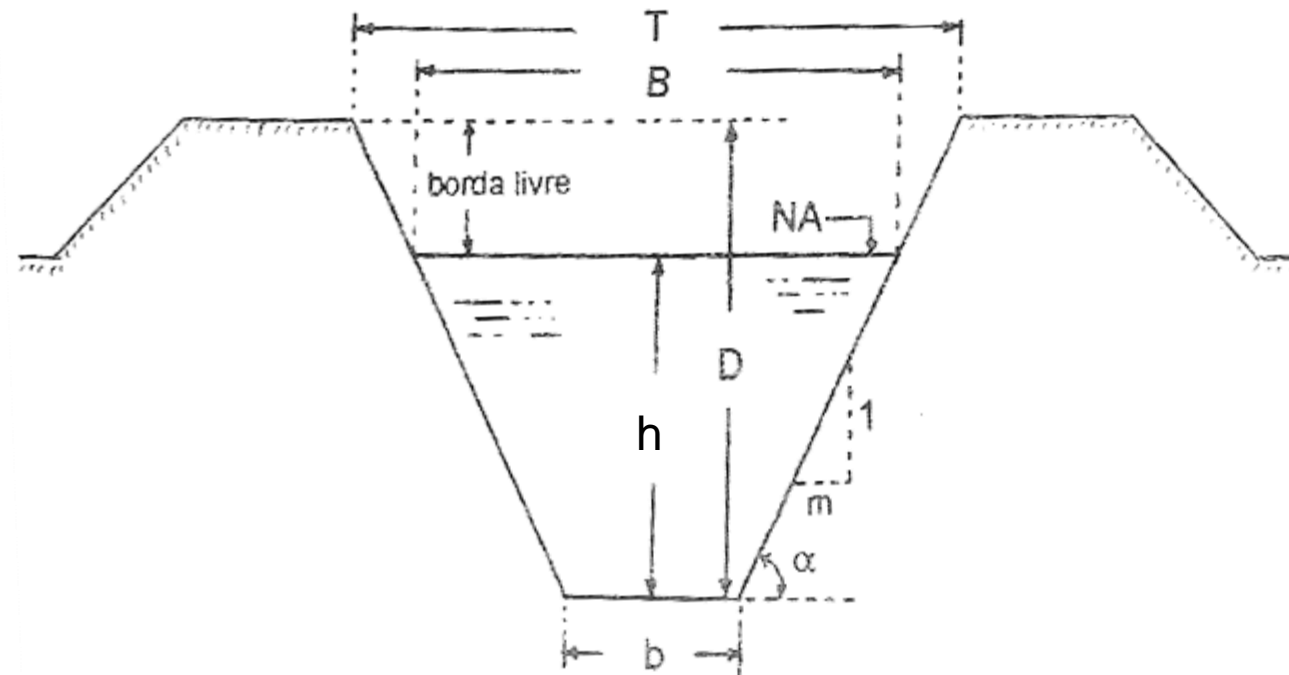
H_e - Carga específica

CARGA ESPECÍFICA

No escoamento permanente uniforme, a linha de carga se inclina paralelamente ao fundo do canal. A carga específica, porém, permanece constante ao longo do canal, uma vez que a profundidade e a velocidade de escoamento não variam.

No caso do escoamento permanente não uniforme, a linha de carga segue o mesmo padrão anterior. Nesse tipo de escoamento, a carga específica pode aumentar ou diminuir, dependendo da declividade, da profundidade de escoamento do canal, bem como, da sua rugosidade.

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS



T = largura do topo do canal;
 B =largura da superfície livre da água;
 D =profundidade total do canal;
 h =profundidade de escoamento;
 b =largura do fundo do canal;
 α =inclinação do talude;
 m =cotangente do ângulo α .

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS

Seção transversal do canal: corresponde a seção transversal plena do canal, normal à direção do escoamento da água no canal. Mais utilizados são os prismáticos.

Seção molhada (A): é a parte da seção transversal do canal que é totalmente ocupada pela água.

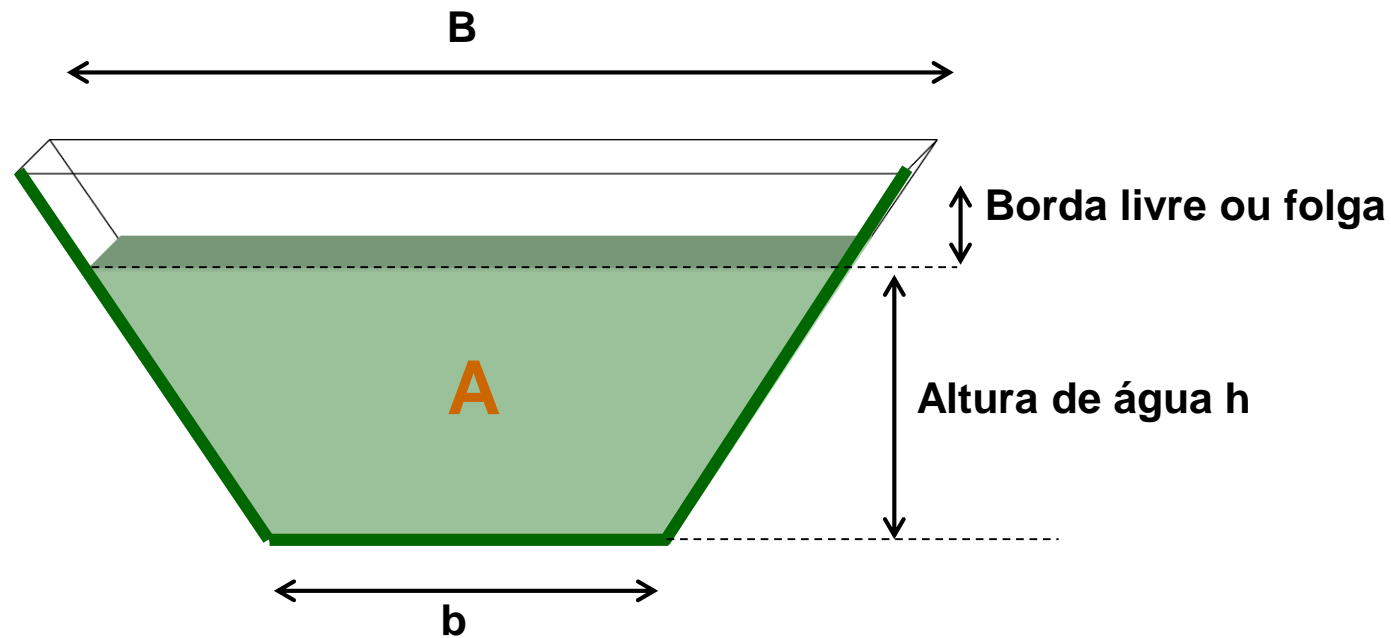
Perímetro molhado (P): corresponde a soma dos comprimentos relativos ao fundo e aos taludes do canal que estão em contato direto com a água.

Raio hidráulico (R_h): é a razão entre a seção molhada e o perímetro molhado do canal.

Borda livre: corresponde a distância vertical entre o nível máximo de água no canal e o topo de seu banco.

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS

Seção transversal (S) e área molhada (A)



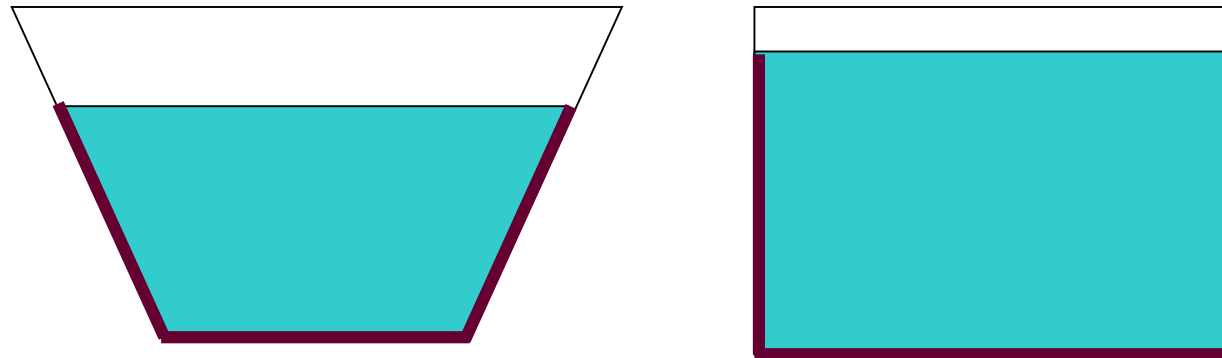
A seção transversal S engloba toda a área de escavação para construção do canal (definida pela linha verde);

A seção molhada A é aquela ocupada pela água durante o escoamento e pode variar de acordo com a vazão do canal.

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS

Perímetro molhado (P)

É a linha que limita a seção molhada junto às paredes e ao fundo do canal (a linha d'água não conta como perímetro molhado).



Nas figuras acima o perímetro molhado do canal trapezoidal e do canal retangular estão definidos pela **linha vinho**.

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS

Raio hidráulico (Rh)

Raio hidráulico é a relação entre a seção molhada (A) e o perímetro molhado (P) de um canal.

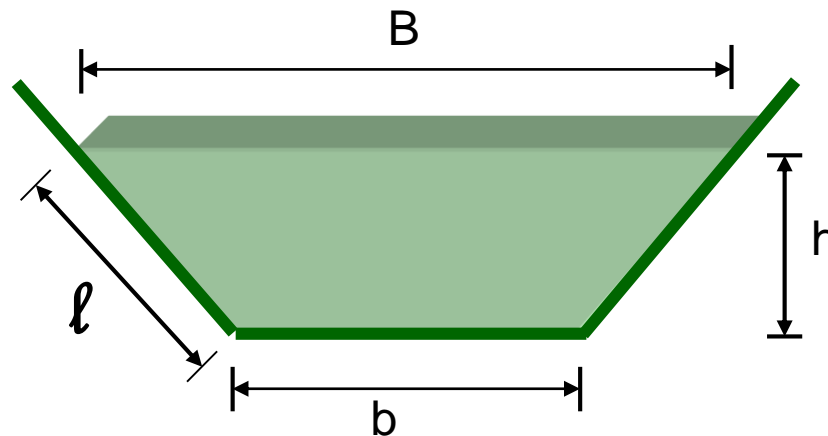
$$Rh = \frac{A}{P}$$

FORMAS GEOMÉTRICAS

A maioria dos canais apresentam seção transversal de formato trapezoidal, retangular ou triangular

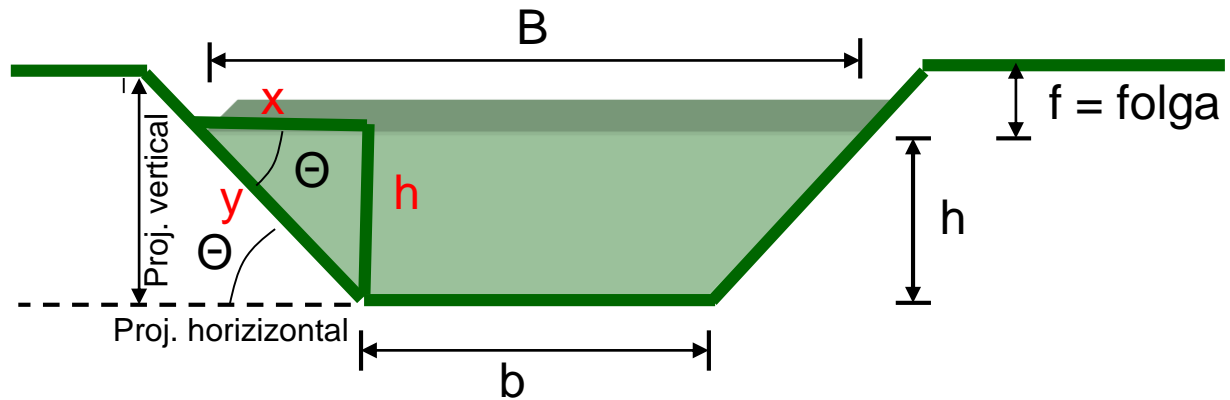
O canal de **seção trapezoidal** é o mais utilizado por várias razões:

- é hidraulicamente eficiente, devido ao fato de sua área molhada ser grande em relação ao seu perímetro molhado;
- os taludes são adequados para construção de canais em terra, uma vez que a sua inclinação pode ser ajustada para um ângulo que dê estabilidade ao materiais utilizados.



FORMAS GEOMÉTRICAS

a) SEÇÃO TRAPEZOIDAL:



$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{\text{proj. vertical}}{\text{proj. horizontal}}$$

$$\cotg \Theta = \frac{\text{proj. horizontal}}{\text{proj. vertical}} = m$$

ondem = inclinação do talude {1%; 1,5%; 2%; etc.

Área de 2 Triângulos:

$$2 \times \left(\frac{h \times x}{2} \right)$$

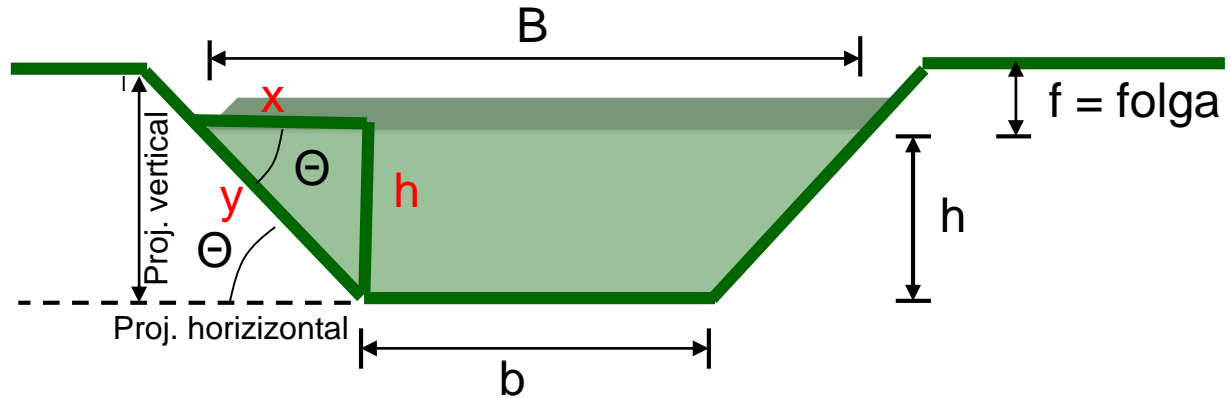
$$\cotg \theta = \frac{x}{h} \rightarrow x = h \times \cotg \theta \rightarrow x = h \times m$$

$$\therefore \text{Área de 2 Triângulos} = h^2 \times m$$

$$A = b \times h + m \cdot h^2$$

FORMAS GEOMÉTRICAS

a) SEÇÃO TRAPEZOIDAL:



$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{\text{proj. vertical}}{\text{proj. horizontal}} \Rightarrow \boxed{\operatorname{cotg} \Theta = \frac{\text{proj. horizontal}}{\text{proj. vertical}} = m}$$

ondem = inclinação do talude {1%; 1,5%; 2%; etc.

$$\text{Perímetro-P} = b + 2y$$

$$y^2 = h^2 + x^2 \rightarrow y^2 = h^2 + (h^2 + m^2) \rightarrow h \times \sqrt{1 + m^2}$$

$$\boxed{P = b + 2h \cdot \sqrt{m^2 + 1}}$$

Área de 2 Triângulos:

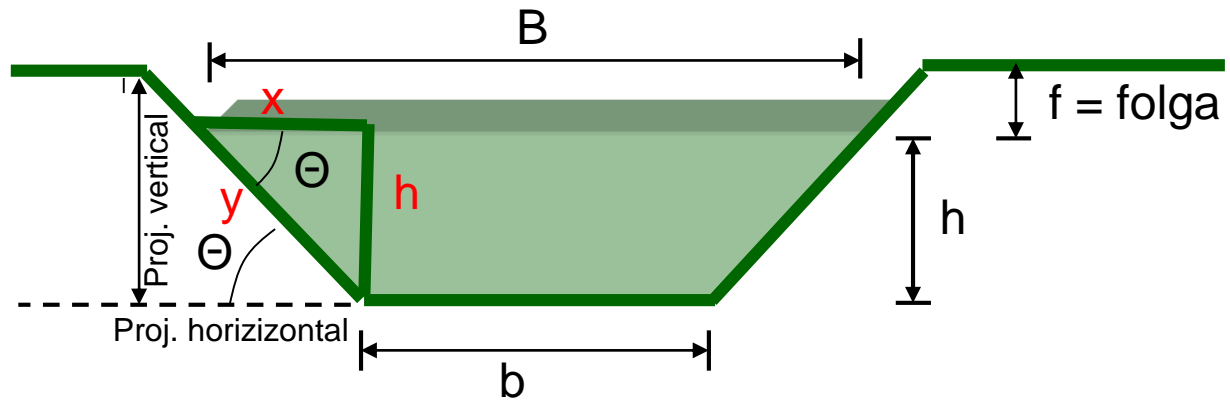
$$2 \times \left(\frac{h \times x}{2} \right)$$

$$\operatorname{cotg} \theta = \frac{x}{h} \rightarrow x = h \times \operatorname{cotg} \theta \rightarrow x = h \times m$$

$$\therefore \text{Área de 2 Triângulos} = h^2 \times m$$

FORMAS GEOMÉTRICAS

a) SEÇÃO TRAPEZOIDAL:



$$A = b \times h + m \cdot h^2$$

$$P = b + 2h \cdot \sqrt{m^2 + 1}$$

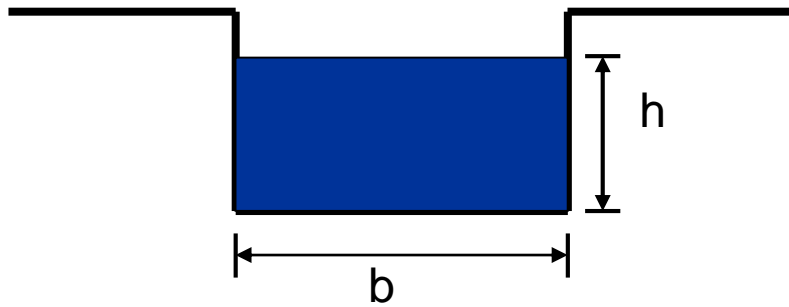
$$R = \frac{b \times h + m \cdot h^2}{b + 2h \cdot \sqrt{m^2 + 1}}$$

FORMAS GEOMÉTRICAS

Nas duas próximas seções, retangular e triangular, são casos especiais de um canal trapezoidal

b) SEÇÃO RETANGULAR:

Nesta seção o ângulo de inclinação do talude é 90° , como $\cotg 90^\circ=0$, conseqüentemente $m=0$.



$$A = b \times h$$

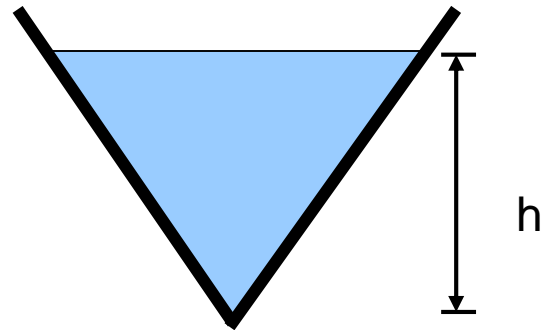
$$P = h + b + h$$

$$R = \frac{b \times h}{(2h + b)}$$

FORMAS GEOMÉTRICAS

b) SEÇÃO TRIANGULAR:

Esta seção também é um caso especial da seção trapezoidal, no qual a largura do fundo do canal é nula ($b=0$).



$$A = m \times h^2$$

$$P = 2h \cdot \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{m \cdot h}{2 \cdot \sqrt{m^2 + 1}}$$

CANAL TRAPEZOIDAL ESCAVADO EM TERRA



CANAL TRAPEZOIDAL REVESTIDO



CALHAS SEMICIRCULARES EM POLIETILENO PARA CANAIS

Semi-Circular 24"

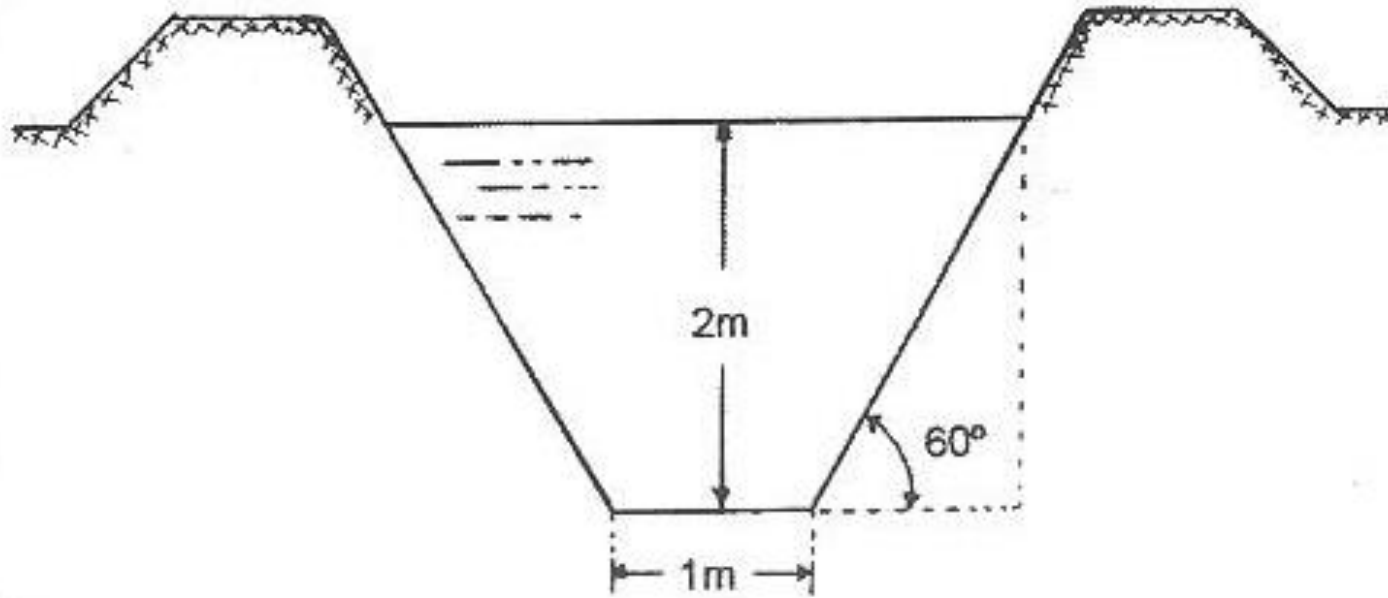


24 inch ditch liner system has capacity to move 19.21 cubic feet per second at a 1/2% slope, with a Mannings coefficient of 0.018.



EXERCÍCIO

Calcular a área molhada (A), o perímetro molhado (P) e o raio hidráulico (R) para o canal esquematizado na figura.



$$m = \cotg 60^\circ = 0,577$$

$$A = (1 \times 2) + (0,577 \times 2^2) = 4,31m^2$$

$$P = 1 + (2 \times 2) \times \sqrt{0,577^2 + 1} = 5,77m$$

$$R_h = \frac{4,31}{5,77} = 0,77m$$

$$A = b \times h + m \cdot h^2$$

$$P = b + 2h \cdot \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{b \times h + m \cdot h^2}{b + 2h \cdot \sqrt{m^2 + 1}}$$

REVESTIMENTO

Objetivos:

- Reduzir perdas por infiltração durante a condução de água
- Evitar o crescimento de vegetação
- Evitar o desmoronamento das paredes do canal

Materiais para revestimento:

- Concreto;
- Lona plástica, manta de borracha;
- Alvenaria de tijolos ou pedras;
- Compactação, solo-cimento;
- Uso de pré-moldados: canaletas de concreto, plástico, etc.

REVESTIMENTO



REVESTIMENTO EM ALVENARIA DE TIJOLOS



DESMORONAMENTO E CRESCIMENTO DE VEGETAÇÃO EM CANAIS



PERDAS DE ÁGUA POR INFILTRAÇÃO EM CANAIS NÃO-REVESTIDOS

A decisão de se revestir ou não um canal é feita comparando-se o custo decorrente do seu revestimento com o custo de bombeamento da água perdida por infiltração.

Perdas de água por infiltração em canais não revestidos

Material do canal	Infiltração (m ³ /m ² .dia)
Franco argiloso impermeável	0,018 a 0,107
Franco argiloso com substrato impermeável	0,107 a 0,152
Franco argiloso, solo siltoso	0,152 a 0,229
Franco argiloso com pedregulho	0,229 a 0,305
Franco arenoso	0,305 a 0,457
Franco arenoso solto	0,457 a 0,553
Franco arenoso com cascalho	0,610 a 0,762
Solo cascalhento	0,762 a 0,914

ELEMENTOS QUE CARACTERIZAM OS CANAIS

Velocidade de escoamento da água nos canais

O custo de investimento em um canal é diretamente proporcional as suas dimensões. Assim, ele será tanto menor quanto maior a velocidade média de escoamento da água no canal e vice-versa.

A utilização de velocidades de escoamento altas está limitada pela capacidade das paredes e do fundo do canal resistirem à ação das forças erosivas devidas ao escoamento da água.

Por outro lado, velocidades baixas implicam em canais de grande dimensões, no aparecimento de plantas aquáticas e no seu assoreamento pela deposição do material em suspensão na água.

ELEMENTOS QUE CARACTERIZAM OS CANAIS

Velocidade de escoamento da água nos canais

A velocidade adotada nos cálculos será um valor médio, já que na seção molhada, a velocidade varia com a posição e com a profundidade considerada.

- Junto às margens e ao fundo do canal, o atrito da água contra essas superfícies sólidas, reduz a velocidade.
- No centro do canal, um pouco abaixo da superfície (devido à resistência oferecida pelo ar na superfície), a velocidade será máxima.

ELEMENTOS QUE CARACTERIZAM OS CANAIS

Velocidade de escoamento da água nos canais



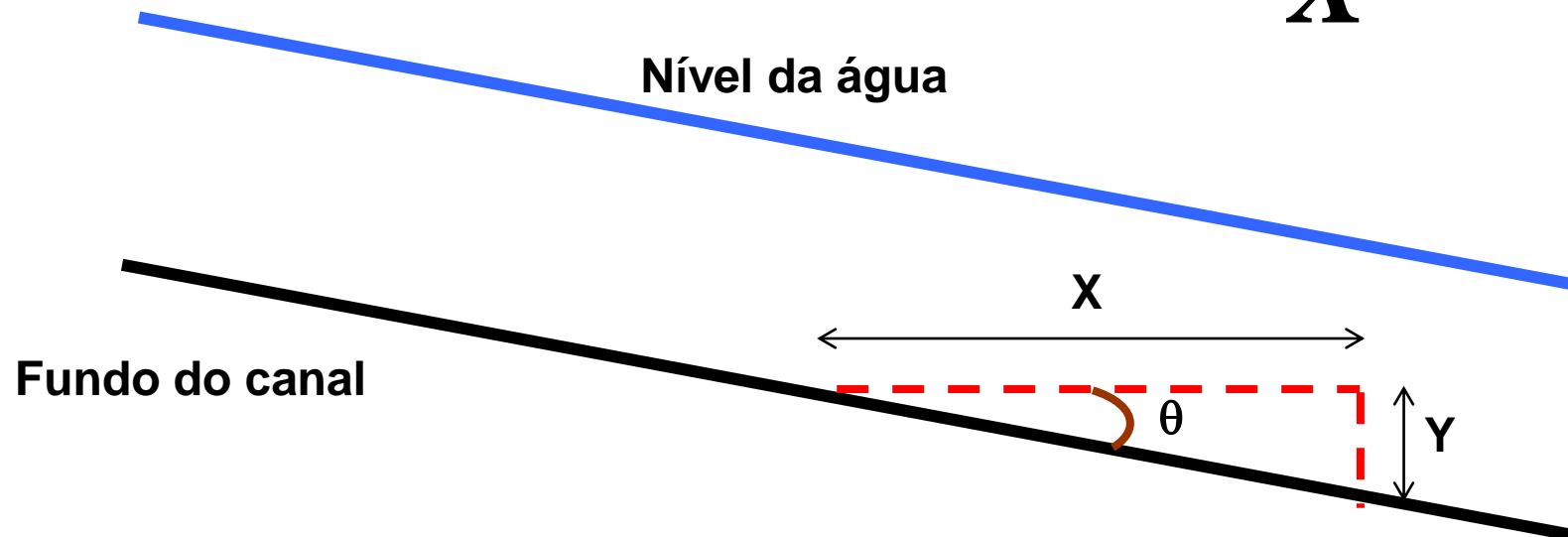
Velocidades médias máximas recomendadas para que não ocorra erosão no canal.

Tipo de solo	Velocidade média máxima recomendada (m/s)
Arenoso	0,3 a 0,7
Barro-arenoso	0,5 a 0,7
Barro-argiloso	0,6 a 0,9
Argiloso	0,9 a 1,5
cascalho	0,9 a 1,5
Rocha	1,2 a 1,8

ELEMENTOS QUE CARACTERIZAM OS CANAIS

Declividade do canal (I)

$$I = \frac{Y}{X} = \tan\theta$$



A **declividade I** define a inclinação do fundo do canal em relação ao plano horizontal.

ELEMENTOS QUE CARACTERIZAM OS CANAIS

Declividade do canal (I)

Para canais de irrigação e de drenagem de pequenas dimensões, os valores usuais de **I** variam entre **0,1 e 0,4%**, ou seja:

- 0,001 m de desnível por metro de comprimento de canal até,
- 0,004 m de desnível por metro de comprimento de canal.

DECLIVIDADE DOS CANAIS



Curvas podem ser necessárias para adaptação ao relevo do terreno.



Degraus podem ser necessários para manter a declividade.

NÚMERO DE REYNOLDS E FROUDE

O número de Reynolds (Re) e de Froude (N_F) são os dois números adimensionais normalmente utilizados na definição do tipo de escoamento que ocorre em um canal.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{V \times R_h}{\nu}$$

V = velocidade média do escoamento (m/s);

R_h = raio hidráulico do canal (m);

ν = viscosidade cinemática (m²/s)

Re ≤ 500 – fluxo laminar

Re ≥ 2.000 – fluxo turbulento

500 > Re < 2.000 - transição

Número de Froude – Escoamento permanente não uniforme

$$N_F = \frac{V}{\sqrt{g \times y_h}} \quad y_h = \frac{A}{B}$$

V = velocidade média do escoamento (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

y_h = profundidade hidráulica (m);

A = área molhada (m²);

B = borda livre de água (m)

$N_F = 1$ – fluxo crítico

$N_F > 1$ – fluxo supercrítico

$N_F < 1$ – fluxo subcrítico

Dimensionamento em condutos livres

O que é de interesse determinar:

- A dimensão do canal necessária para conduzir uma determinada vazão do fluido (R_H ; P ; A); sendo a vazão e a velocidade compatível ao deslocamento desse fluido nas superfícies das paredes do canal.
- A inclinação necessária para que um canal com uma área determinada conduza uma determinada vazão de fluido;
- Determinar e comparar a velocidade de deslocamento do fluido em um canal com área e inclinação pré – definida.

Existem várias fórmulas práticas para dimensionamento de condutos livres em regime permanente uniforme.

Ex: Chezy (1775); Bazin (1897) e Manning (1890).

Equação de Manning:

$$v = \frac{R_H^{2/3} \cdot i^{1/2}}{n}$$



Sendo:

v = velocidade de deslocamento do fluido (m/s);

R_H = raio hidráulico (m);

i = declividade do fundo do canal (m/m);

n = coeficiente de rugosidade (natureza das paredes) ($s/m^{1/3}$).

PARA VAZÃO:

$$Q = A \cdot v \Rightarrow \quad \text{como } v = \frac{R_H^{2/3} \cdot i^{1/2}}{n} \Rightarrow$$

$$Q = A \times \frac{R_H^{2/3} \cdot i^{1/2}}{n}$$

Sendo:

Q = vazão (m³/s);

A = área molhada (m²);

R_H = raio hidráulico (m);

i = declividade do fundo do canal (m/m);

n = coeficiente de rugosidade (natureza das paredes) (s/m^{1/3}).

PARA INCLINAÇÃO:

$$i = \left(\frac{Q \times n}{A \times R_H^{2/3}} \right)^2 \Rightarrow \text{como } Q = A \times v \Rightarrow v = \frac{Q}{A} \text{ então.}$$

$$i = \left(\frac{v \times n}{R_H^{2/3}} \right)^2$$

Sendo:

i = inclinação (m/m);

v = velocidade de deslocamento do fluido (m/s);

R_H = raio hidráulico (m);

n = coeficiente de rugosidade (natureza das paredes) (s/m^{1/3}).

PARA INCLINAÇÃO:

Unidades

$$i = \left(\frac{Q \times n}{A \times R_H^{2/3}} \right)^2 \Rightarrow \left(\frac{\frac{m^3}{s} \times \frac{s}{m^{1/3}}}{m^2 \times m^{2/3}} \right)^2 \Rightarrow \left(\frac{m^3 \times m^{-1/3}}{m^2 \times m^{2/3}} \right)^2 \Rightarrow m \times m$$

Sendo:

i = inclinação (m/m);

v = velocidade de deslocamento do fluido (m/s);

R_H = raio hidráulico (m);

n = coeficiente de rugosidade (natureza das paredes) (s/m^{1/3}).

DIMENSIONAMENTO EM CONDUTOS LIVRES

TIPOS DE PROBLEMAS:

1º) Conhecendo n , I , A e R_h , calcular Q (resolução direta);

Exemplo: Saber a vazão em canal já construído ou formado por unidades pré-moldadas.

2º) Conhecendo n , A , R_h e Q , calcular I (resolução direta);

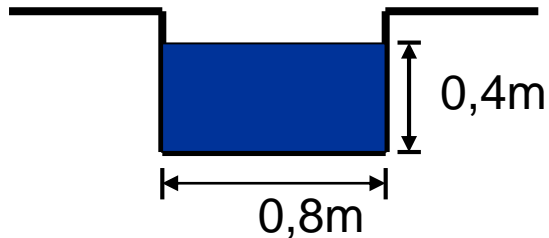
Exemplo: Saber qual deverá ser a declividade do canal.

3º) Conhecendo Q , n e I , calcular A e R_h (por tentativas).

Exemplo: Definir que forma deverá ter o canal.

EXERCÍCIO:

Calcular a declividade média de um canal revestido de concreto ($n=0,015 \text{ s/m}^{1/3}$), de seção retangular, com 80cm de base e 40cm de lâmina de água, para transportar uma vazão de 150 L/s.



$$n=0,015 \text{ s/m}^{1/3}$$
$$Q=0,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 0,8 \times 0,4 = 0,32 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times h + b \Rightarrow P = 2 \times (0,4) + 0,8 = 1,6 \text{ m}$$

$$Rh = \frac{0,32}{1,6} = 0,20 \text{ m}$$

$$i = \left(\frac{Q \times n}{A \times R_H^{2/3}} \right)^2$$

$$i = \left(\frac{0,15 \times 0,015}{0,32 \times (0,20)^{2/3}} \right)^2$$

$$i = 0,00042 \text{ m/m ou } 0,042\%$$

EXERCÍCIO:

Cálculo para o terceiro tipo de problema:

Deseja-se construir um canal para conduzir água até uma lavoura de arroz irrigado por inundação. O canal deverá ter seção transversal **trapezoidal, retilínea e uniforme** em todo o seu comprimento e **declividade de 0,4%**. A vazão a ser transportada é de **0,31 m³/s**.

Dimensione a seção transversal deste canal (forneça todas as dimensões esquematizadas num desenho), considerando que a **velocidade média da água não deve ultrapassar 0,9 m/s** e a inclinação lateral das paredes (**m**) deve ser de **1,5**.

Com relação à natureza das paredes, utilize o coeficiente de Manning para canais com paredes de terra, retos, uniformes e em bom estado (**n = 0,025**).

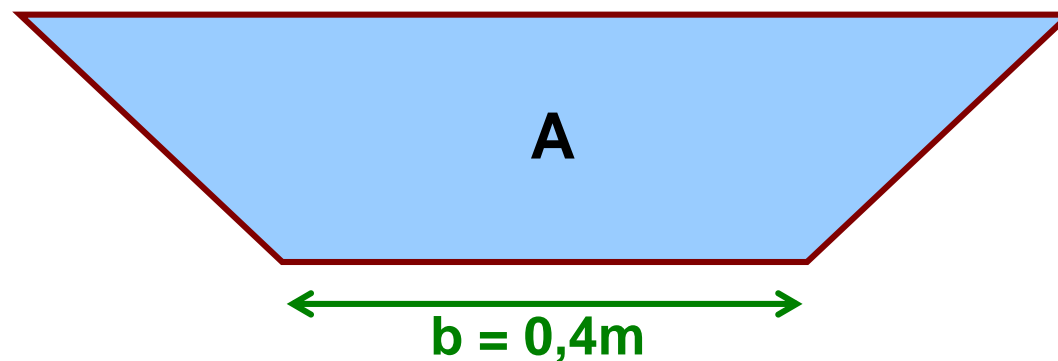
Passos para a resolução do problema:

Haverá duas variáveis indefinidas neste tipo de problema, **h** e **b**, já que **m** foi definido pelo tipo de solo. Para resolver o problema deveremos pré-definir uma delas e trabalhar com a outra, fazendo tentativas.

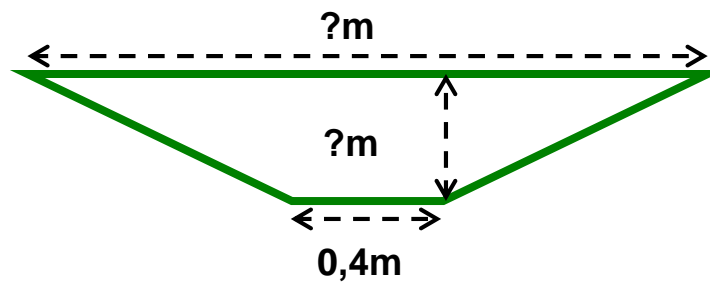
Iniciaremos escolhendo qual valor será estabelecido, **h** ou **b**. Neste exemplo vamos supor que o valor de **b** tenha que ser definido em função das dimensões da caçamba da retroescavadora que será contratada para construir o canal.

Definiremos **b = 0,4m**. A seguir atribuiremos um valor qualquer para **h** e daremos prosseguimento aos cálculos, até encontrarmos as dimensões para a vazão de **0,31 m³/s**.

Todos os cálculos referem-se à seção
molhada **A**:



Considerando uma borda livre para evitar transbordamentos de 0,13m, as dimensões da seção transversal S do canal serão?



HIDROMETRIA

Introdução

Diante a preocupação do uso racional dos recursos hídricos é de grande importância a utilização de processos para a determinação das medidas hidráulicas – *Hidrometria*

- profundidade;
- variação do nível da água;
- seções de escoamento;
- pressões;
- velocidade;
- vazões, etc.

Objetivo

Apresentação dos principais métodos e instrumentos para a medida da *velocidade* e *vazão* em condutos *livres* e *forçados*.

A escolha do melhor método ???

- *volume de água;*
- *das condições locais;*
- *precisão desejada;*
- *custo.*

Condutores Livres

estão sujeitos à pressão atmosférica em pelo menos um ponto da sua seção do escoamento.

Método Direto

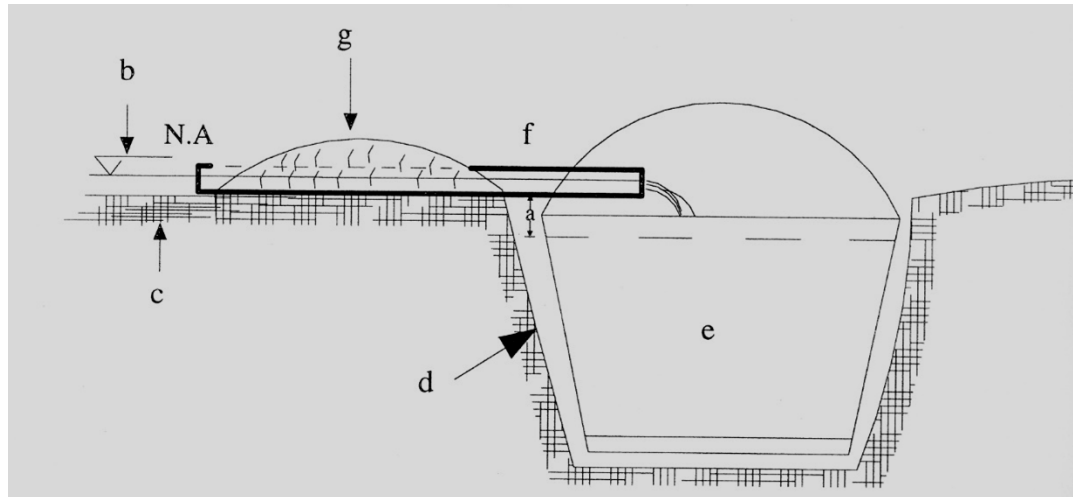
Princípio: medida do tempo para enchimento de um recipiente de volume conhecido.

Utilização: fontes, riachos, bicas e canalizações de pequeno diâmetro.

Conduitos Livres

Método Direto

Volumétrico



$$Q = \frac{V}{t}$$

Q (L/s); V (L) e t (s)

$$Q_{med} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}$$

Vazão em sulco de Irrigação

A – 4 cm ; b – N.A.; c – fundo do sulco; d- trincheira;

e – recipiente; f – calha ou cano; g- dique

Conduitos Livres

Método Direto

Gravimétrico

Pesagem de um determinado volume de água obtido em um determinado tempo.

$$Q = \frac{\textit{Peso}}{\gamma \times t}$$

Q (m³/s); Peso (kg); γ (Kg/m³) e t (s)

Conduitos Livres

Vertedor

são simples aberturas ou entalhes, na parte superior de uma parede, por onde o líquido escoar

Utilização: pequenos cursos d' água, canais ($10 < Q < 300 \text{ L/s}$), principal utilização se dá na medição e controle da vazão em canais de irrigação.

- empregar vertedor já experimentado;
- toda água deve passar no vertedor.

Conduitos Livres

Vertedor

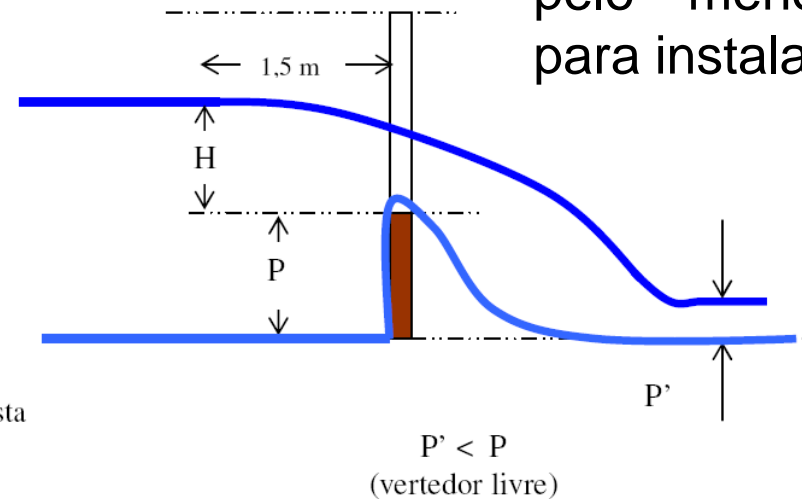
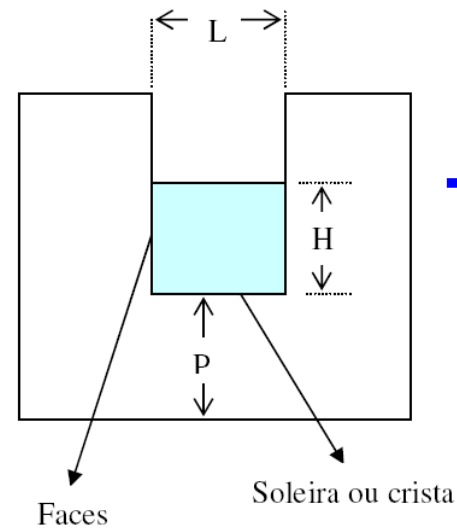


Vertedor retangular e triangular.

Conduitos Livres

Vertedor

$$P \geq 2H; 5 \text{ cm} \leq H \leq 60 \text{ cm}$$

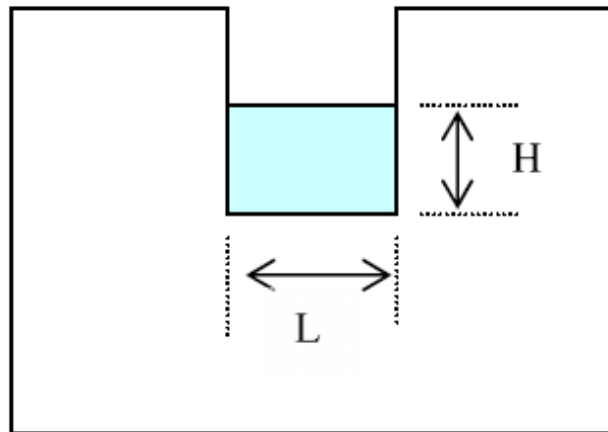


Escolher um trecho retilíneo de pelo menos 3m para instalação.

L – largura da soleira; H – altura da lâmina d' água;
 P -distância do fundo d' água a soleira; P' -
profundidade do curso de água à jusante

Condutores Livres

Vertedor



Vertedor Retangular

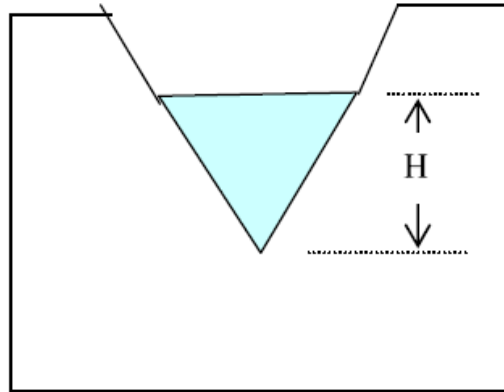
$$Q = 1,84 \cdot L \cdot H^{3/2}$$

$$(Q = \text{m}^3/\text{s}; H = \text{m}; L = \text{m})$$

Fórmula de Francis

Condutores Livres

Vertedor



Vertedor Triangular

$$Q = 1,4 \cdot H^{5/2}$$

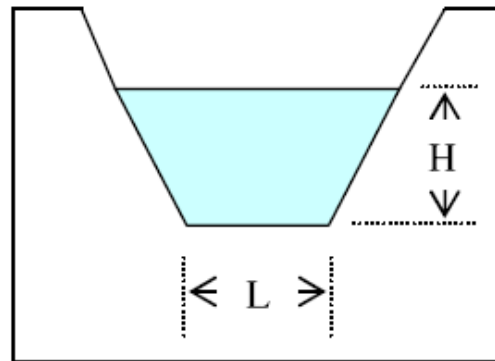
($Q = \text{m}^3/\text{s}$; $H = \text{m}$; $\theta = 90^\circ$)

Fórmula de Thompson

Boa precisão para pequenas vazões (30 L/s), embora também tenham bom desempenho para medir descargas até 300L/s.

Conduitos Livres

Vertedor



Vertedor Trapezoidal

$$Q = 1,86 \cdot L \cdot H^{3/2}$$

$$(Q = \text{m}^3/\text{s} ; H = \text{m} ; L = \text{m})$$

Fórmula de Cipolletti

Conduitos Livres

Medidores de Regime Crítico - Calhas

Pode constituir em simples **estrangulamento** adequado de seção, no **rebaixo**, ou na **elevação** do fundo, ou ainda numa **combinação** conveniente dessas singularidades, capaz de ocasionar o regime livre de escoamento.

Conduitos Livres

Medidores de Regime Crítico - Calhas

Uma calha é um equipamento de medição, construído ou instalado em um canal, que permite a determinação da sua descarga através de uma relação cota-vazão estável.

É representada por uma **seção inicial convergente**, que serve para direcionar o fluxo para uma **seção contraída**, denominada de **garganta**. Após a garganta, se inicia uma **seção divergente**, cuja a função é retornar o fluxo de água ao canal.

Conduto Livres

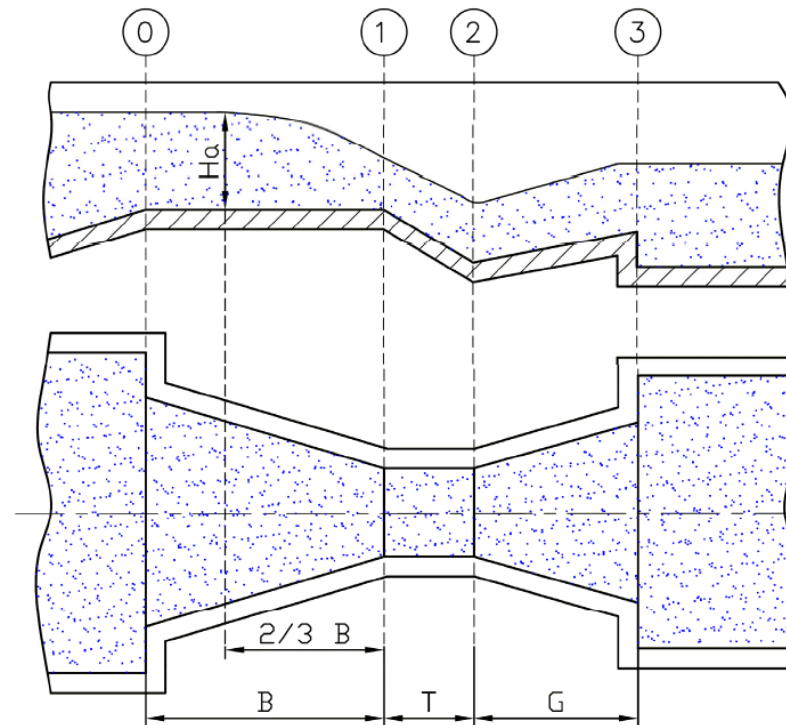
Medidores de Regime Crítico

Medidor Parshall

A garganta da calha atua como uma seção de controle, onde ocorrem velocidade e altura de escoamento crítico, permitindo a determinação da vazão, através de uma única leitura do nível de água na seção convergente da calha.

$$Q = a \cdot H^b$$

a , b → coeficientes experimentais
H → altura (cm)
Q → vazão (l/s)



Vazões variando de 0,30 a 85.000 L/s.

Conduto Livres

Medidores de Regime Crítico

Medidor Parshall

Vantagens:

- grande facilidade de construção e baixo custo;
- não há formação de depósitos;
- tamanhos variados ensaiados;
- emprego de diversos materiais.

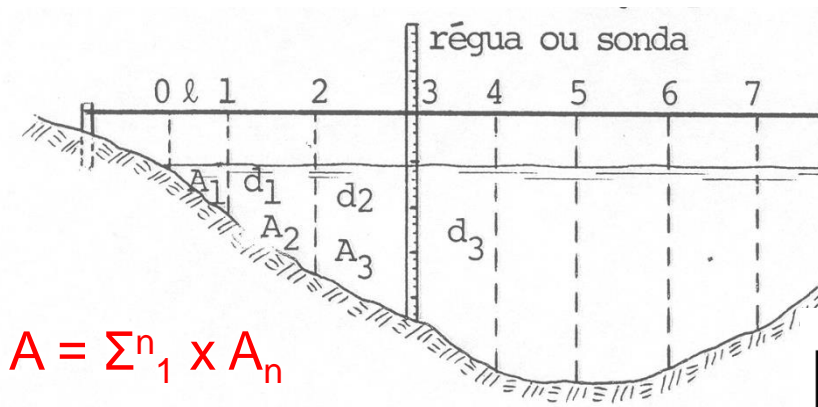


Condutos Livres

Flutuador

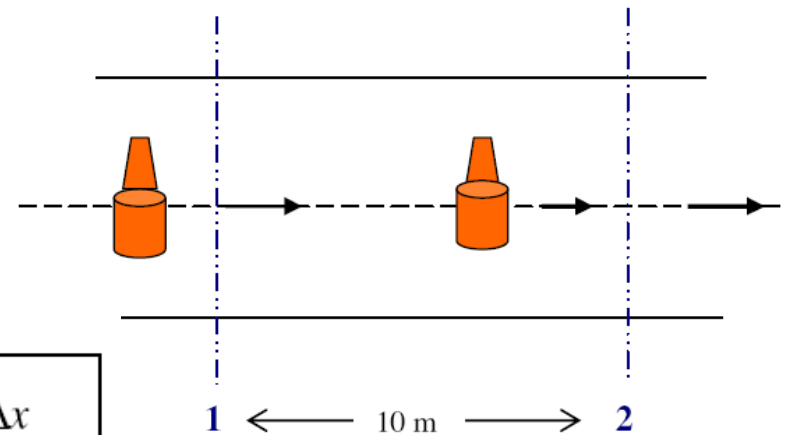
Consiste em determinar a vazão, conhecendo-se a área da seção transversal de escoamento do curso d' água e a velocidade da corrente

$$Q = V_{med} \times A$$



$$A = \sum_{n=1}^n A_n$$

Determinação da velocidade



$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Escolher um trecho retilíneo

Conduto Livres

Molinete

São aparelhos constituídos de palhetas, hélices ou conchas móveis, que são impulsionadas pelo líquido.

O número de rotações em um determinado tempo é proporcional à velocidade da corrente.



OTT Molinete Universal C31

Para cada molinete existe
uma curva de calibração

$$Q = V_{med} \times A$$

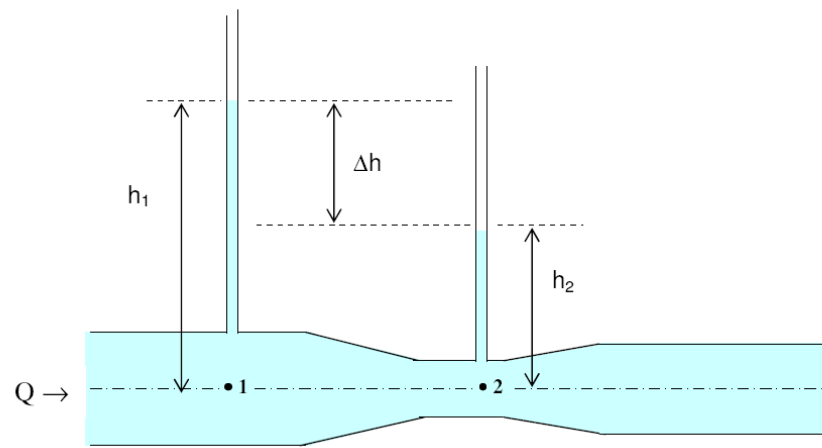
Condutores Forçados (Tubulações)

Método Direto

Venturi

Princípio: o fluxo que passa através de uma seção contraída tem a sua velocidade acelerada, reduzindo a carga de pressão. Conhecendo-se as seções do tubo e da constricção, a vazão pode ser conhecida pela medição da queda de pressão

Diâmetro da garganta deve ter $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ o diâmetro da tubulação



$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = h_1 - h_2 = \Delta h$$

$$Q = c_v A_d \sqrt{\frac{2g\Delta h}{1 - \left(\frac{A_d}{A_D}\right)^2}}$$

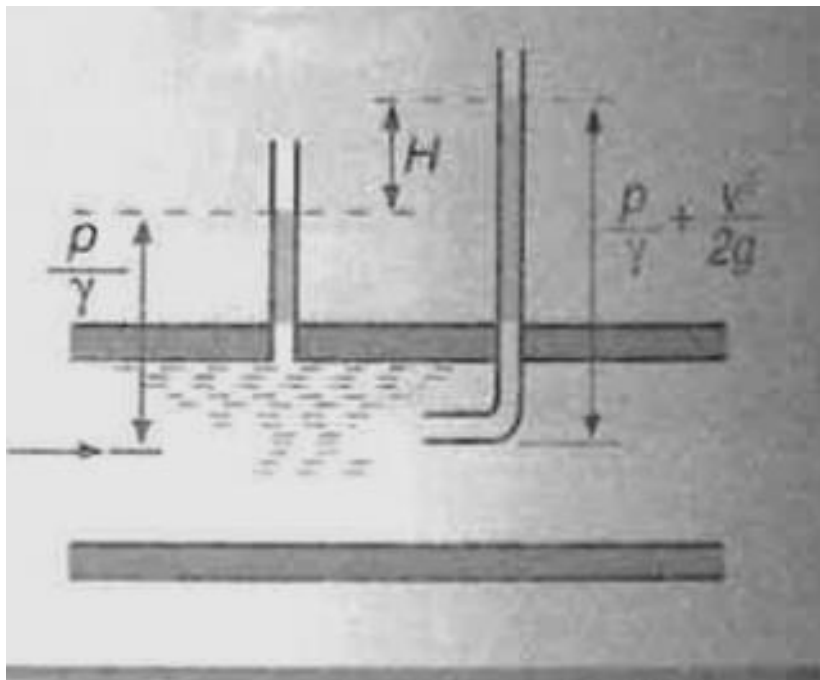
Em que: c_v coeficiente de vazão

Conduitos Forçados (Tubulações)

Método Direto

Tubo de Pitot – medida da velocidade

O tubo de Pitot consiste em um tubo com uma extremidade recurvada em direção à corrente da água. O tubo interno mede a energia total do escoamento, a soma das energias de pressão e cinética, enquanto o tubo externo mede a energia de pressão estática.



$$H = \frac{V^2}{2 \times g}$$

$$V = \sqrt{2 \times g \times H}$$

$$V = C_v \times \sqrt{2 \times g \times H}$$

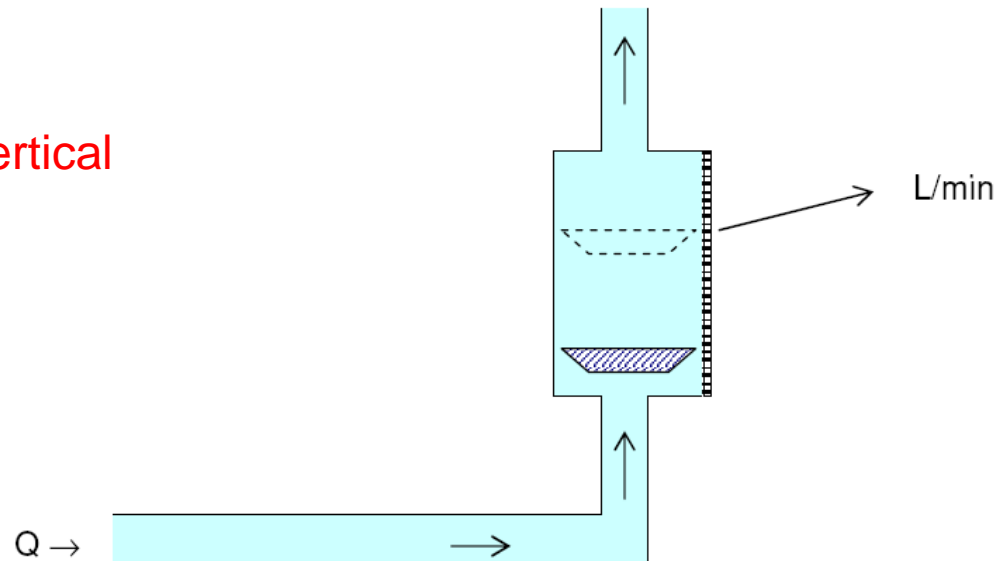
Em que: c_v coeficiente de vazão

Condutores Forçados (Tubulações)

Fluxômetros (Rotâmetro)

Princípio: é constituído por um tubo cônico transparente, no qual passa o líquido cuja vazão deve ser medida, existindo um flutuador de forma adequada, que se desloca com o movimento do líquido.

Deve sempre ser instalado na vertical e com fluxo ascendente.



Conduto Forçados (Tubulações)

Hidrômetros

Princípio: são destinados à medição da quantidade de líquido que escoa em intervalos de tempo relativamente grande

- Hidrômetro de velocidade (tipo turbina);
- Hidrômetro de volume (compartimento que enche e esvazia continuamente)



Hidrômetro Woltmann