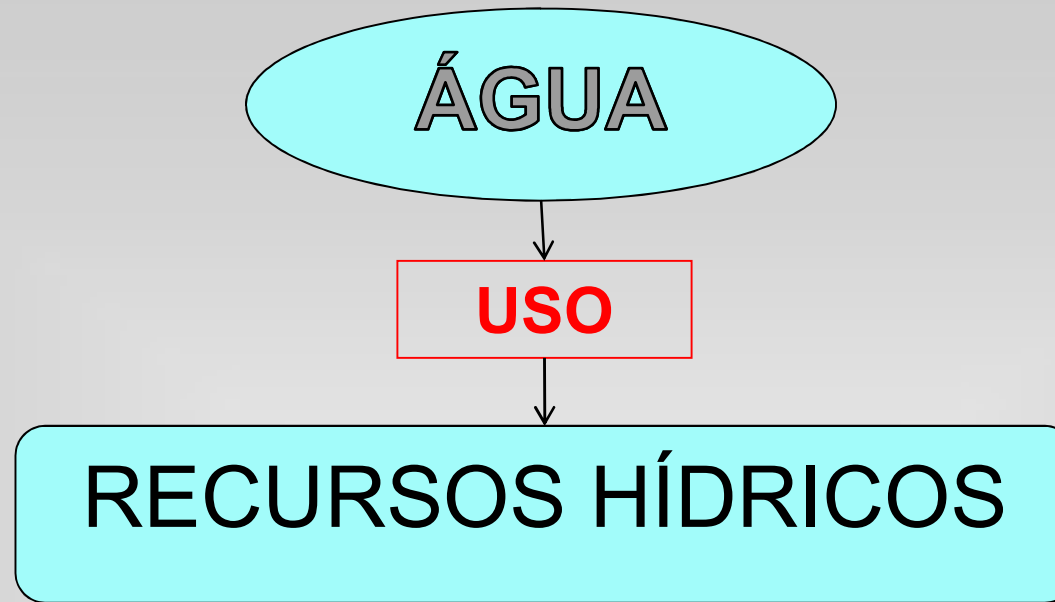


CAPACITAÇÃO EM SEGURANÇA DE BARRAGENS

Podalyro Amaral de Souza

Luiz César de Souza Pinto

Maria de Fátima Curi



- EXPLOSÃO DEMOGRÁFICA ⇒ ESCASSEZ
POLUIÇÃO
- DEMANDA CRESCENTE
- MÁ DISTRIBUIÇÃO PELO PLANETA
- SÉCULO XX ⇒ ÁGUA BEM ECONÔMICO E FINITO

GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

“INSTRUMENTO QUE ORIENTA O PODER PÚBLICO E A SOCIEDADE A LONGO PRAZO, NA UTILIZAÇÃO E NO MONITORAMENTO DOS RECURSOS AMBIENTAIS, NATURAIS, ECONÔMICOS E SÓCIO-CULTURAIS DE FORMA A PROMOVER UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL”. (MMARH)

SÃO PAULO ⇒ CONSTITUIÇÃO ESTADUAL

SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de SP - sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão

GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

- Abastecimento de água



- Irrigação



GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

- Lançamento e tratamento de esgoto



GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

- Navegação



GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

- Pesca



Turismo
Recreação
Serviços

...



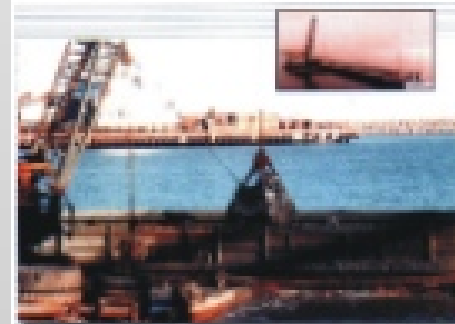
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

- Sedimentos



(a)

(b)



(c)



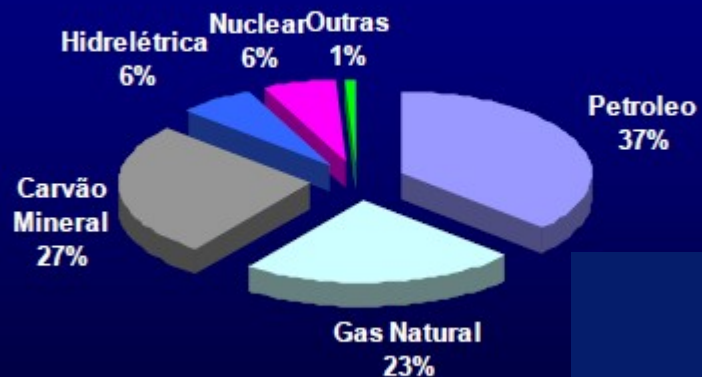
(d)

GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

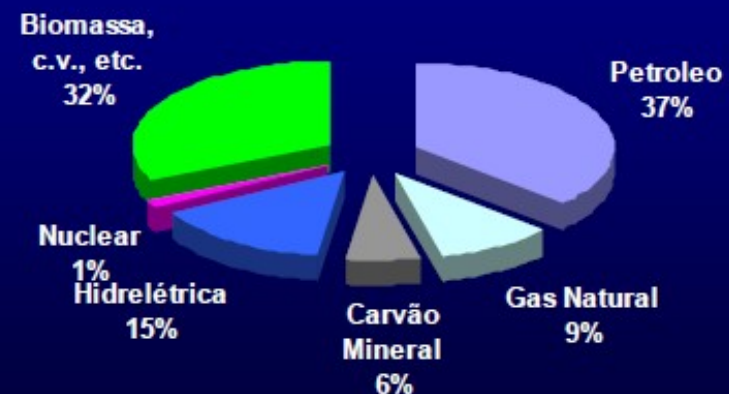
- Geração de energia elétrica



Mundo (Energy Information Administration, 2008)

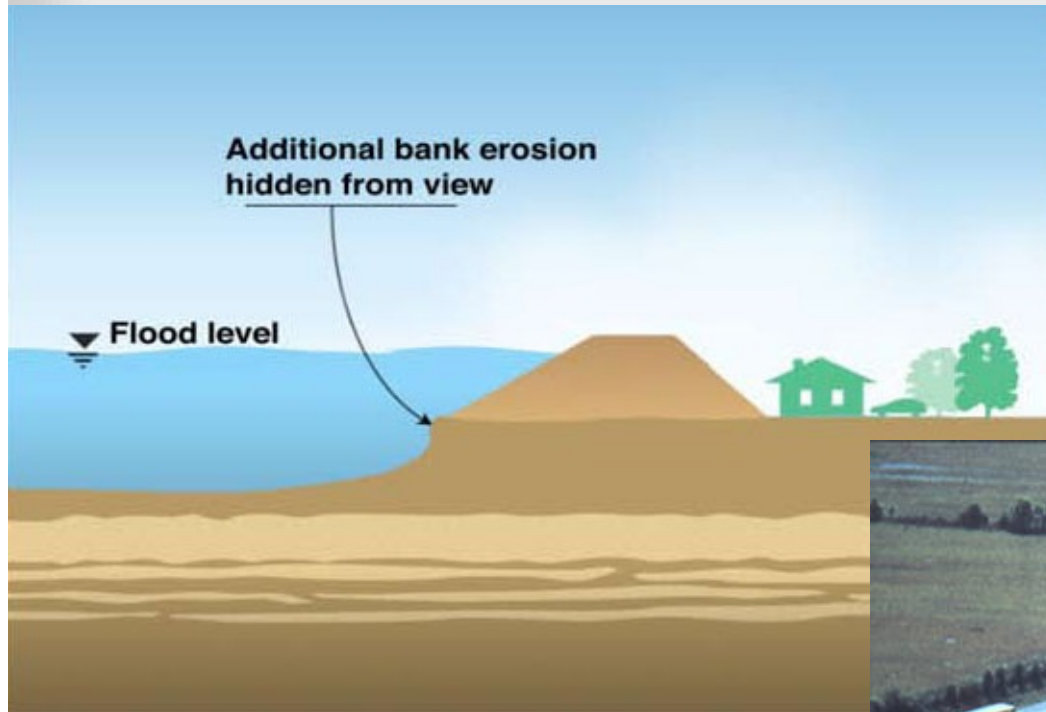


Brasil (Empresa de Pesquisa Energética/MME, 2008)



GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

- Controle de cheias



Diques de proteção contra cheias



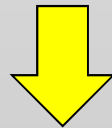
*Adaptado de UFRG

OBRAS HIDRÁULICAS

CONJUNTO DE ESTRUTURAS
CONSTRUÍDAS COM O OBJETIVO DE
MANEJAR A ÁGUA, QUALQUER QUE
SEJA A ORIGEM, VISANDO O SEU
APROVEITAMENTO OU PROTEÇÃO.



BARRAGEM

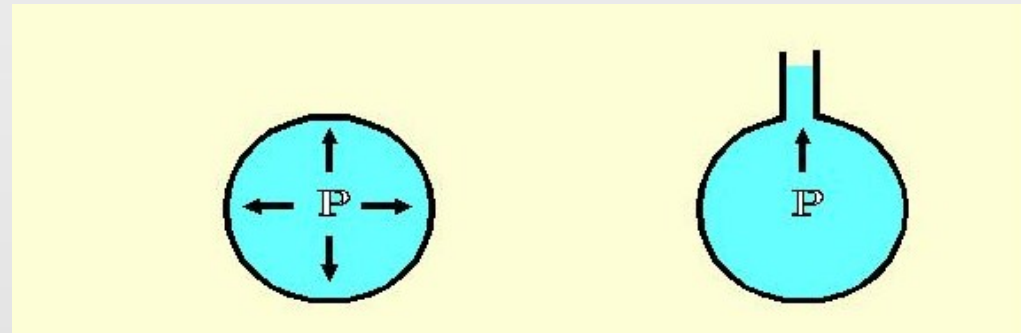


SEGURANÇA

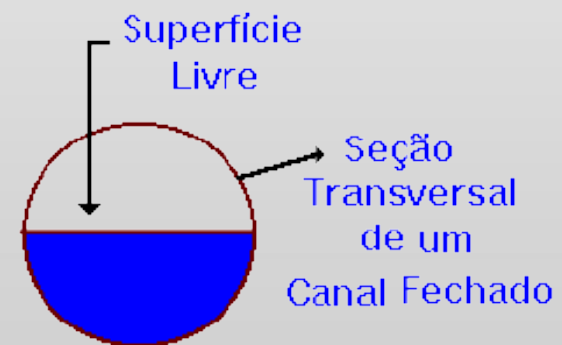
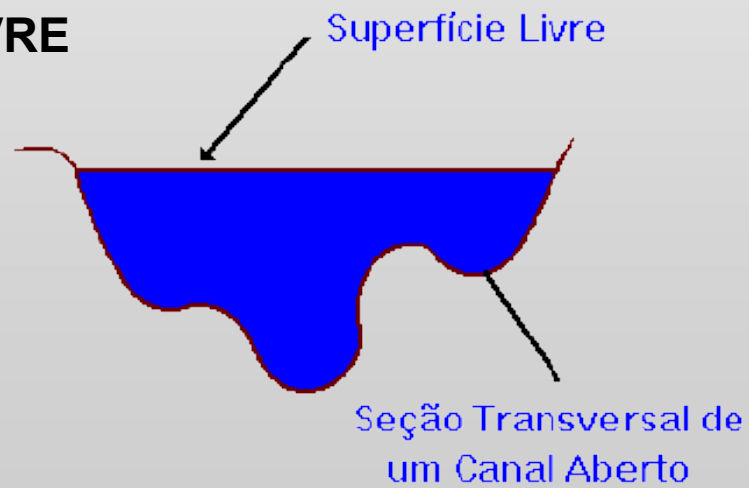
HIDRÁULICA

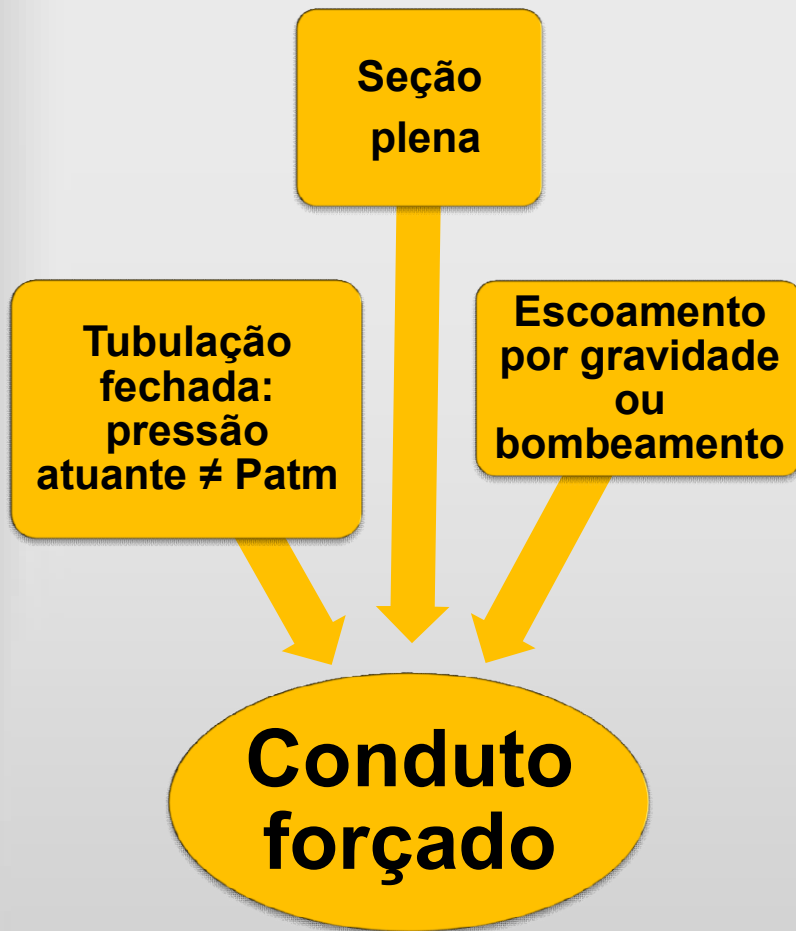
Escoamento

FORÇADO

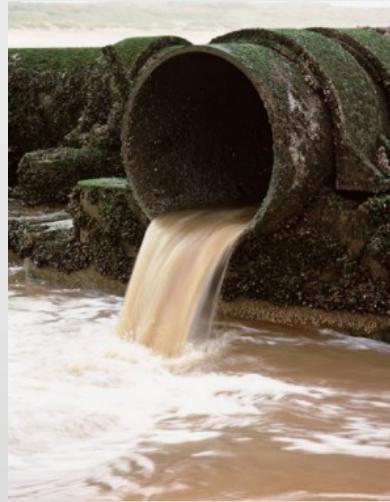


LIVRE





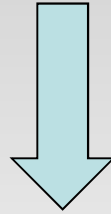
Escoamento em superfície livre.



Aplicações:
Macro e
microdrenage
m, retificação
de rios,
irrigação,
esgoto.



ESCOAMENTO



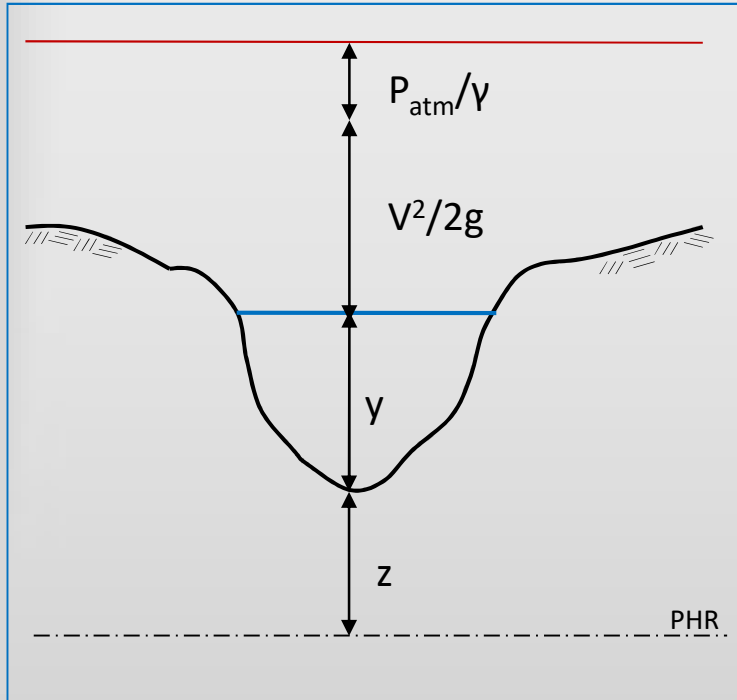
ENERGIA / CARGA

POTENCIAL

CINÉTICA

PIEZOMÉTRICA

CONDUTOS LIVRES



Carga Específica H_e



PHR no fundo do canal

Carga: Altura que representa a energia total numa seção de escoamento

$$H = E_{potencial} + E_{cinética}$$

Considera-se:

$$E_{pot} = z + y$$
$$E_{cin} = V^2/2g$$

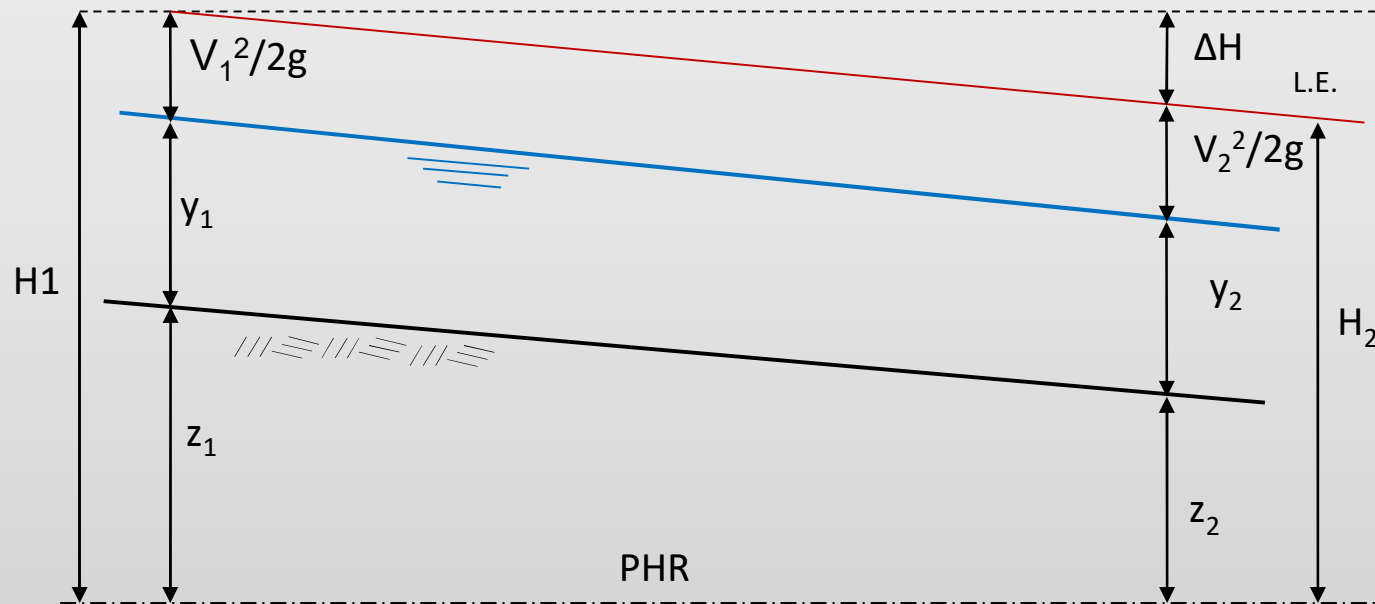
$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} + \frac{p_{atm}}{\gamma}$$

- Para uma partícula no fundo: $E_{pot}=z$
- Para uma partícula na superfície: $E_{pot}=z+y$

Escoamento em superfície livre. Parâmetros Característicos

- Profundidade y
- Área molhada S ou $A - f(y)$
- Perímetro molhado $P - f(y)$
- Raio hidráulico $R_H = \frac{S}{P}$ $D_H = 4R_H$
- Declividade do fundo i
- Carga H
- Declividade da Linha de Energia J

Declividade da linha de energia



$$i = \frac{\Delta z}{L}$$

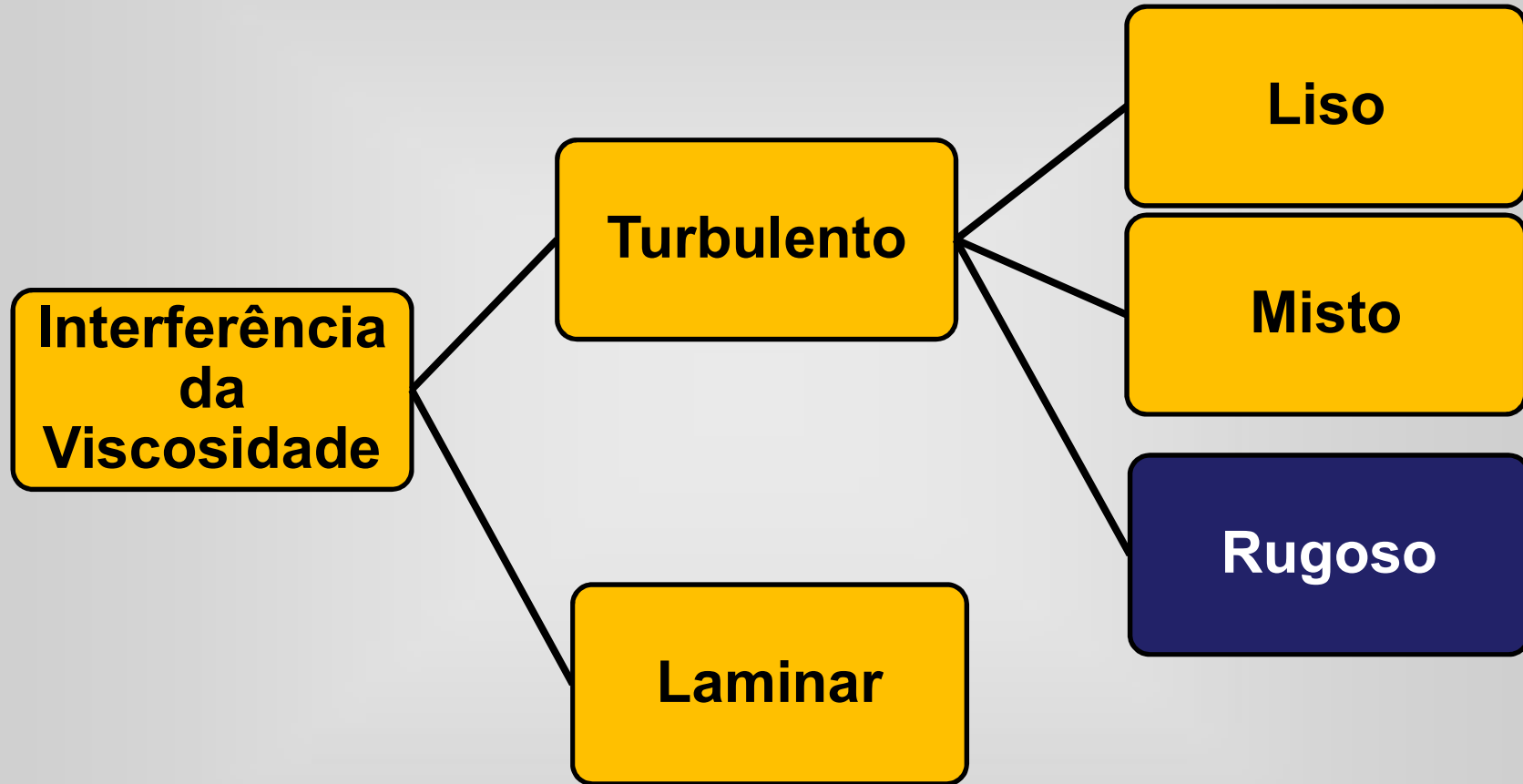
$$J = \frac{\Delta H}{L}$$

* Vazão de projeto

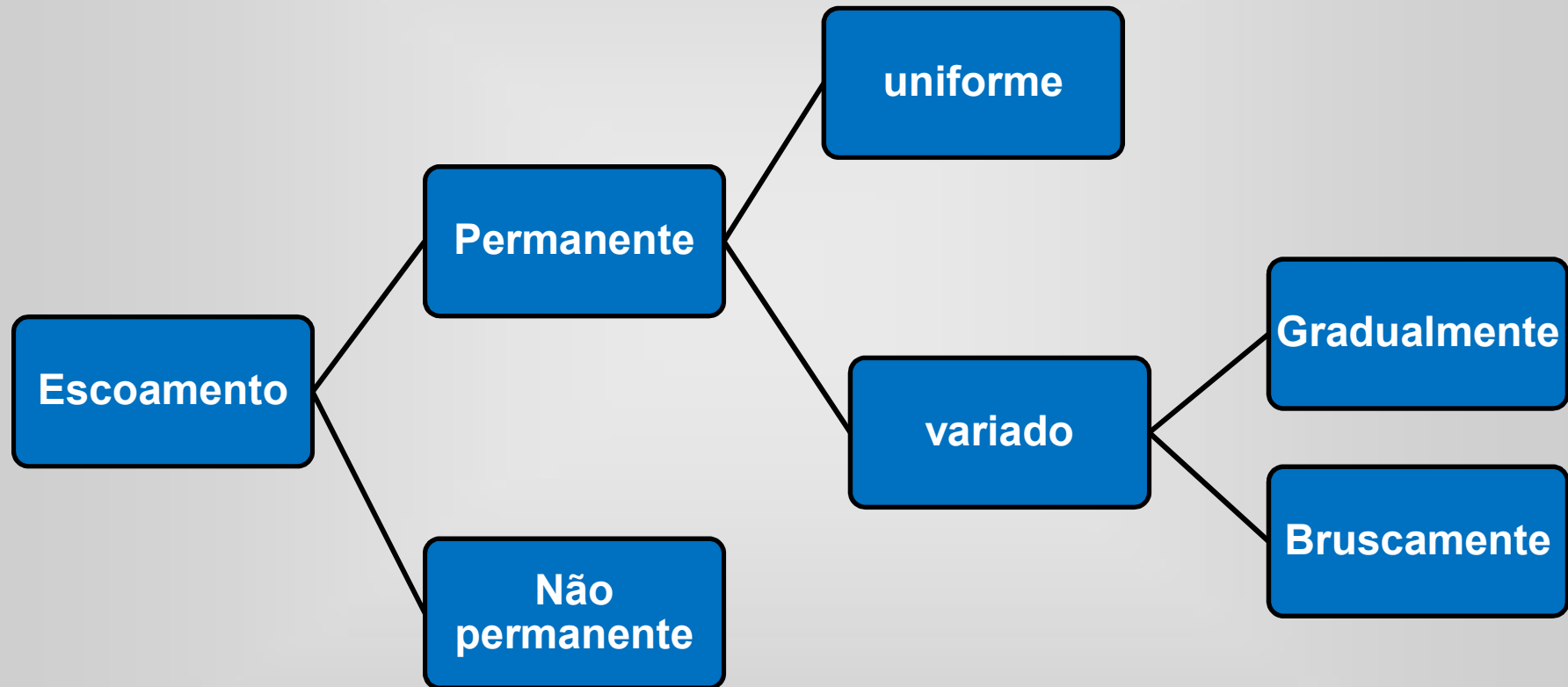
* Hidrologia: monitoramento
equação de chuva
período de retorno



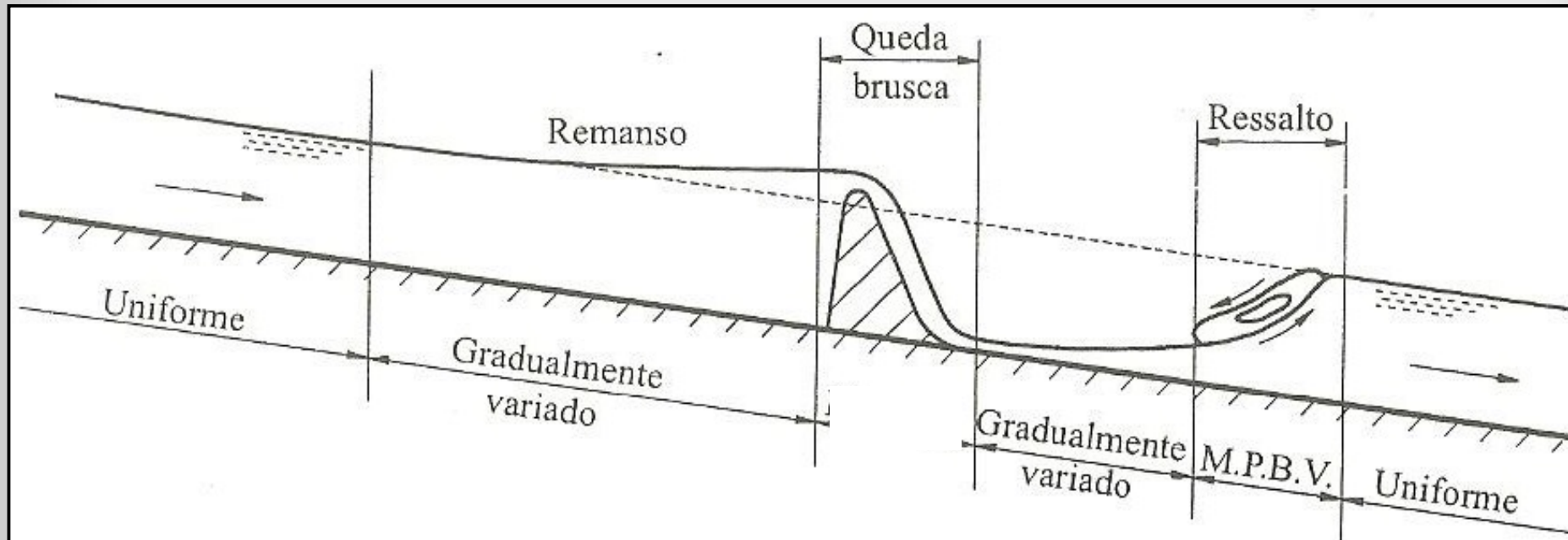
Tipos de escoamento



Tipos de escoamento

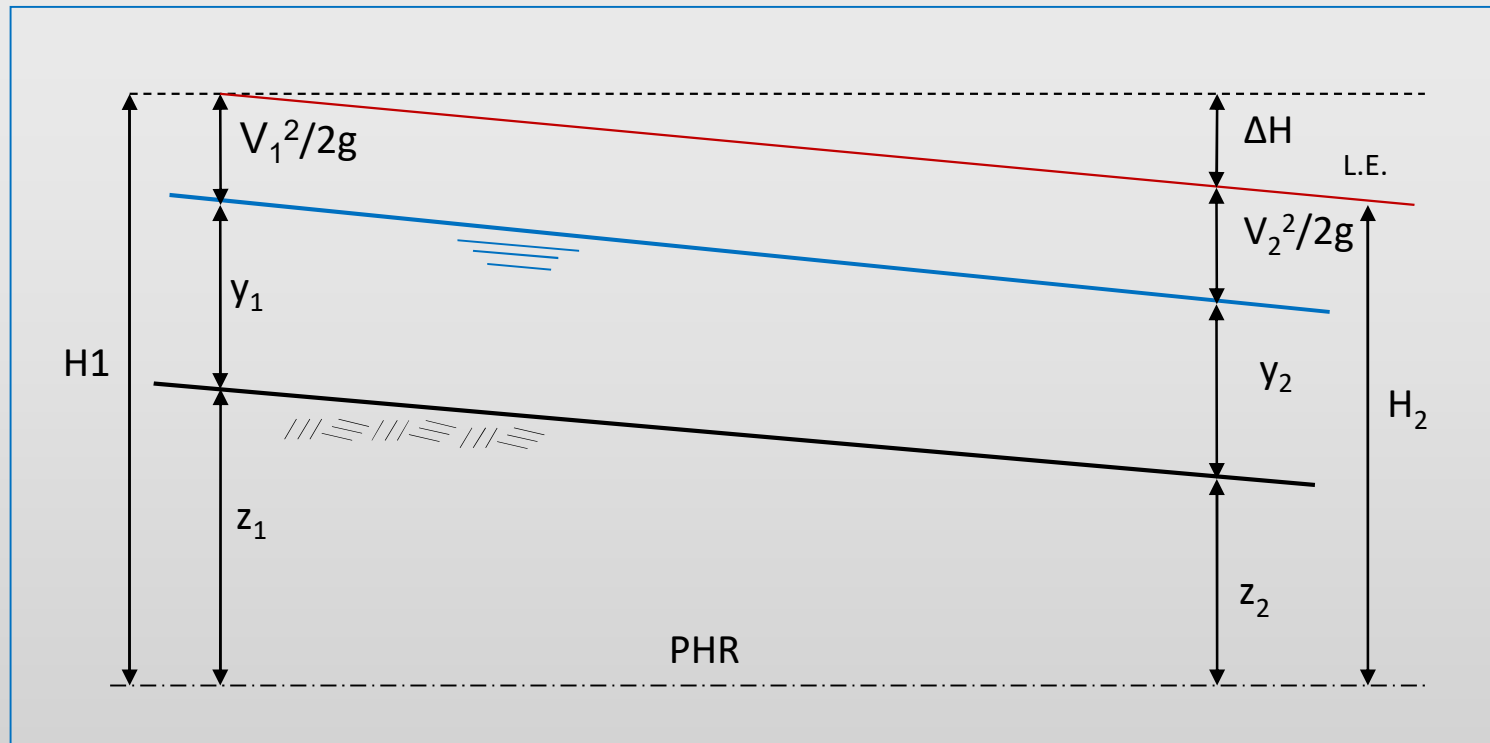


Escoamento em conduto livre

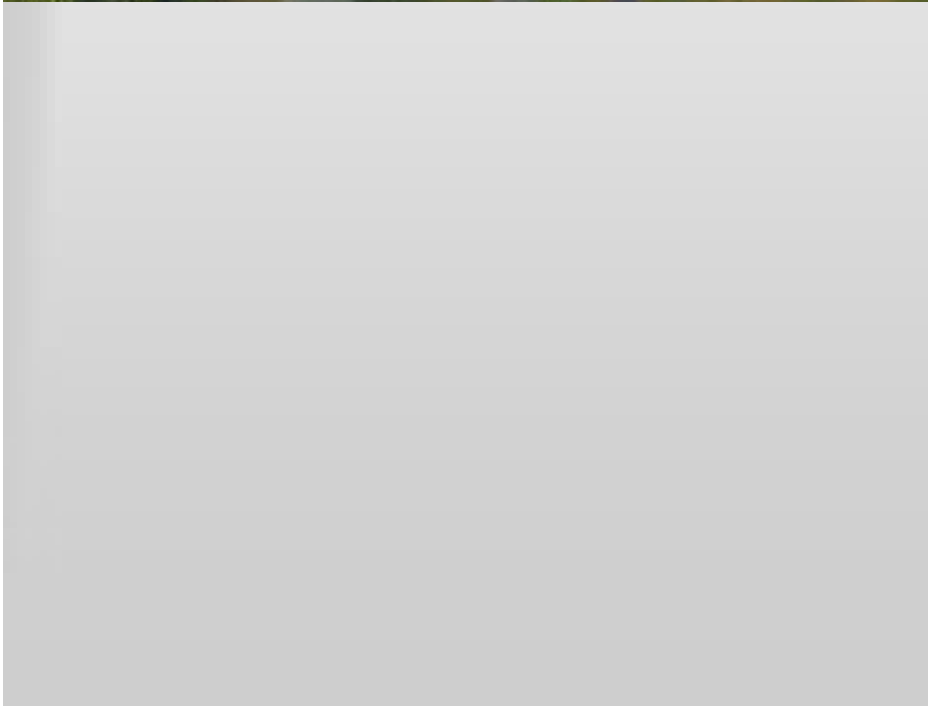
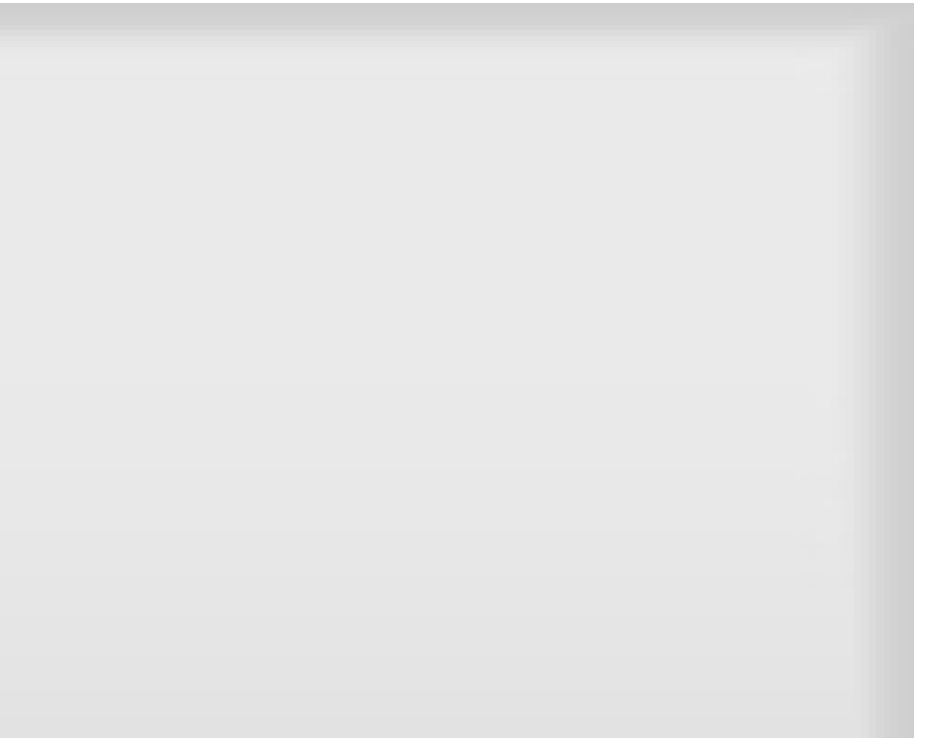


Obs: Qualquer obra no rio vai alterar a linha da água e deve ser previsto no projeto a elevação do nível da água. Elevação do NA gera custo.

Relação entre a energia potencial e cinética



Bernoulli $H_1 = H_2 + \Delta H$ \Rightarrow $z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$





Equação de Chezy

Fórmula Universal da Perda de Carga:

$$\Delta H = f \frac{L}{D_H} \frac{V^2}{2g} \quad \Rightarrow \quad V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{R_H \cdot J} \quad \Rightarrow \quad V = C \sqrt{R_H \cdot J}$$

Eq Chezy para condutos livres $Q = CS \sqrt{R_H \cdot J}$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}} \quad \Rightarrow \quad \text{Manning} \\ \text{Bazin}$$

TABELA 12.2 – Coeficientes de rugosidade de Manning

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior porém c/ pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espraçadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espraçadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Porto (1998) e Cirilo et al. (2001)

Número de Froude

Razão entre as forças de inércia e gravitacionais

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

Sendo:

V=Velocidade média do escoamento (m/s)

y=Altura da linha d'água (m)

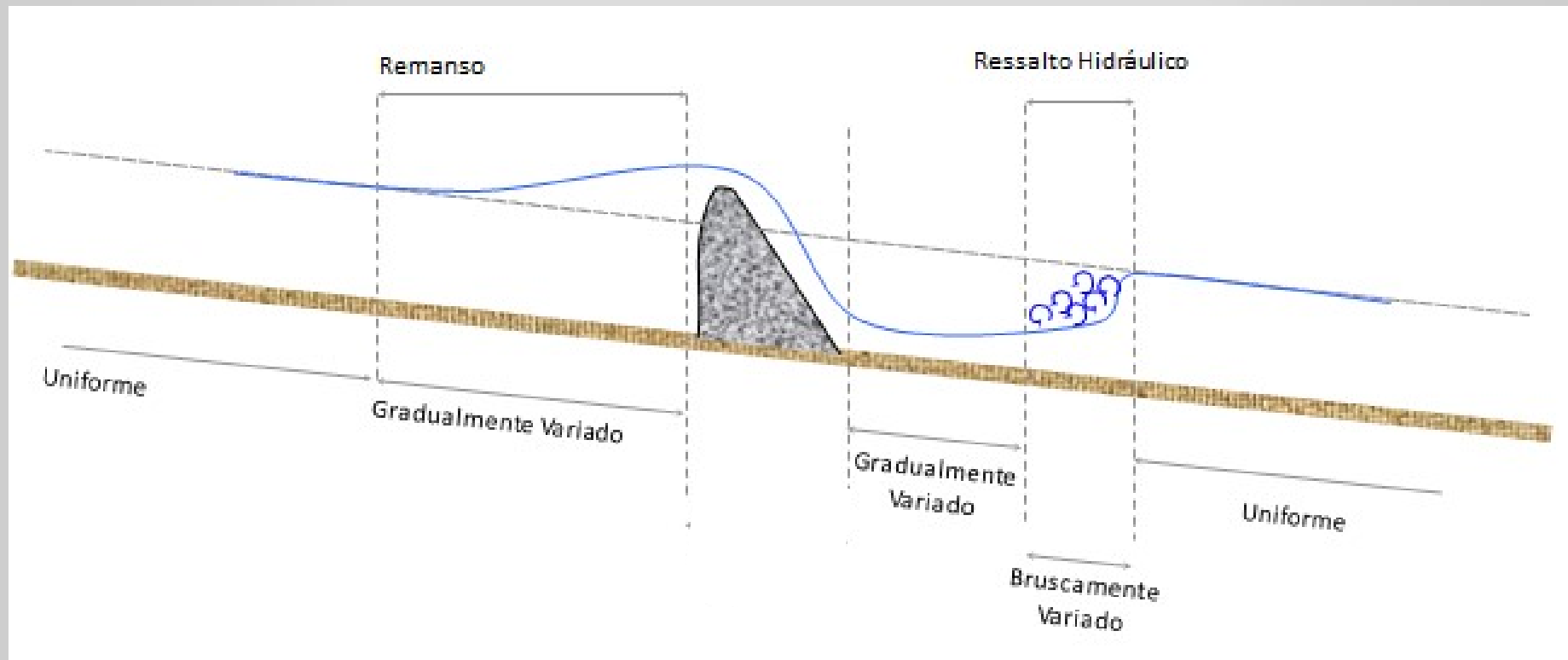
$F > 1$: Energia cinética predomina. O escoamento é torrencial.

$F = 1$: Energia cinética e potencial em equilíbrio. O escoamento é crítico.

$F < 1$: Energia potencial predomina. O escoamento é fluvial.

ESCOAMENTO PERMANENTE GRADUALMENTE VARIADO

CURVA DE REMANSO



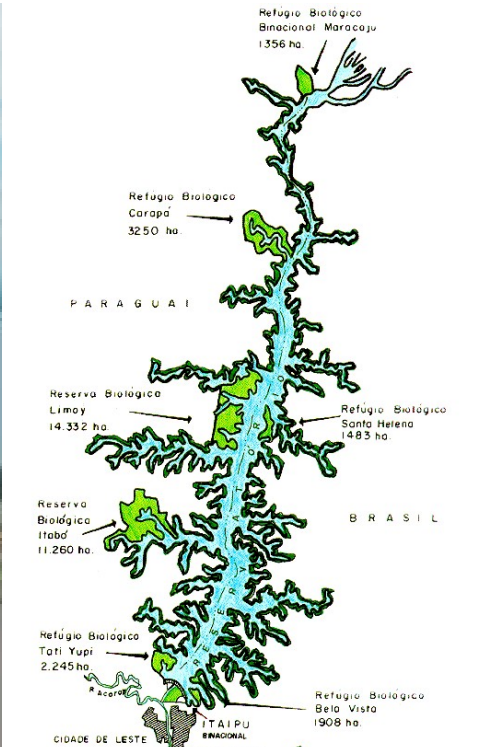
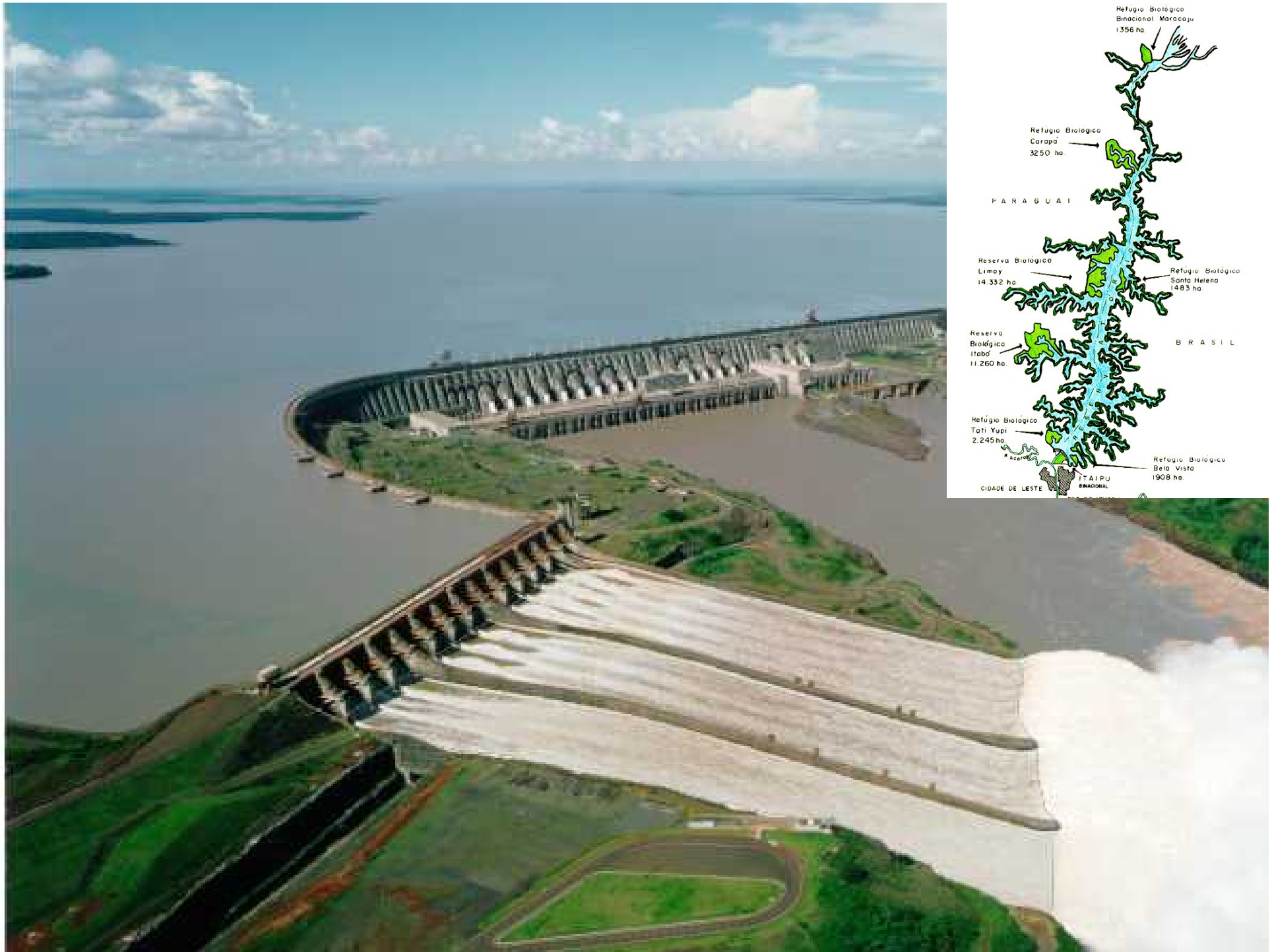
CURVA DE REMANSO – LINHA D'ÁGUA DO ESCOAMENTO GRADUALMENTE VARIADO

1987

2006





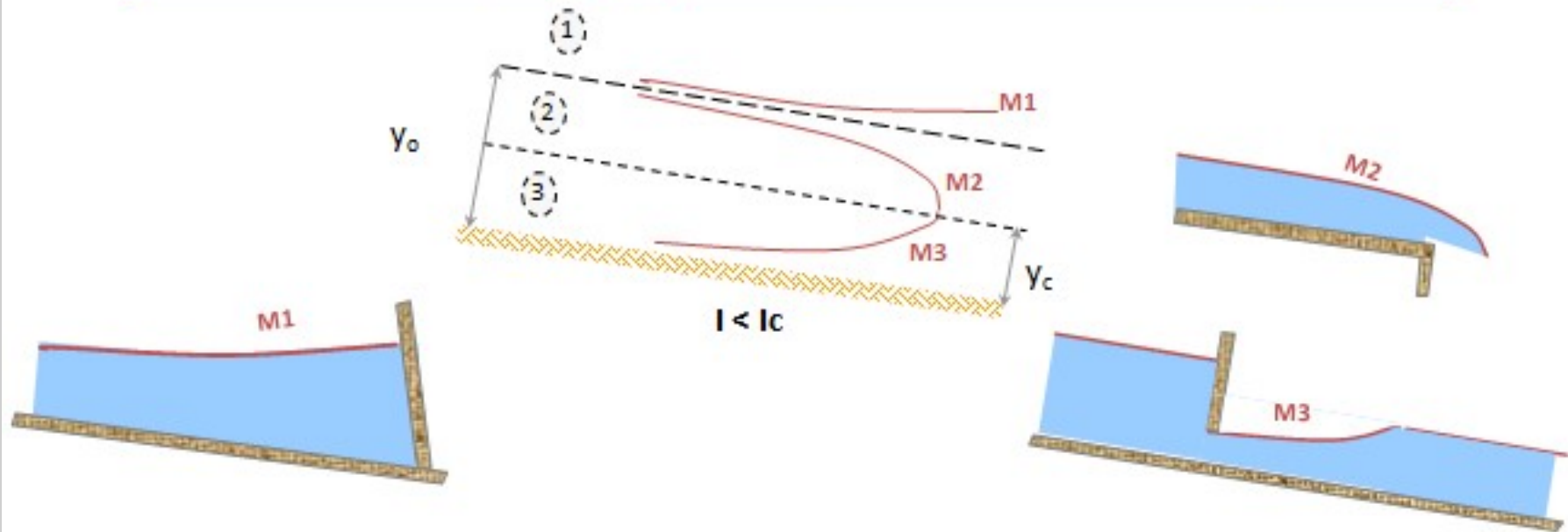


Tipos de Curvas de Remanso

Declividade	Profundidade	Descrição	Curvas	
			Tipo	Quantidade
$I_o < I_c$	$Y_o > Y_c$	Declividade fraca (<i>mild slope</i>)	M	3 curvas
$I_o > I_c$	$Y_o < Y_c$	Declividade forte (<i>steep slope</i>)	S	3 curvas
$I_o = I_c$	$Y_o = Y_c$	Declividade Crítica	C	2 curvas
$I_o = 0$	∞	Declividade nula (<i>horizontal</i>)	H	2 curvas
$I_o < 0$	-	Declividade negativa (<i>active</i>)	A	2 curvas

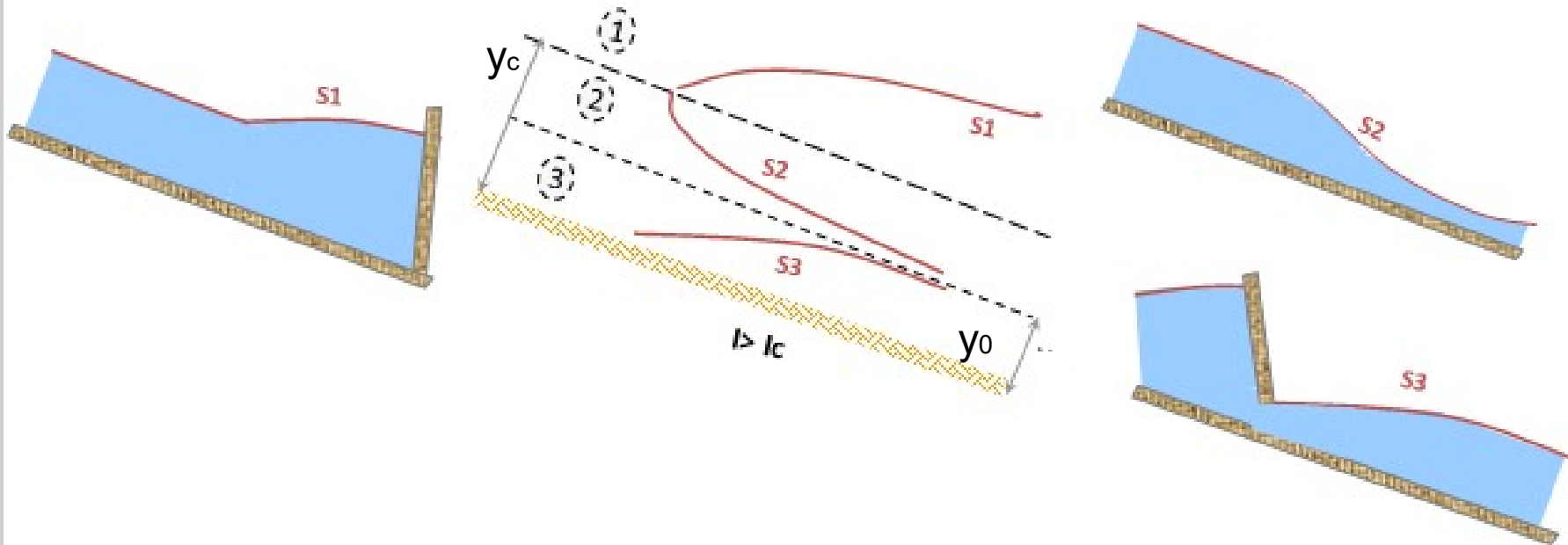
Canais com Declividade Moderada

Zona	Curva	Profundidade	Tipo de Remanso
1	M1	$y > y_o > y_c$	Elevação
2	M2	$y_c < y < y_o$	Depressão
3	M3	$y < y_c < y_o$	Elevação



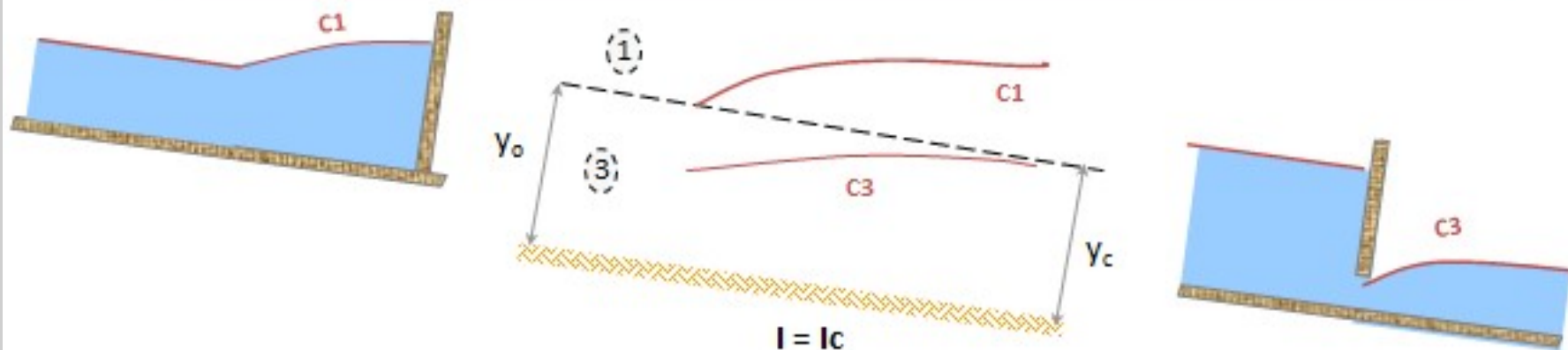
Canais com Declividade **S**evera

Zona	Curva	Profundidade	Tipo de Remanso
1	S1	$y > y_o > y_c$	Elevação
2	S2	$y_c < y < y_o$	Depressão
3	S3	$y < y_c < y_o$	Elevação



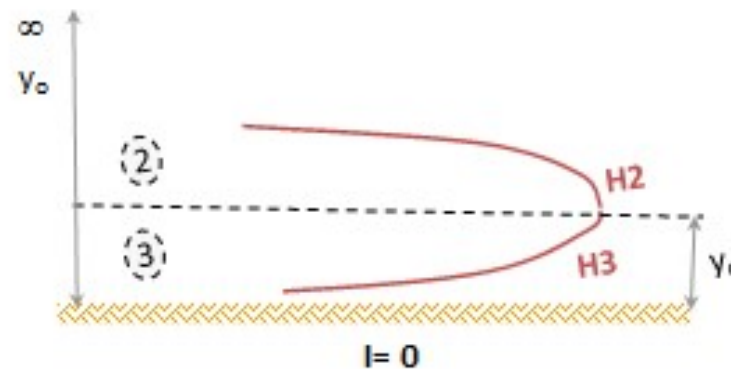
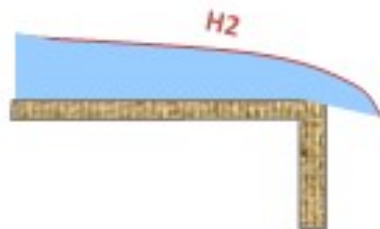
Canais com Declividade Crítica

Zona	Curva	Profundidade	Tipo de Remanso
1	C1	$y > y_o = y_c$	Elevação
	-	-	
3	C3	$y < y_o = y_c$	Elevação



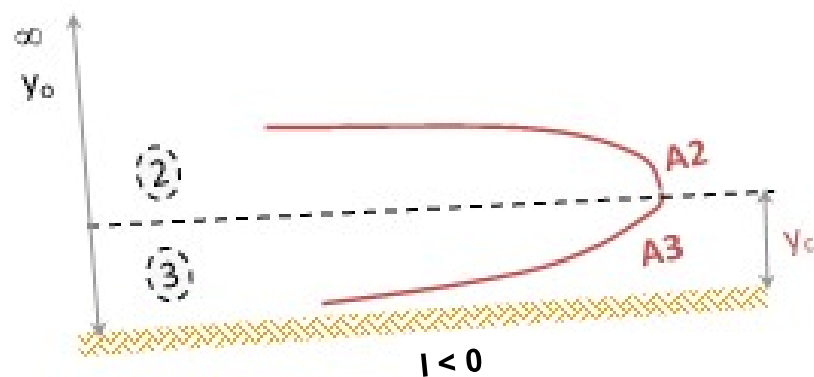
Canais **H**orizontais (Declividade Nula)

Zona	Curva	Profundidade	Tipo de Remanso
	-	$\rightarrow \infty$	Não existe esta zona
2	H2	$y > y_c$	Depressão
3	H3	$y < y_c$	Elevação



Canais em **A**ctive (Contrainclinados)

Zona	Curva	Profundidade	Tipo de Remanso
	-	$\rightarrow \infty$	Não existe esta zona
2	A2	$y > y_c$	Depressão
3	A3	$y < y_c$	Elevação



ANÁLISE DO ESCOAMENTO GRADUALMENTE VARIADO: O REMANSO

Aplicando Bernoulli entre as seções 0 e 1:

$$z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + y_1 = z_0 + \frac{V_0^2}{2g} + y_0 + \Delta H$$

$$z_1 - z_0 = \Delta z = \Delta x \cdot i$$

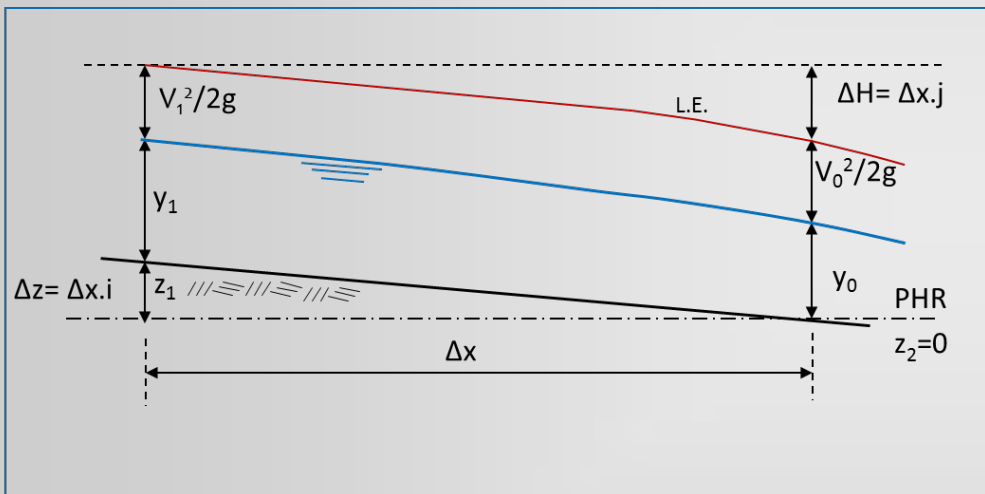
$$H_1 - H_0 = \Delta H = \Delta H \cdot j$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + y_1 = He_1$$

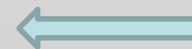
$$\frac{V_0^2}{2g} + y_0 = He_0$$

$$\Delta x \cdot i = He_0 - He_1 + \Delta x \cdot j$$

$$\Delta x = \frac{He_0 - He_1}{(i - j)}$$

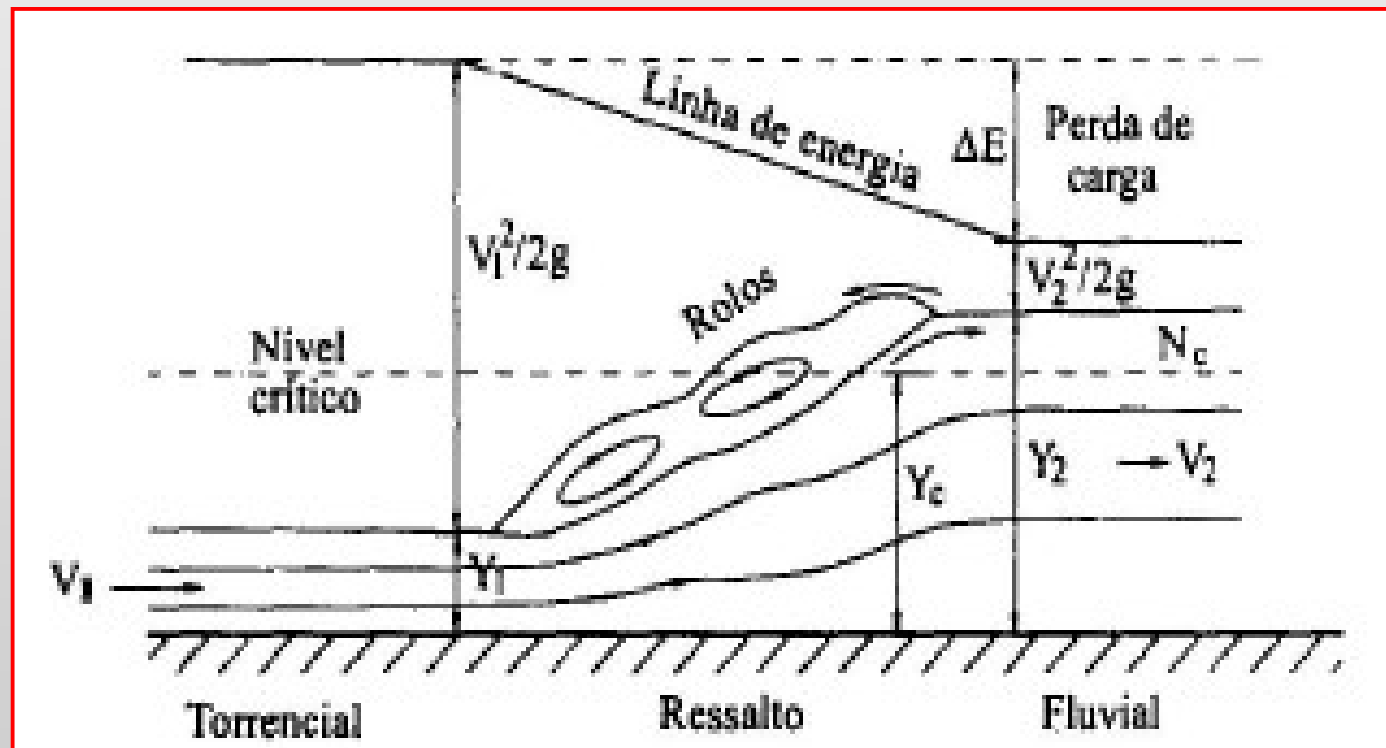


“Step Method”



Escoamento Permanente Bruscamente Variado

RESSALTO HIDRÁULICO



RESSALTO HIDRÁULICO

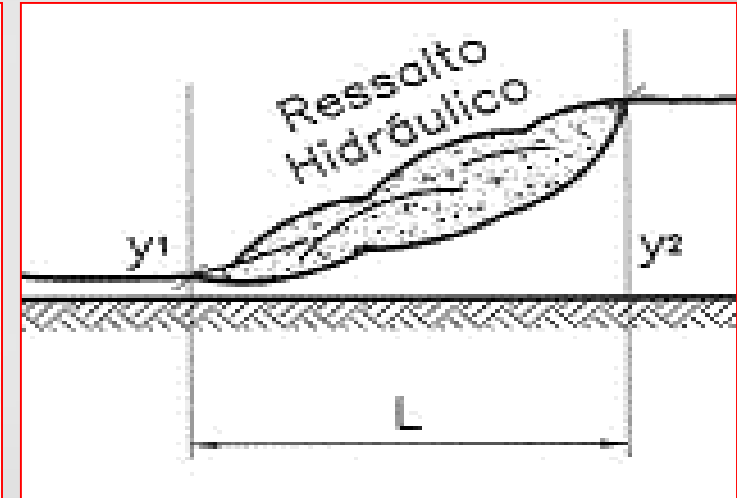
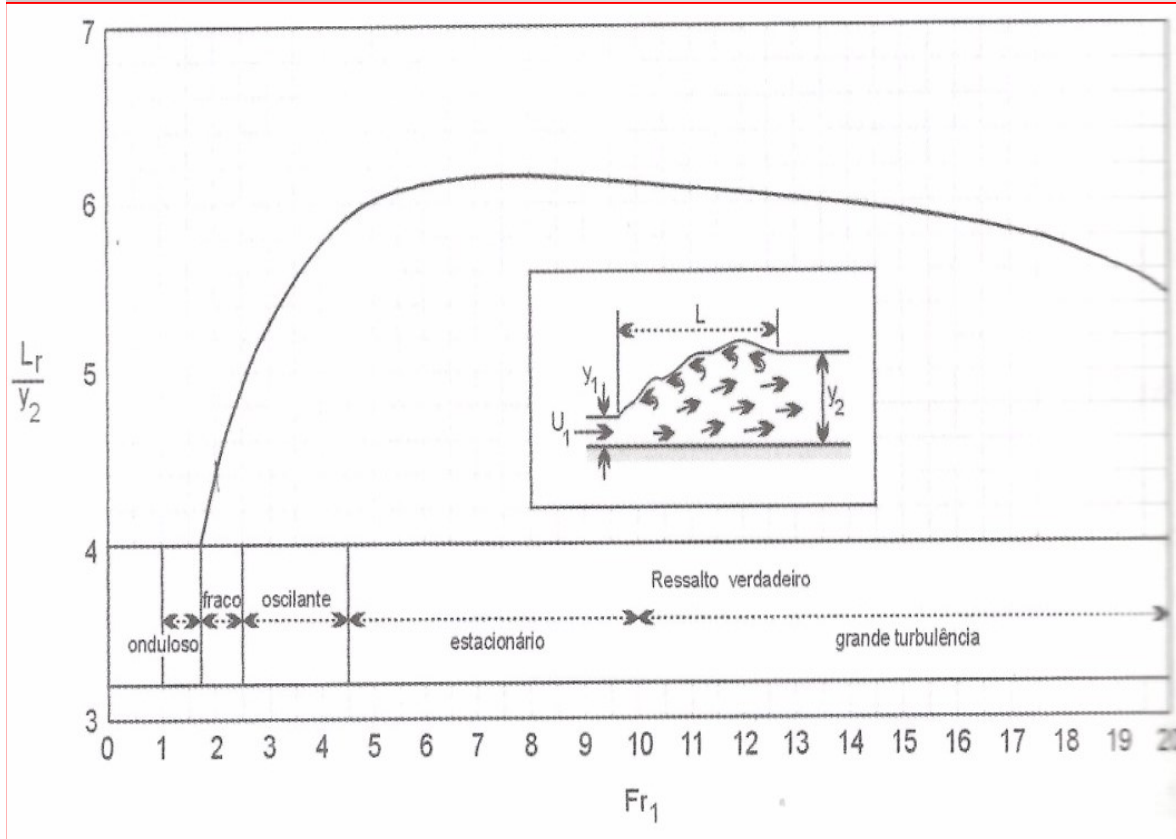
- Fenômeno que ocorre **SEMPRE** que acontece a transição de um escoamento torrencial para escoamento fluvial.
- Ocorre a elevação brusca da linha da água em curta distância.
- Há instabilidade na superfície com ondulações.
- Ocorre considerável **perda de energia** → dissipadores de energia.



Eficiência do Ressonamento

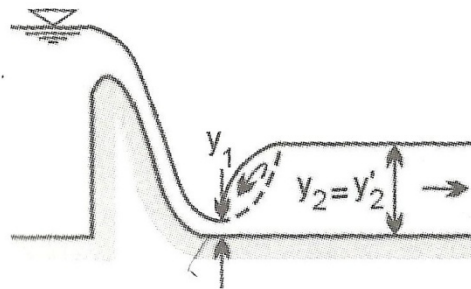
$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_{e1}} = \frac{H_{e1} - H_{e2}}{H_{e1}}$$

Comprimento do Ressonamento

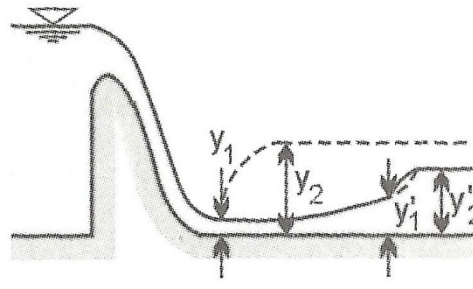


$$L_{RESS} = 6,9(y_2 - y_1)$$

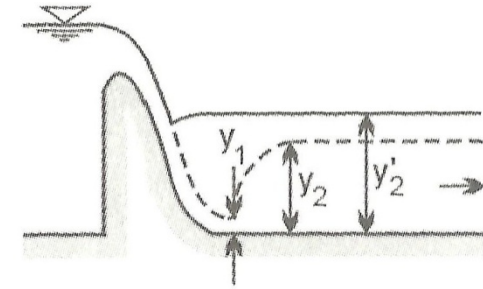
Localização do ressalto



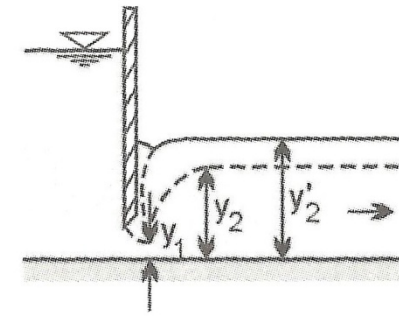
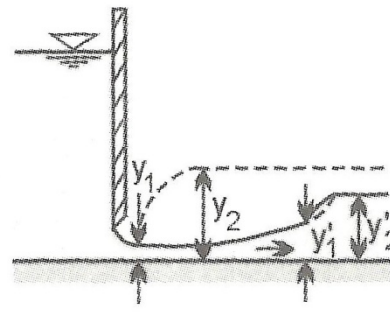
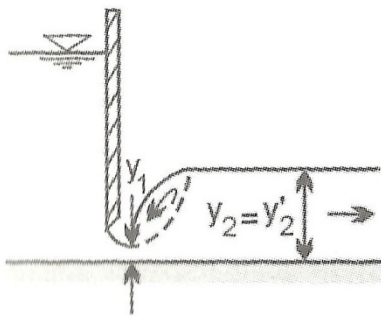
Caso 1: $y'_2 = y_2$



Caso 2: $y'_2 < y_2$



Caso 3: $y'_2 > y_2$



Sendo:

y_2 : profundidade conjugada do ressalto a jusante.

y'_2 : profundidade final do escoamento a jusante

**MEDIDORES
DE VAZÃO EM CONDUTOS LIVRES**

Estruturas de controle: relação bem definida entre a carga H e a vazão Q
Exemplos: vertedores, orifícios.



Extravasador de Superfície e de Fundo

Vertedor Triangular



UTILIZAÇÃO DOS VERTEDORES

- Medição da vazão em cursos d'água.
- Órgãos de descarga (extravasores) de reservatórios.

Vertedor Retangular de Parede Delgada

VAZÃO

$$Q = C_Q L H^{3/2}$$

Q = Vazão

L = Largura do vertedor

C_Q = Coeficiente de vazão

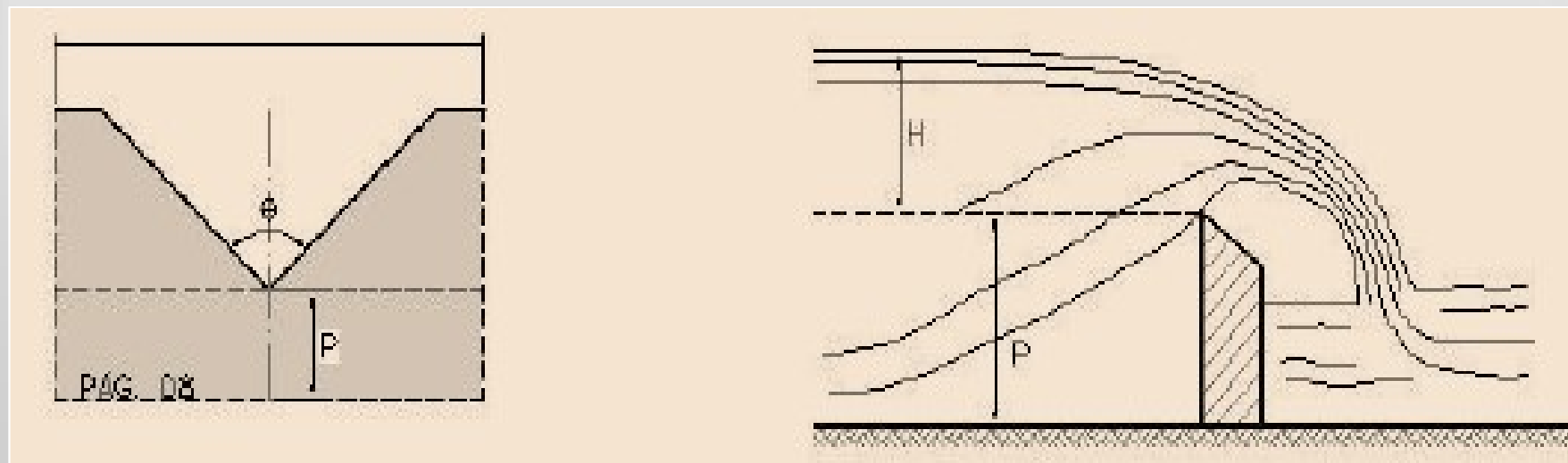


Vertedor Triangular de Paredes Delgadas

Para $\theta = 90^\circ$ - Thompson

$$Q = 1,42 H^{5/2}$$

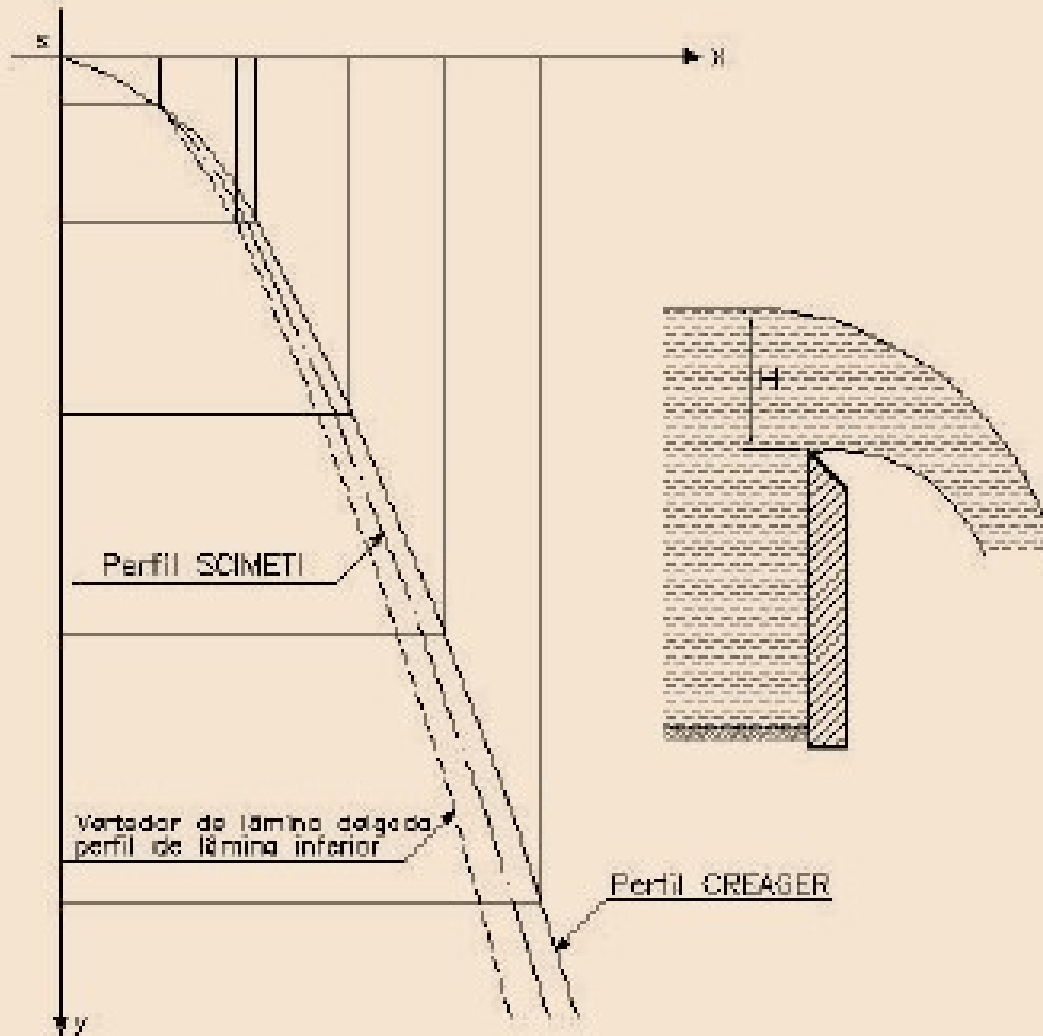
H : (m) ; Q : (m³/s)



Vertedores com Perfis Normais

Creager:

$$Y = 0,47 \left[\frac{x^{1,30}}{H^{0,30}} \right]$$



Como se trata de um vertedor retangular, a vazão é dada por:

$$Q = C_Q L H^{3/2}$$

Perfil muito deprimido: Pressões negativas – cavitação.

Perfil muito comprimido: Pressões positivas – menor vazão

CALHA PARSHALL

- Redução de Largura – regime crítico (permite estabelecer a relação entre a vazão e a carga a montante)
- 3 trechos: **convergente, garganta central e divergente.**
- A largura W da garganta central indica o tamanho nominal da calha.

Vazão: escoamento livre ou afogado

$$Q_{\text{livre}} = 0,381 \cdot h_1^{1,58}$$

h_1 (m)

Q_{livre} (m^3/s)

Afogado – interferência do NA jusante

$$Q_{\text{AFOGADO}} = Q_{\text{livre}} - \Delta Q_{\text{REDUÇÃO}}$$

