

**ANÁLISE ADIMENSIONAL DAS PRESSÕES MÍNIMAS NAS PROXIMIDADES DA QUINA DO DEGRAU AO LONGO DE UMA CALHA DE VERTEDOUROS EM DEGRAUS**

**INTRODUÇÃO**

A vazão vertida por uma barragem possui elevada energia potencial que, que pode vir a causar danos a jusante. uma das formas de dissipar parte desta energia é através da utilização de um vertedouro em degraus.



Vertedouro em degraus da Barragem Rio Sirinhaém (PE)



Vertedouro em degraus da Barragem do Rio São Bento (SC)



Modelo físico (MODELO LOH 1), localizado no Laboratório de Obras Hidráulicas LOH/IPH/UFRGS



Modelo físico (MODELO LOH 2), localizado no Laboratório de Obras Hidráulicas LOH/IPH/UFRGS

**OBJETIVO**

Comparar as pressões mínima extremas com 5% de probabilidade de não excelência através de um adimensional que melhor correlacione diferentes geometrias de modelos físicos e descrever o desenvolvimento das pressões ao longo de uma calha em degraus.

**METODOLOGIA**

Os dados brutos foram coletados de modelagens físicas realizadas por diferentes autores e no LOH/IPH/UFRGS. As geometrias utilizadas estão indicadas na tabela 1. Para análise adimensional dos dados propôs-se dividir o Percentil 5% pela carga total no degrau (Z) e o comprimento (L) pela altura crítica (h<sub>c</sub>).

AUTORES	ALTURA DO ESPELHO (cm)	DECLIVIDADE DA CALHA	q <sub>min</sub> (m <sup>3</sup> /s/m)	q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s/m)	F* <sub>min</sub>	F* <sub>máx</sub>
Sanagiotto (2003)	3	53,13°	0.05	0.7	7,391	103,469
	6		0.05	0.7	2,613	36,582
	9		0.1	0.7	2,845	19,913
Dai Pra (2004)	3	45°	0.03	0.7	3,072	86,022
	6		0.05	0.7	2,172	30,414
	9		0.1	0.7	2,365	16,555
Conterato (2011)	6	53,13°	0.1	0.3	5,226	15,678
LAHE (2018)	9	53,13°	0.1	0.36	2,845	10,117
Modelo I LOH (2018)	6	53,13°	0.1	0.37	5,226	19,205

Em que, F\* é o Número de Froude no degrau.  
Tabela 1 – Descrição das características dos modelos

O estudo de pressões nas quinas dos degraus é importante pois é lá onde ocorrem os extremos de pressão (máximos e mínimos). No espelho do degrau ocorre a incidência de pressões extremas negativas e no patamar extremas positivas, que podem vir a causar danos na estrutura. A figura 1 esquematiza o desenvolvimento das pressões ao longo de um degrau.

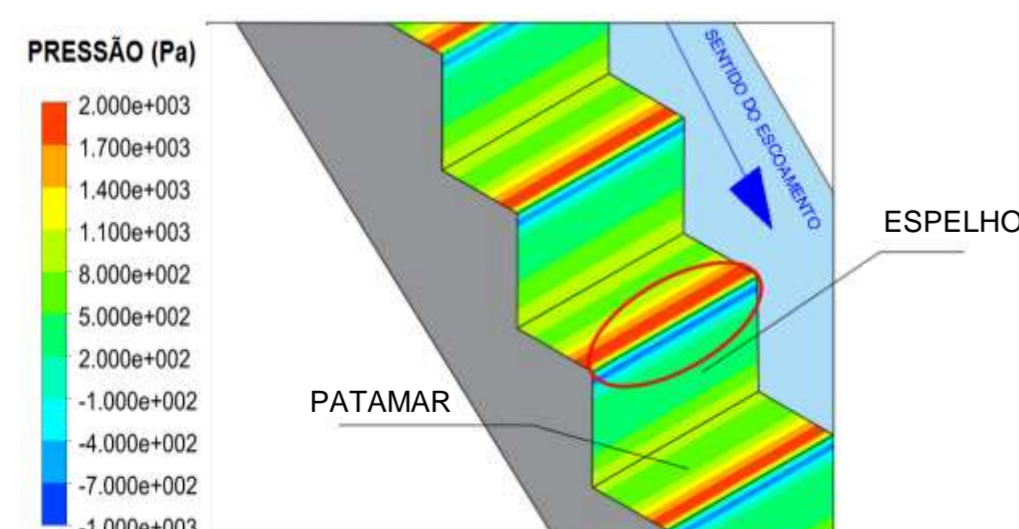


Figura 1. Descrição do desenvolvimento de pressão em um degrau.  
FONTE: LOH/IPH/UFRGS.

Lista de Símbolos		
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO
$Y_o$	Altura da ogiva	-
$Y_d$	Distância vertical a partir do primeiro degrau	-
$h_c$	Altura Crítica	$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$
$Z$	Carga total	$Z = 1,5h_c + Y_o + Y_d$
$h$	Altura do espelho	-
$l$	comprimento do patamar	-
$N$	Número do degrau	-
$L$	Comprimento longitudinal da calha a partir do primeiro degrau	$L = N\sqrt{h^2 + l^2}$
$k$	rugosidade do canal	$k = hc \cos \theta$
$F^*$	Froude do degrau	$F^* = \frac{q}{\sqrt{gk^3 \sin \theta}}$

*unidades em metros*

Tabela 2 – Descrição da simbologia usada pelo autor.

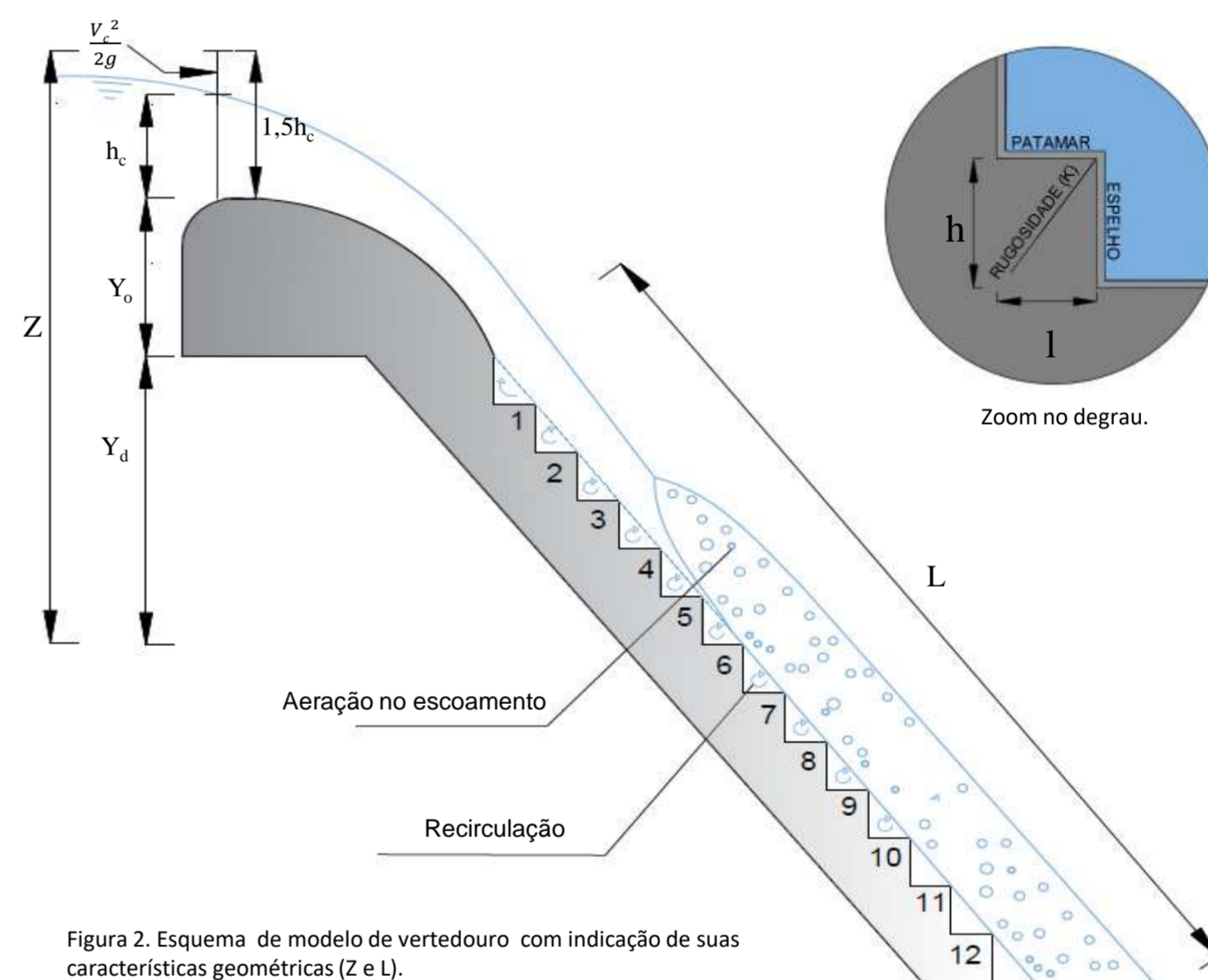


Figura 2. Esquema de modelo de vertedouro com indicação de suas características geométricas (Z e L).

**RESULTADOS PRELIMINARES**

O adimensional forneceu uma descrição do escoamento ao longo da calha, tanto para o espelho como para o patamar. Pode-se notar mudanças no comportamento das pressões ao crescimento da relação L/h<sub>c</sub>, indicando mudanças no comportamento do escoamento:

- $2 \leq L/h_c \Rightarrow$  zona não aerada
- $2 \leq L/h_c \leq 4 \Rightarrow$  zona de início de aeração
- $L/h_c \geq 10 \Rightarrow$  aeração total.

Outras análises estatísticas serão feitas para confirmar o observado.

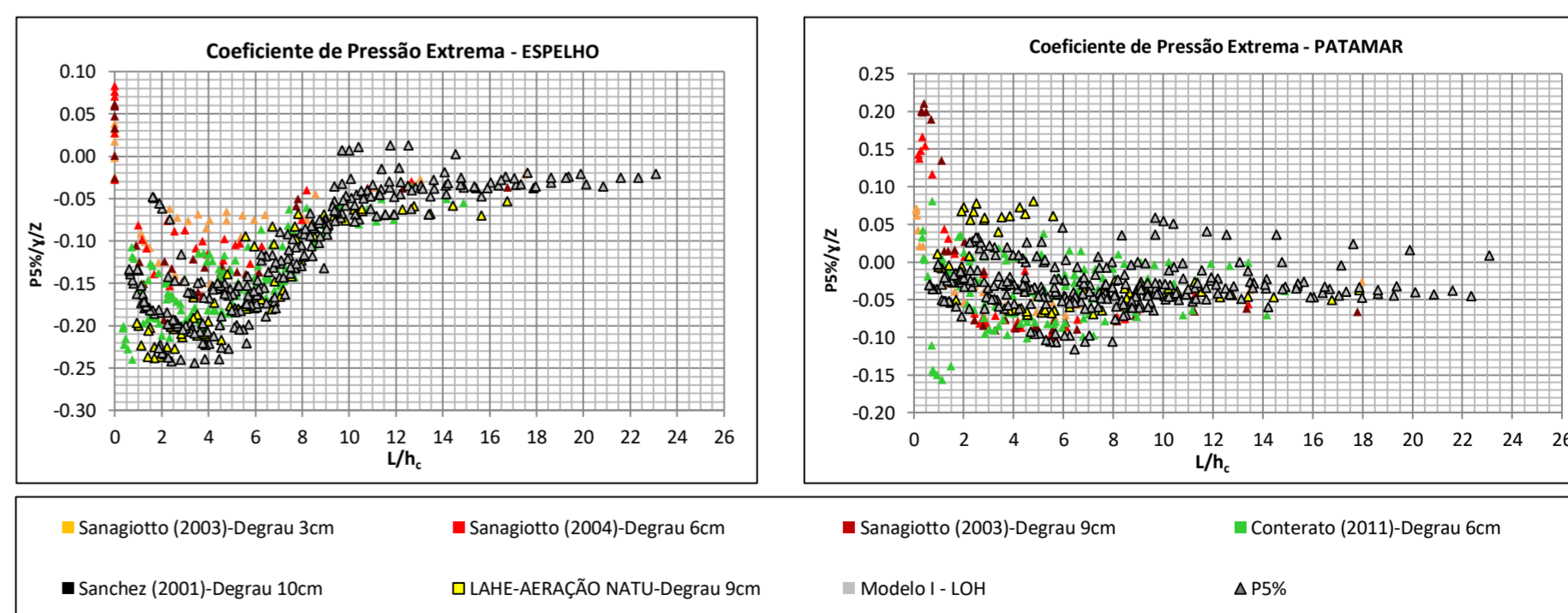


Gráfico 1 e 2 – Valores das pressões mínimas extremas com 5% de probabilidade de excedência adimensionadas ao longo da calha dos modelos nos espelhos e patamares dos degraus.

**AGRADECIMENTO**

À Furnas Centrais Elétricas S. A.  
Aos colegas do Laboratório de Obras Hidráulicas.