

## INFLUÊNCIA DOS FLARING PIERS NA CAPACIDADE DE DESCARGA DE VERTEDOUROS

<sup>1</sup>Carolina Fontanelli, <sup>2</sup>Carlos Olavo Slota Ovelar, <sup>3</sup>Carlos Eduardo Neiva de Lima Michaud, <sup>4</sup>Fernando Ribas Terabe e <sup>5</sup>Ingrid Illich Muller

<sup>1,3,5</sup> Companhia Paranaense de Energia - Copel, Endereço: Rua José Izidoro Biazeto, 158, Bloco A sala 277, Curitiba - PR, Brasil;  
<sup>2,4</sup> Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC CEHPAR, Endereço:  
Centro Politécnico da UFPR, Rodovia BR-116, Km 98, nº 8813, Jardim das Américas, Curitiba - PR - Brasil.  
E-mail: carolina.fontanelli@copel.com, carlos.ovelar@lactec.org.br,  
michaud@copel.com, fernando.terabe@lactec.org.br, ingrid.muller@copel.com

### Introdução

Um dos temas mais importantes no que se refere aos critérios adotados nos projetos de vertedouros é a forma como é feita a dissipação de energia a jusante.

Nesse sentido, a partir da década de 70 a China iniciou o desenvolvimento de soluções inovadoras com o objetivo de reduzir os processos erosivos a jusante de barragens, entre as quais os *flaring piers* chamam atenção pela sua vasta aplicação. Essa estrutura consiste basicamente no alargamento gradual dos pilares do vertedouro, na direção do escoamento, estreitando a seção da calha entre eles. Esse estreitamento modifica as características do escoamento efluente do vertedouro, aumentando a eficiência da dissipação de energia (GAO *et al.*, 2000).

No entanto, a alteração na geometria dos pilares próximo à crista do vertedouro, pode reduzir sua capacidade de descarga. O presente trabalho visa avaliar a influência dos *flaring piers* na capacidade de descarga de vertedouros.

Este artigo é um produto do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), intitulado “Desenvolvimento de critérios para dimensionamento de bacias de dissipação de energia com uso de *flaring piers* utilizando modelo hidráulico reduzido”.

### Flaring Piers

O princípio de funcionamento dos *flaring piers* é a contração rápida do escoamento proporcionada pelo alargamento dos pilares, levando a um jato estreito e alto ao longo da calha do vertedouro. Logo após o final dos pilares, ocorre a expansão do escoamento e o choque dos jatos efluentes, com a formação de vórtices turbulentos de diferentes tamanhos, e a criação de uma situação propícia para a incorporação de ar (GUO *et al.*, 2006). A Figura 1 apresenta o vertedouro da usina de Daschaoshan (China) em operação, onde é possível visualizar o padrão do escoamento proporcionado pelos *flaring piers*.



Figura 1.- Vetedouro da usina de Daschaoshan em operação

Os principais parâmetros geométricos que definem os *flaring*

*piers* são a razão de contração ( $\eta$ ), que representa o percentual de estreitamento da calha do vertedouro, e o ângulo de deflexão ( $\theta$ ), que impacta diretamente na mudança de direção das linhas de corrente do escoamento (LARA, 2011).

Além da variação da geometria em sua seção longitudinal (no sentido do escoamento), os *flaring piers* também apresentam variações no formato de sua seção transversal. Os formatos mais comuns dos *flaring piers* possuem seção transversal retangular, em formato de “Y” e “X”, conforme ilustrado na Figura 2. O formato de pilar mais aplicado nas obras chinesas é o tipo “Y” (Zhang, Wu e Zheng, 2011).

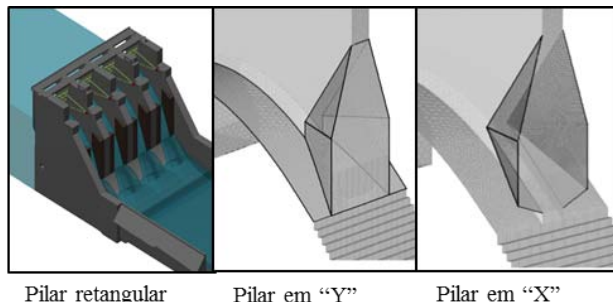


Figura 2.- Formatos usuais de *flaring piers*.

No presente estudo será apresentada uma comparação da capacidade de descarga de vertedouros convencionais com os providos de *flaring piers* de seção transversal retangular e em “Y”.

### Metodologia

Para a avaliação da influência dos *flaring piers* na capacidade de descarga de vertedouros foram realizados ensaios em modelo hidráulico reduzido seccional, operando segundo o critério de semelhança de Froude, de um vertedouro típico, construído na escala geométrica de 1:50 e instalado em um canal de testes do laboratório de hidráulica do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento LACTEC/CEHPAR. A Figura 3 apresenta o modelo hidráulico reduzido.



Figura 3.- Modelo hidráulico reduzido utilizado na pesquisa.

As características das alternativas ensaiadas, com pilares convencionais (sem alargamentos), pilares alargados com seção retangular e em “Y”, estão apresentadas na Tabela 1. O início do alargamento dos pilares das alternativas foi definido utilizando como referência orientações de Mo *et al.* (2007).

Tabela 1.- Alternativas ensaiadas

Alternativa	Seção	$\eta$ [adm]	$\theta$ [°]	Z (m)
1	Convencional (sem alargamento)	1,00	0	-
2	Retangular	0,30	21,64	6,50
3	Retangular	0,40	18,78	6,50
4	Retangular	0,40	21,80	11,04
5	Retangular	0,45	21,80	11,04
6	Retangular	0,50	21,80	11,04
7	Retangular	0,55	21,80	11,04
8	Y	0,45	21,80	14,00
9	Y	0,50	21,80	14,00
10	Y	0,60	21,80	14,00
11	Y	0,70	21,80	14,00

A Figura 4 apresenta uma vista das alternativas 1, 5 e 8.



Alt 1

Alt 5

Alt 8

Figura 4.- Alternativas ensaiadas com pilar convencional, retangular e em “Y”

Foram ensaiadas três vazões específicas: 98,7  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$ , 141,2  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$  e 180,9  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$  (valores de protótipo).

## Resultados

A influência dos *flaring piers* na capacidade de descarga de vertedouros foi avaliada por meio da comparação entre os coeficientes de descarga das alternativas estudadas. Utilizaram-se sempre como referência os resultados obtidos nos ensaios realizados com os pilares convencionais (Alternativa 1).

Para os ensaios realizados com as vazões específicas de 98,7  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$  e 141,2  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$  não foram detectadas diferenças significativas nos coeficientes de descarga das alternativas dotadas de *flaring piers* quando comparadas com a alternativa convencional.

A Tabela 2 apresenta o resultado dos ensaios realizados para a vazão de 180,9  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$ .

Tabela 2.- Ensaio com vazão específica de 180,92  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$

Alternativa	Coefficiente de Descarga [ $\text{m}^{1/2}\text{s}^{-1}$ ]	$\Delta$ [%]
1	2,18	100,0
2	1,98	90,9
3	2,09	95,8
4	2,14	98,2
5	2,14	98,3
6	2,15	98,5
7	2,15	98,7
8	2,16	99,4
9	2,16	99,4
10	2,17	99,5
11	2,17	99,6

No ensaio com a vazão de 180,92  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$ , os *flaring piers* com formato retangular exerceram influência, reduzindo a capacidade de descarga do vertedouro. Destaca-se que para a Alternativa 2 ( $\eta = 0,3$ ; retangular) a perda no coeficiente de descarga foi de quase 10%.

Para essa mesma vazão, as alternativas com formato em “Y” não exerceram influência significativa (menor que 1%) na capacidade de descarga, o que demonstra que esta alternativa pode ser utilizada como benefício para redução nos processos erosivos a jusante de vertedouros sem prejudicar sua capacidade de descarga.

## Referências bibliográficas

Gao, J.; Liu, Z.; Guo, J. (2000). *Energy Dissipation For High Dams. Large Dams in China – A Fifty Year Review*. Chinese National Committee on Large Dams, China.

Guo, J.; Wu, Y.; Zhang, D.; Sun, S.; Liu, J. (2006). *Recent Achievements on the Hydraulic Research in IWHR*. Recent Developments on Hydraulic Structures – IAHR.

Lara, R. (2011). *Utilização de Defletores em Fenda e Pilares Alargados para Redução da Erosão Provocada por Vertedouros com Salto de Esqui*. Dissertação de Mestrado, UFPR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Curitiba, Brasil.

Mo, Z.; Wu, C.; Lu, H.; Wang, B.; Hu, Y. (2007). *Relationship of Location of Flaring Gate Pier, Froude Number at Section of Starting Flare and Weir Head*. Journal of Sichuan University

Zhang, T.; Wu, C.; Zheng, Q. (2011). “Comparison on Somatotype of X- and Y-shape Flaring Gate Pier Connected with Stepped Spillway”. *Advanced Materials Research*, Vol. 255-260, pp. 3661-3665.