

\* PHA3201  
Hidráulica Ambiental  
aula 17

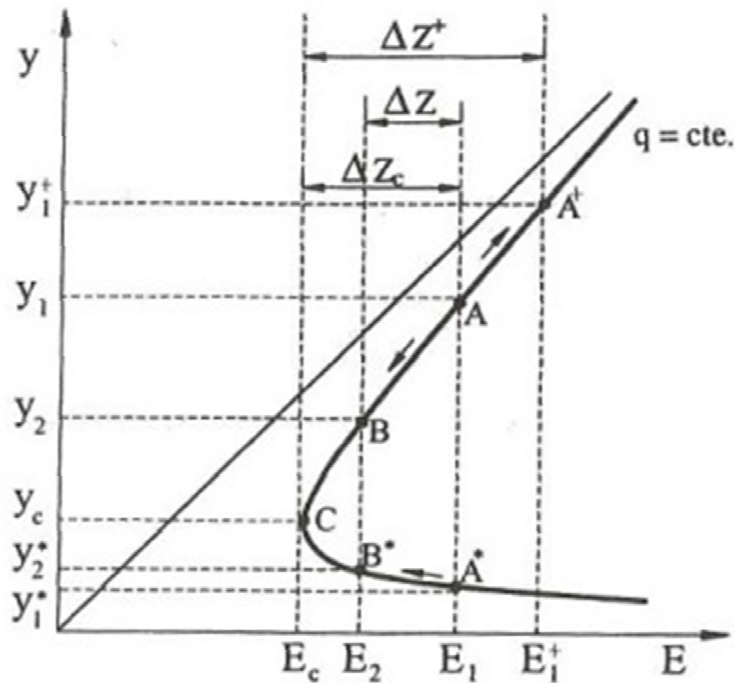
J Rodolfo S Martins ([scarati@usp.br](mailto:scarati@usp.br))

Luiz Cesar de Souza Pinto ([lcesar@usp.br](mailto:lcesar@usp.br))

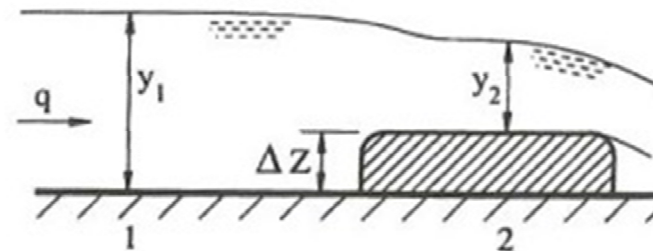
André Luiz Marguti ([andre.marguti@usp.br](mailto:andre.marguti@usp.br))

**\* Regimes de escoamento**  
**Escoamento variado no espaço**  
**Escoamento bruscamente**  
**variado**

# \* TRANSIÇÕES - ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO FUNDO



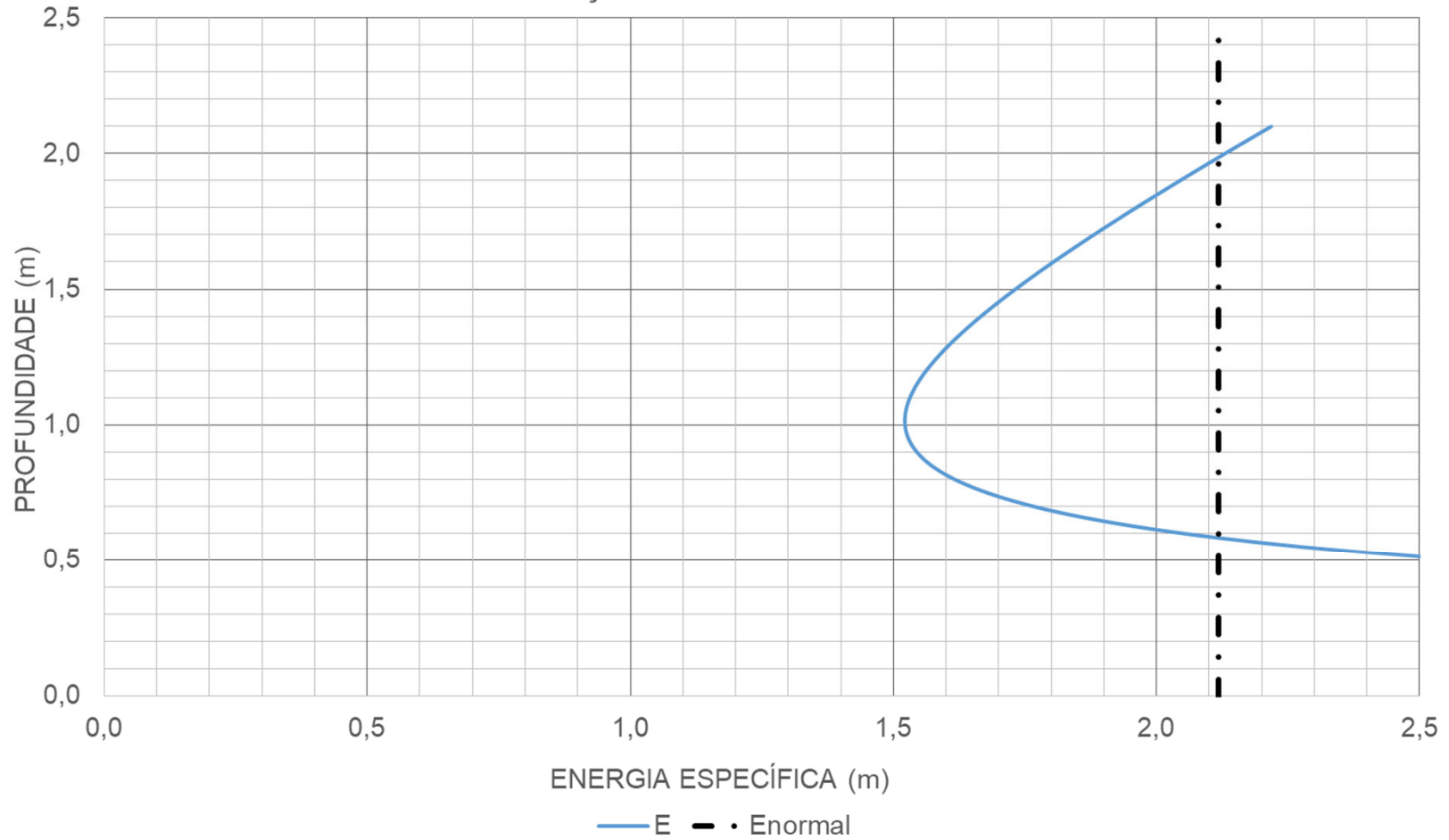
$$E_1 = E_2 + \Delta Z$$



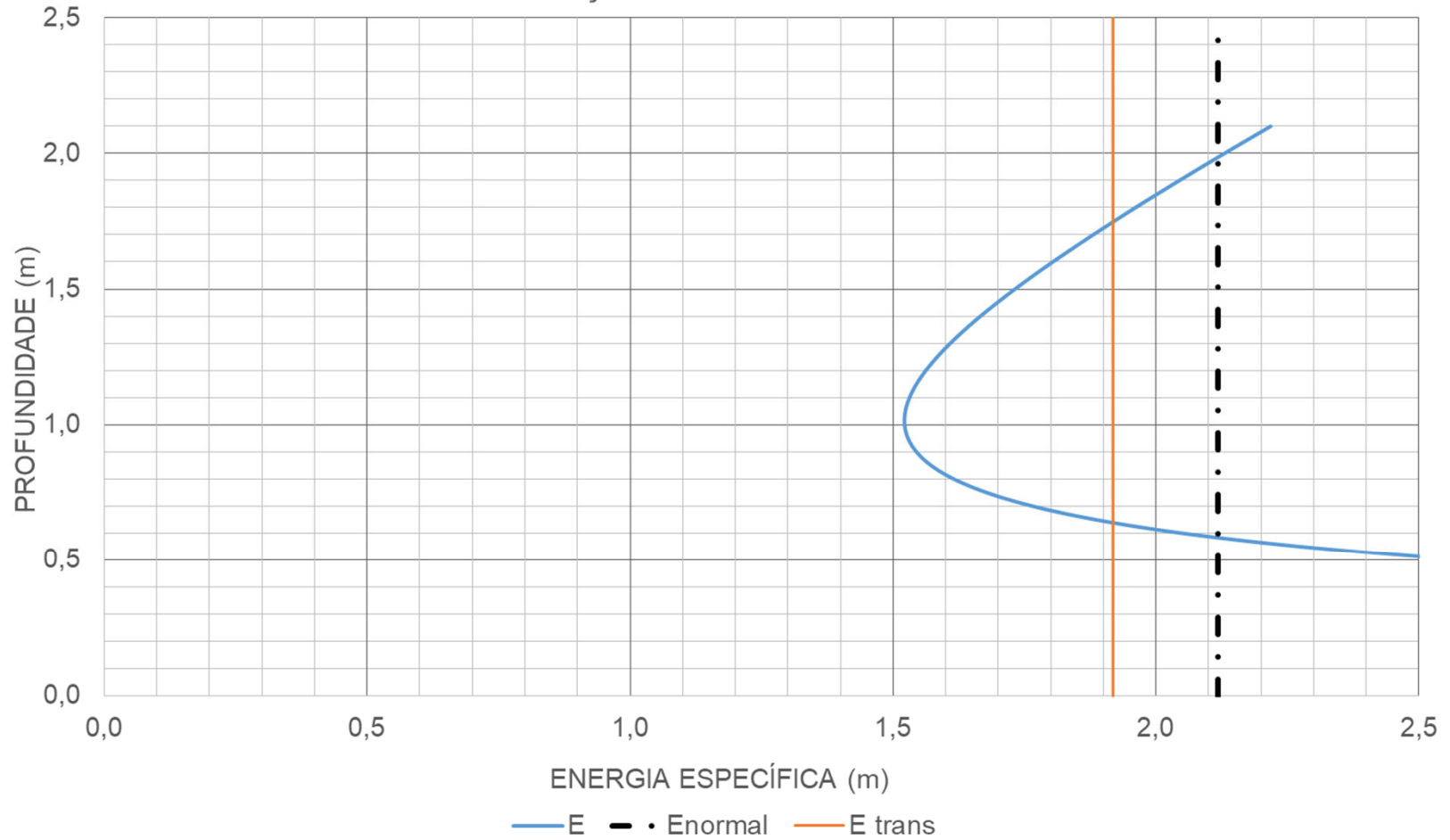
Porto (1999)

**Exercício (adaptado de Porto, 2006)** - Em um canal retangular com 5 m de largura escoam em regime permanente e uniforme uma vazão de  $16 \text{ m}^3/\text{s}$  e profundidade de 1,99 m. Em uma dada seção é construído um degrau no fundo do canal com altura de 0,20 m. Desprezando-se as perdas de carga no degrau, determine a profundidade do escoamento sobre o degrau.

### SEÇÃO RETANGULAR

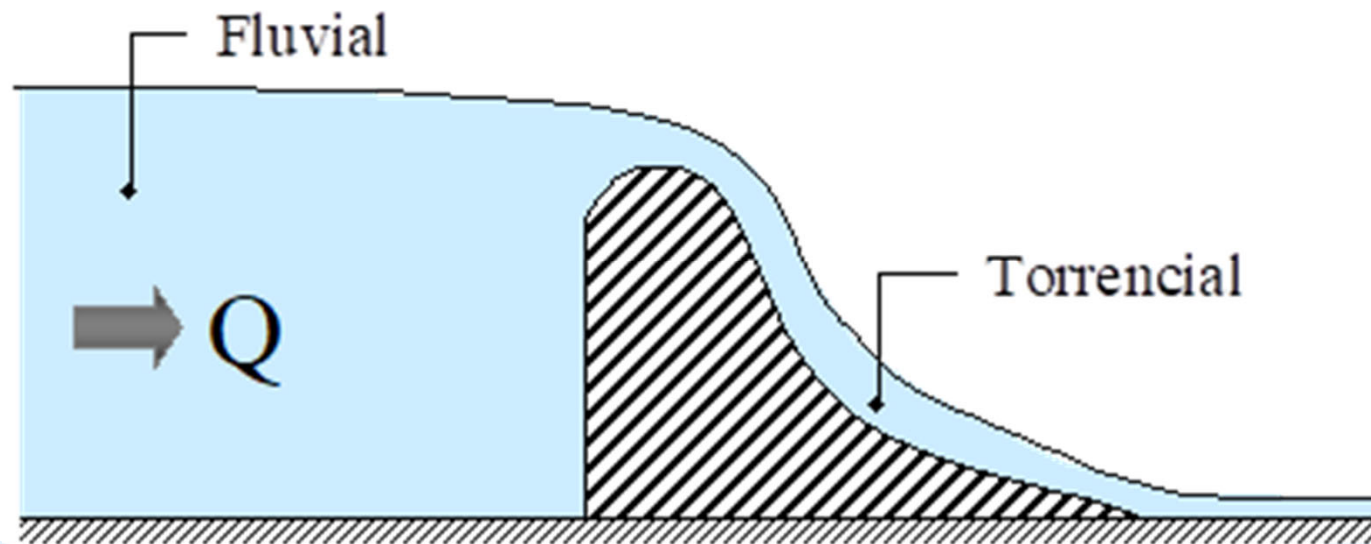


### SEÇÃO RETANGULAR



## \* REGIME PERMANENTE BRUSCAMENTE VARIADO

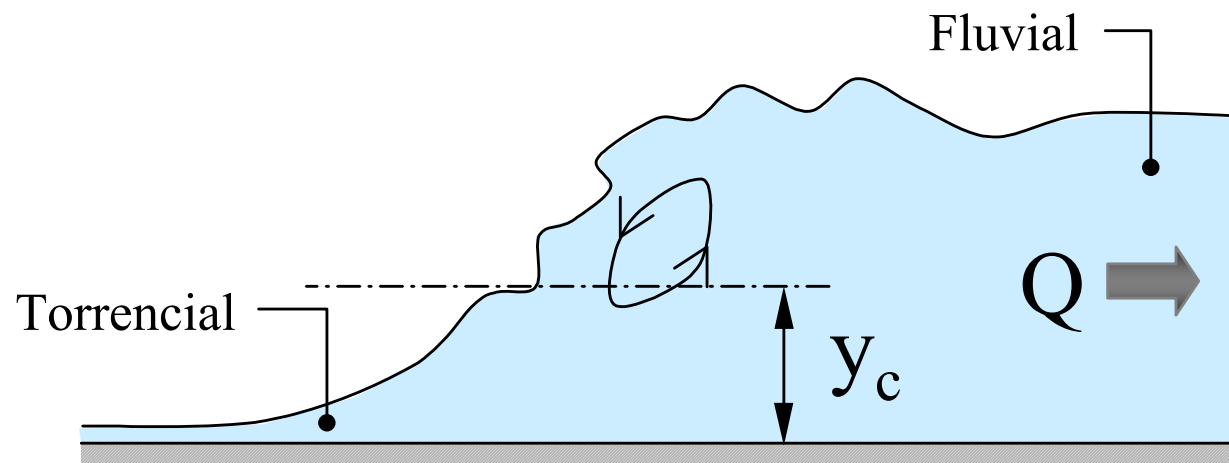
- \* Transição do regime fluvial para o torrencial
  - \* Ocorre sem que haja descontinuidade no perfil da linha d'água
  - \* Exemplo: escoamento sobre soleira descarregadora



## \* REGIME PERMANENTE BRUSCAMENTE VARIADO

\* RESSALTO HIDRÁULICO (Transição do escoamento torrencial para o fluvial):

- \* Descontinuidade na linha d'água (região de alta turbulência)
- \* Ocorre para compatibilizar o produto “ $q.v$ ” (quantidade de movimento)

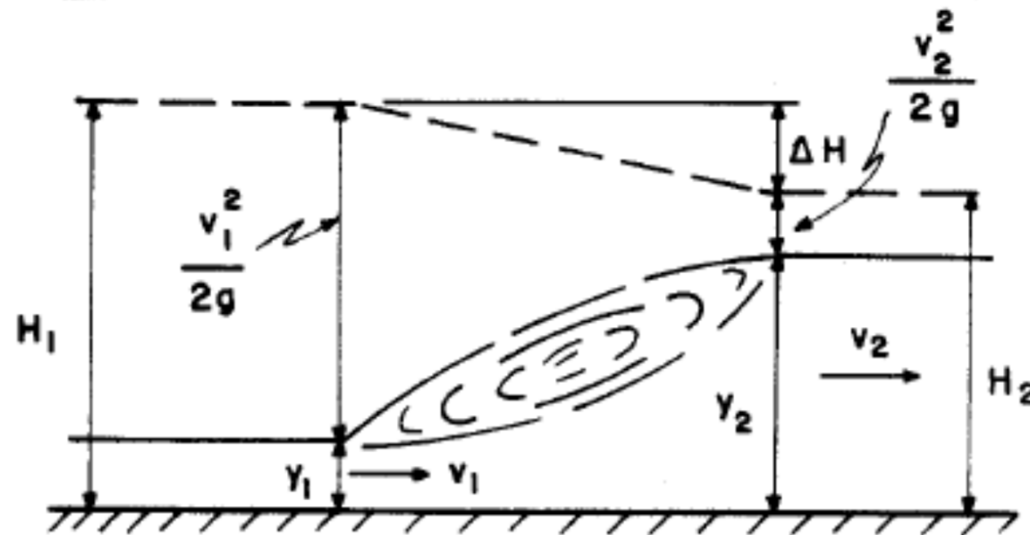




# \* REGIME PERMANENTE BRUSCAMENTE VARIADO

## \* RESSALTO HIDRÁULICO

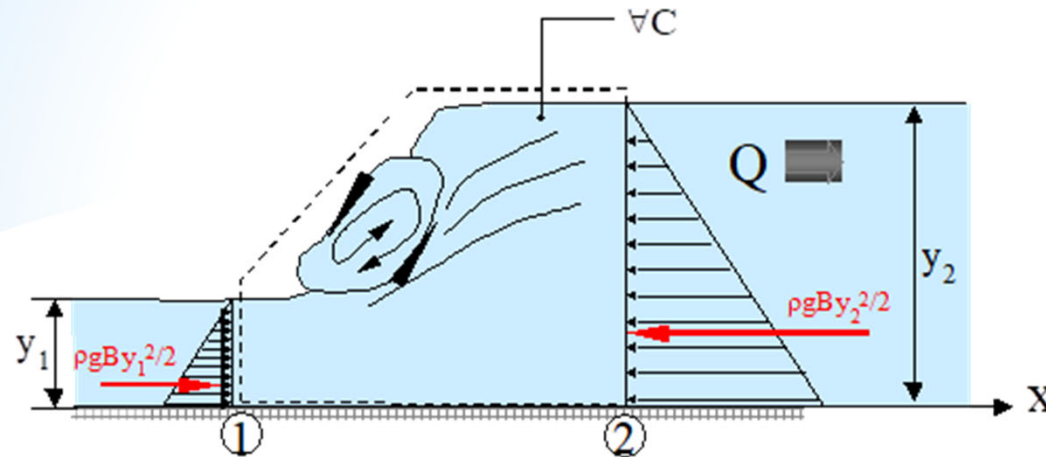
- \* Usado como dissipador de energia
- \* Misturador de produtos químicos



# \* RESSALTO HIDRÁULICO



# \* Ressalto Hidráulico



Sendo:  $P$  a pressão hidrostática e  
 $M$ , quantidade de movimento

$$P_2 - P_1 = M_1 - M_2 = \gamma \frac{Q}{g} (V_1 - V_2) \quad e$$

$$\frac{Q^2}{g b y_2} + \frac{b y_2^2}{2} = \frac{Q^2}{g b y_1} + b \frac{y_1^2}{2}$$

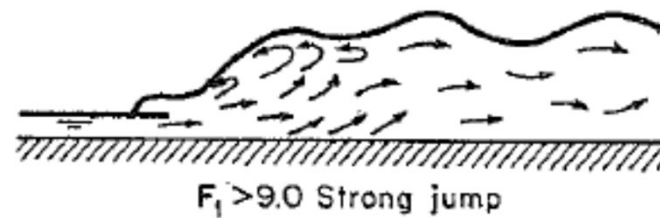
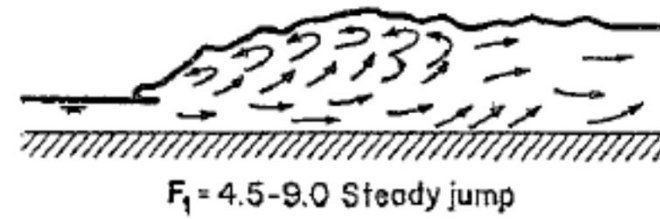
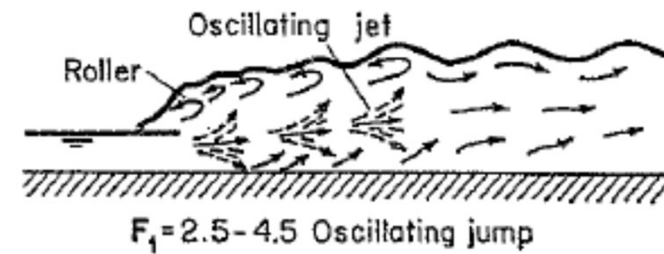
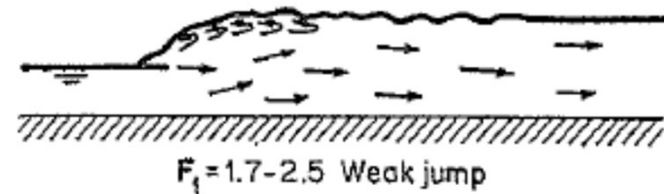
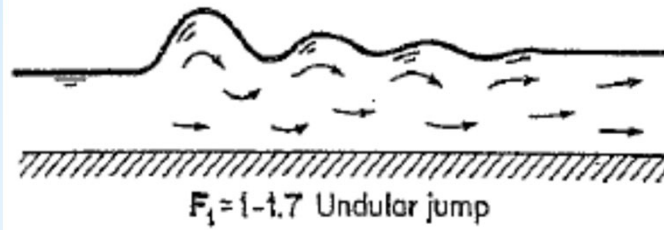
para um canal retangular de largura unitária

$$P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \gamma (y_2^2 - y_1^2) \quad e$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8 F_1^2} - 1 \right)$$

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8 F_2^2} - 1 \right)$$

# \* Ressalto Hidráulico



Chow (1959)

Seção Retangular: 
$$F_1^2 = \frac{U^2}{g \cdot y}$$

$$F_1^2 = \frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot A^3}$$

# \* Perda de carga no Ressonamento

Perda de carga

$$\Delta H_{12} = H_1 - H_2$$

$$\Delta H = \left( y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

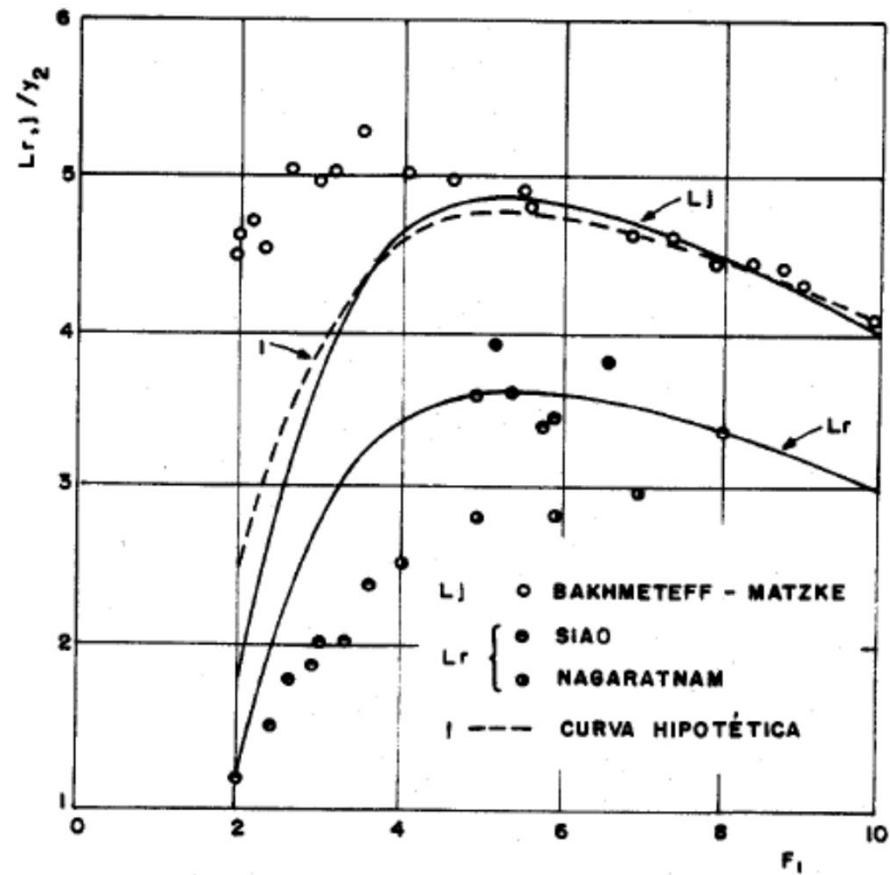
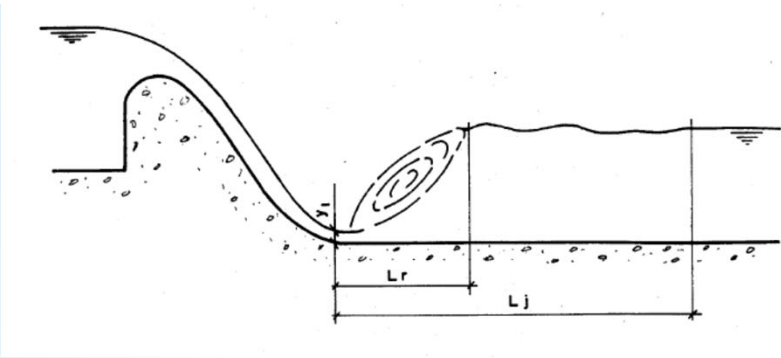
$$\Delta H = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 y_1 y_2} \text{ e a eficiência da dissipação é dada por}$$

$$\eta = \frac{\Delta H}{H_1}$$

# \* Comprimento do Ressalto

PESQUISADOR	ANO	FÓRMULA PROPOSTA
-Riegel, Beed	1917	$L \approx 5 (y_2 - y_1)$
-Safranez	1927	$L \approx 5,2 y_2$
-Knapp	1932	$L = (62,5 \frac{y_1}{H_1} + 11,3) \left[ \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} - (H_1 - H_2) \right]$
-Bakhmeteff- Matke	1932 1933	$L = 5 (y_2 - y_1)$
-Einwachter	1933	$L = (15,2 - 0,241 \frac{y_2}{y_1}) \left[ \left( \frac{y_2}{y_1} - 1 \right) - \frac{v_1 \left( \frac{y_2}{y_1} - 1 \right)}{\left( \frac{y_2}{y_1} \right)^2 \cdot g} \right]$
-Woycicki	1934	$L = (y_2 - y_1) \left( 8 - 0,05 \frac{y_2}{y_1} \right)$
-Smetana	1934	$L \approx 6 (y_2 - y_1)$
-Chertoussov	1935	$L = 10,3 y_1 (F_1 - 1)^{0,81}$
-Rage	1935	$L = 5,6 y_2$
-Aravin	1935	$L = 5,4 (y_2 - y_1)$
-Kinney	1935	$L = 6,02 (y_2 - y_1)$
-Posey	1941	$L \approx 4,5 - 7 (y_2 - y_1)$
-Wu	1949	$L = 10 (y_2 - y_1) F_1^{-0,16}$

# \* Comprimento do Ressalto



# \*Exercício

- \* Um vertedor descarrega em um canal retangular, suficientemente longo, uma vazão unitária de  $4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . O canal tem declividade de fundo de  $0,1 \text{ m}/\text{km}$ , revestimento de concreto ( $n=0,016$ ) e pode ser considerado largo. Ocorrendo ressalto neste canal, determine suas alturas conjugadas.