

## Estimativa das pressões críticas a jusante de comportas de setor invertidas instaladas nos condutos de enchimento e esgotamento de eclusas

Mariane Kempka, Marcelo Giulian Marques

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

kempka.mariane@gmail.com; mmarques@iph.ufrgs.br

Mauricio Dai Prá

Universidade Federal de Pelotas - Campus Porto – Pelotas

mdaipra@gmail.com

Cássius Palauro

Jacarepaguá – Rio de Janeiro

cassiuspf@hotmail.com

Recebido: 18/12/13 - revisado: 31/03/14 - aceito: 30/04/14

---

### RESUMO

*A superfície, do teto e da base das galerias, situada a jusante das comportas de operação do sistema de enchimento e esvaziamento das câmaras das eclusas estão sujeitas a danos provocados pela ação do escoamento. Este fenômeno se agrava com o aumento do desnível a ser vencido. O conhecimento das condições de operação, que possam vir a causar danos, é fundamental no projeto deste tipo de estrutura. Esse trabalho, procura analisar o comportamento da distribuição longitudinal das pressões a jusante das comportas de segmento invertida no sistema de enchimento/esvaziamento, de maneira a inferir a possibilidade de ocorrência de danos na superfície do teto ou da base da galeria. Através desta análise foi possível definir curvas que, em função da abertura da comporta, podem auxiliar na previsão de danos na galeria a jusante das comportas. Para cada porcentagem de abertura foi determinado três valores de CP's, os quais foram calculados a partir das pressões médias, pressões 1% e pressões 0,1%. A estes valores foram ajustadas curvas que caracterizam a ocorrência de cavitação em: incipiente, sem danos aparentes; crítica, quando ruídos e vibrações podem ser identificados; e cavitação de bloqueio, situação em que ocorre erosão da superfície sólida a jusante da comporta.*

**Palavras Chave:** Eclusa. Comporta segmento invertida. Pressões hidrodinâmicas.

---

### INTRODUÇÃO

A produção de energia elétrica no Brasil se dá, em 75% por meio de hidrelétricas, no plano mundial o país ocupa o segundo lugar em maior consumo de energia elétrica de fonte hídrica ficando atrás apenas da China (ANEEL, 2008). O uso desta matriz se deve à disponibilidade hídrica do país e ao fato de ser uma energia renovável e limpa, além de proporcionar o planejamento estratégico do uso da energia. Por outro lado, os barramentos podem ser empecilhos no que tange à navegabilidade dos rios. Da mesma forma que o país tem um imenso potencial hidroenergético, o mesmo tem grande potencial hidroviário. As hidrovias são o meio mais barato para transportar cargas volumosas em grandes distâncias. No caso particular do Rio Grande do Sul, esse modal transporta apenas 4% das cargas no Estado (CIGANA, 2013) enquanto no Brasil o percentual sobe para 13%, sendo que o Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP) planeja aumentar a participação das hidrovias na matriz de transporte para 25% nos próximos dez anos. De acordo com Cigana (2013) além do custo menor, o transporte hidroviário é menos poluente e, se fosse incentivado, ajudaria a desafogar as rodovias. Carregar uma chata com capacidade para

cem contêineres significa retirar cem caminhões das estradas, contribuindo para a redução de emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis. Dentro deste cenário, tramita no Congresso o projeto de lei 209/2007 que prevê a construção de eclusas de navegação junto às barragens, beneficiando assim o transporte por meio das hidrovias e dando continuidade à exploração da energia elétrica de origem hídrica.

Este trabalho se insere no contexto da infraestrutura nacional devido à necessidade de se conhecer o funcionamento das estruturas de elevação para desenvolvê-las da forma mais econômica e segura, atingindo o máximo desempenho, da possibilidade de interligação de dois setores da economia indispensáveis ao desenvolvimento socioeconômico e, aos expressivos investimentos que os setores demandam.

As eclusas se constituem, basicamente, por uma câmara, acessos de montante e jusante, sistema de enchimento e esgotamento e sistema de distribuição e restituição (Figura 1). São, basicamente, caracterizadas quanto ao tamanho do desnível que a estrutura hidráulica possibilita transpor. A queda de uma eclusa é a diferença entre os níveis de água de montante e de jusante. United States of America(1995) classifica as eclusas em baixa queda, nas quais os desníveis atingem até 10 metros,

eclusas de média queda, entre 10 e 15 metros, e eclusas de alta queda, que apresentam desníveis acima de 15 metros. Porém, o valor da queda hidráulica não define a concepção do funcionamento, pois por um longo período podem ocorrer variações no valor da queda devido ao regime fluvial. Um sistema hidráulico corretamente projetado, considerará todas as quedas possíveis, suas permanências, suas probabilidades e seus tempos de operação cabíveis.

Câmaras de alta queda podem ser necessárias em situações específicas de navegação, em geral em trechos de rios com declive acentuado ou em ligações entre bacias. O caso comum no Brasil é a situação de barragens projetadas para múltiplos usos, onde prevalece o interesse da geração de energia hidrelétrica que exige alturas significativas para maior geração.

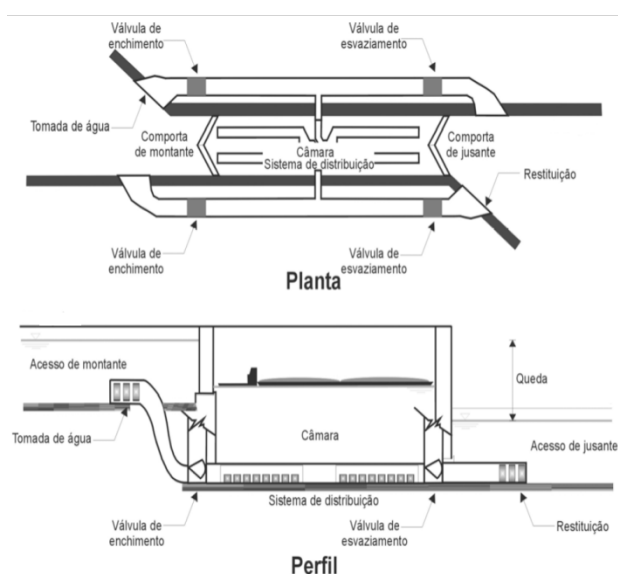


Figura 1 - Esquema e componentes de uma eclusa (adaptada de UNITED STATES OF AMERICA, 2006)

Dentre as maiores dificuldades no projeto e na operação de eclusas estão a previsão de:

- ondulações no interior da câmara (segurança para as embarcações);
- esforços nas amarras (choque nas paredes) e;
- altas velocidades no interior dos condutos e, consequentemente, grande variação na amplitude das pressões e ocorrência de pressões negativas a jusantes das comportas que podem provocar danos na superfície do concreto (erosões e/ou cavitação).
- Estes problemas estão ligados à lei de operação das comportas do sistema de enchimento e esvaziamento do sistema e da altura de queda, ou seja, desnível a ser vencido, porcentagem da abertura e velocidade de abertura da comporta.

O presente trabalho faz parte do projeto Análise dos Esforços Hidrodinâmicos a Jusante de Válvulas de Sistemas de Enchimento/Esvaziamento de Eclusas de Navegação” subsidiado

pela Financiadora de Estudos e Projetos, FINEP, no âmbito do CT-Aquaviário, em um projeto em rede entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por meio do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, a Universidade Federal de Pelotas (UFPel), a Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) e a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), com a colaboração da Eletrobrás FURNAS.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos por meio de modelagem física (Figura 2) realizada no Laboratório de Obras Hidráulicas do Instituto de pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

## PROBLEMÁTICA

Inicialmente, nas eclusas de navegação utilizavam-se comportas tipo vagão para o controle do escoamento de enchimento e esvaziamento da câmara, porém com a evolução dos estudos hidráulicos e o aumento dos desníveis a serem vencidos, estas foram, aos poucos, sendo substituídas por comportas tipo segmento invertida (PALAURO, 2012).



Figura 2 - Vista geral do modelo físico utilizado

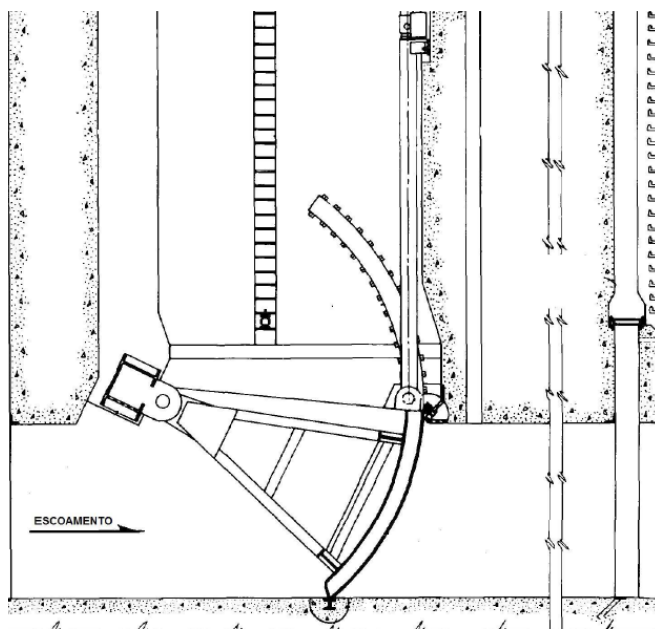


Figura 3 - Comporta tipo segmento invertida (adaptada de UNITED STATES OF AMERICA, 1975)

Dourado (1986) aponta como principais razões da substituição das comportas vagon por setor invertida (Figura 3) a maior facilidade de acionamento devido à diminuição dos efeitos de atrito, além da ocorrência de menores vibrações devido à geometria das mesmas. Sendo assim, todas as eclusas construídas nos Estados Unidos após 1940 foram contempladas com comportas tipo segmento invertida. A incorporação de ar pelo poço das comportas também foi um motivador para a inversão da posição das comportas em aquedutos de eclusas.

### Escoamento sob comportas

Nos escoamentos sob comportas ocorre uma contração no fluxo formando um jato, tornando a seção útil do escoamento menor e, conseqüentemente, aumentando as velocidades. Essa contração é denominada de “vena contracta” e nela ocorrem pressões baixas e, conseqüentemente, altas velocidades que podem causar o desgaste pela ação abrasiva do fluido que pode conter partículas sólidas em suspensão. Segundo Toledo (2002), outra possibilidade de danos em superfícies hidráulicas é por cavitação, que é relacionada a pressões baixas, menores do que a pressão de vapor da água, que podem levar a formação de bolhas de vapor do líquido, que, ao colapsarem junto à superfícies sólidas podem produzir desgaste e erosão.

A erosão e a cavitação a jusante das comportas são fenômenos diferentes, mas que, neste caso, podem ocorrer simultaneamente ou, após o aparecimento de uma ou de outra. A erosão, segundo Toledo (2002), é o trabalho mecânico de desgaste realizado pelas águas correntes ou pelo vento. A desintegração progressiva de um sólido se dá pela ação, abrasiva de gases, de fluidos ou sólidos em movimento. Já a cavitação, de acordo com Dourado (1986), é um fenômeno que ocorre quando a pressão local, à temperatura ambiente, em um líquido, torna-se igual à pressão de vapor deste líquido, formando-se então bolhas de vapor que são carregadas pelo escoamento. Tais bolhas ao chegarem à região do escoamento com pressão maior são implodidas. O colapso dessas bolhas origina pressões locais elevadas, gerando ruídos, flutuação de pressão e vibração, podendo causar erosão da superfície do concreto.

A deterioração da superfície ocorre rapidamente após o início da ocorrência da erosão ou cavitação, causando uma aparência áspera e desgastada na superfície sólida. A repetição dos esforços provoca deterioração do material e o deslocamento de pequenos pedaços, criando irregularidades na superfície que agravam o processo. Tanto a cavitação quanto a erosão são processos progressivos e cumulativos e podem ocorrer simultaneamente.

### METODOLOGIA

Os ensaios para a determinação da distribuição longitudinal das pressões a jusante da comporta de segmento invertida foram realizados em um modelo hidráulico de laboratório baseado na concepção de uma eclusa genérica de alta queda. Esta estrutura foi considerada como sendo um modelo na escala 1:16, ou seja, a altura da galeria de 4,0 m, no modelo

representa uma altura de 0,25 m. Um esquema do modelo que contempla um aqueduto no qual está instalada a comporta está apresentado nas Figuras 4 e 5.

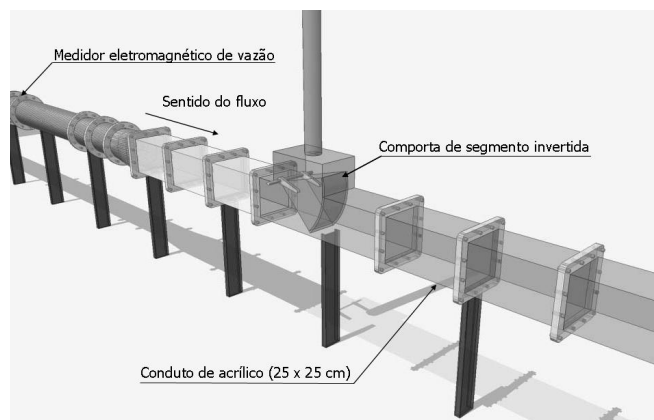


Figura 4 - Representação da bancada de ensaios

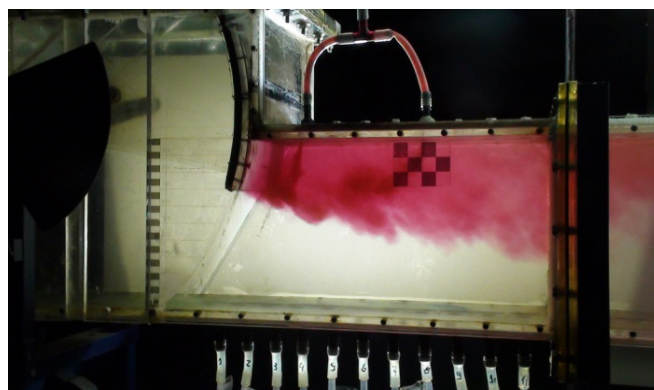


Figura 5 - Corte longitudinal do modelo experimental

O modelo hidráulico é composto por um sistema de alimentação, de seção circular com diâmetro nominal de 250 mm, ao qual estão associados: um medidor de vazão eletromagnético e duas bombas (25 e 50 CV) com inversor de frequência que permite aduzir as diferentes vazões ensaiadas. Compõe a bancada de ensaios, também, um conduto principal, de seção quadrada com aresta de 250 mm e 8,90 m de comprimento, onde está instalada a comporta, sendo neste trecho realizadas as medições. A comporta é do tipo segmento invertida, com raio de 380 mm. Faz parte do sistema, ainda, uma chaminé de equilíbrio com altura de 2,50 m e um reservatório de jusante com volume total de 7,2 m<sup>3</sup>, que tem como função manter o escoamento afogado.

Durante a execução dos ensaios, realizados em regime permanente, foram registradas as pressões médias e “instantâneas” (junto ao fundo e ao teto da galeria), as aberturas da comporta e as vazões. As pressões médias foram registradas com a utilização de piezômetros imediatamente a jusante da comporta, tanto na base como no teto da tubulação, com os espaçamentos entre as tomadas de pressão variando entre 5 e 20 cm. As pressões “instantâneas” foram adquiridas por meio de transdutores de pressão, cujas características são descritas no Quadro 1, alocados, também, na base e no teto do conduto (Figura 6).

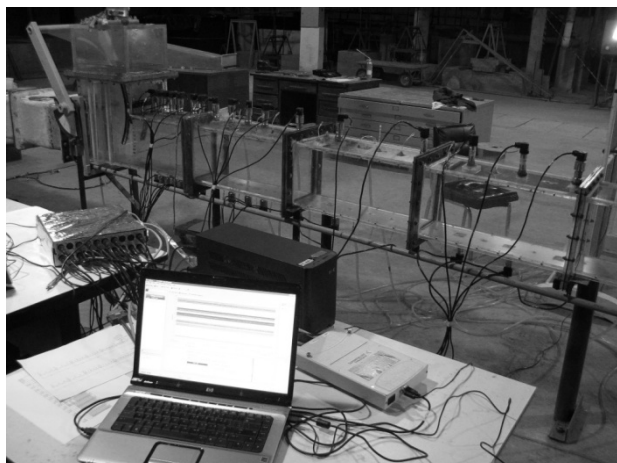


Figura 6 - Transdutores de pressão

Quadro 1 - Características dos transdutores de pressão

Qtd	Marca	Faixa de Operação (m.c.a)		Precisão (%F.E)	Posição
30	Sitron	-1,5	1,5	0,30	15 na base e 15 no teto do conduto
1	Hytronic	-2,1	4,9	0,25	A montante da comporta, na base.

Para cada condição de ensaio (vazão e abertura de comporta), foram adquiridos dados durante dez minutos com frequência de 512 Hz. Os sinais dos transdutores foram medidos através de uma placa de conversão analógico-digital National Instruments, modelo NI-USB 6225 de 16 bits, permitindo a aquisição e registros dos valores de pressão.

A indicação da porcentagem de abertura da comporta foi realizada por um indicador de abertura da comporta. As vazões foram registradas por meio de um macromedidor eletromagnético de vazão da marca Rosemount.

Os ensaios foram realizados em regime permanente para diferentes graus de abertura da comporta e vazões, sendo os parâmetros de vazão ( $Fr$ ) variaram entre 0,225 a 10,341.

$$Fr = \frac{Q}{B \cdot \sqrt{g \cdot ac^3}} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

$Fr$  é o parâmetro de vazão do conduto, número de Froude;

$Q$  é a vazão do ensaio ( $m^3/s$ );

$B$  é a largura da galeria;

$ac$  é a altura da *vena contracta* a jusante da comporta.

A altura da *vena contracta* foi definida a partir do coeficiente de

contração conforme explicitado por Battiston et al. (2009). Já a posição da *vena contracta* foi definida no ponto de ocorrência da menor pressão na base do conduto.

A variação do parâmetro de carga hidráulica ( $K_t$ ) ficaram entre 0,337 a 3,00 (equação 2)

$$K_t = \frac{H_t}{\frac{V^2}{2 \cdot g}} \quad \text{Equação 2}$$

onde:

$K_t$  é parâmetro de carga hidráulica;

$H_t$  é carga hidráulica. Diferença entre a carga de montante e a carga no fim da influência do escoamento da comporta. (mca);

$V$  é a velocidade média do escoamento na *vena contracta* a jusante da comporta (m/s);

$g$  é a aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ).

A saída do conduto de jusante esteve, em todos os experimentos, submersa garantindo que o conduto permanecesse afogado e o nível de jusante constante.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os estudos acerca deste tema utilizam, geralmente, a transposição de valores médios de pressão, entretanto a tendência atual é de se considerar as pressões em função das probabilidades de ocorrência, uma vez que os efeitos da erosão ou cavitação são cumulativos, ou seja, existem condições de operação que são desfavoráveis num intervalo de tempo e não em todo o tempo. Além disso, o emprego da análise por meio de probabilidades é mais confiável, uma vez que esta abordagem estatística permite melhor caracterizar as pressões mínimas atuantes, diferentemente da pura e simples utilização dos valores mínimos registrados nos ensaios que podem não ser representativos para o tamanho da amostra.

Inicialmente procurou-se verificar o comportamento das pressões, em nível médio, com 0,1% e 1% de probabilidade de não-excedência. As Figuras 7 e 8 mostram um exemplo do comportamento das pressões para a base e para o teto para

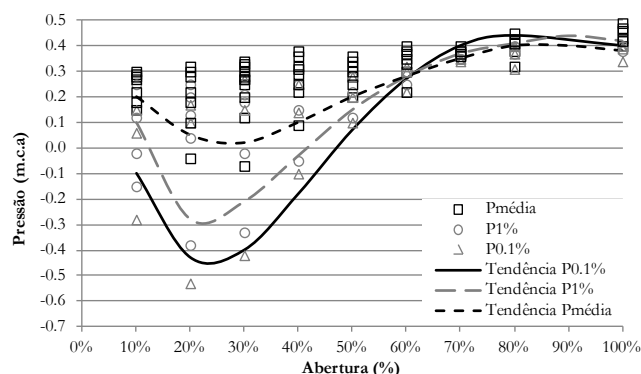


Figura 7 - Comportamento das pressões de diferentes probabilidades de ocorrência em função da abertura, para a base do conduto



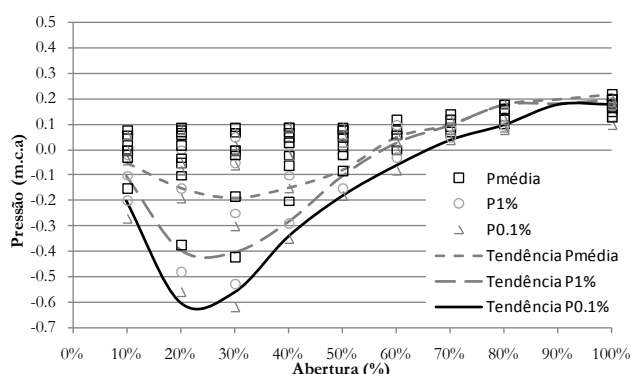


Figura 8 - Comportamento das pressões de diferentes probabilidades de ocorrência em função da abertura, para o teto do conduto

uma situação de  $Fr = 1,99$  e  $Kt$  = variando entre 1,41 a 2,57 em função do ângulo de abertura da comporta. As figuras permitem observar que as pressões brutas mínimas junto à base e o teto ocorrem para aberturas em torno de 25% e no modelo ficaram entornado de -0,45 mca na base e -0,60 mca no teto.

Observa-se através da análise dos dados obtidos nos ensaios que foi possível generalizar os resultados de maneira a permitir uma estimativa dos valores das pressões mínimas, que podem ocorrer à jusante da comporta para as diferentes condições de contorno ( $Fr$  e  $Kt$ ). Uma forma bastante usual de representar adimensionalmente as pressões é feita por meio do cálculo do coeficiente de pressão (equação 3).

$$C_p = \frac{P}{\frac{\rho V^2}{2 \cdot g}} \quad \text{Equação 3}$$

onde:

$C_p$  é o coeficiente no ponto considerado

$P$  é a pressão considerada no ponto (mca);

$V$  é a velocidade média do escoamento na vena contracta a jusante da comporta (m/s);

$g$  é a aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

Para a definição da pressão crítica que pode ocasionar danos na superfície do concreto da galeria, se considerou que o concreto resiste à tração máxima resultante de pressões da ordem de -6mca (PORTUGAL, 1975). Em função disto, fixou-se o seguinte critério de níveis de danos:

- a) para pressões  $P_{média} < -6$  mca, tem-se a zona de pressões na qual o concreto estará sujeito a esforços, que podem causar danos a estrutura, durante a maior parte do tempo – situação de bloqueio;
- b) para pressões  $P_{1\%} < -6$  mca, o conduto estará sujeito a esforços, que podem causar danos, durante um curto intervalo de tempo – situação crítica;
- c) para pressões  $P_{0,1\%} < -6$  mca, o conduto estará sujeito a esforços, que podem causar danos, durante um intervalo de tempo muito pequeno – situação incipiente.

De modo a avaliar os valores dos índices de cavitação problemáticos, ou seja, aqueles que possam indicar condições em que ocorrerão possíveis danos à estrutura, foram analisadas quais as vazões que causavam pressões negativas para cada uma

das porcentagens de abertura da comporta. Como, neste caso, busca-se os valores de pressão equivalentes a -6 mca (como esforço crítico) procurou-se o valor de -0,375 mca que é a pressão correspondente em modelo, considerando que a estrutura no laboratório estaria na escala de 1:16, tendo por base a semelhança de Froude. A Figura 9 exemplifica como isto foi efetuado.

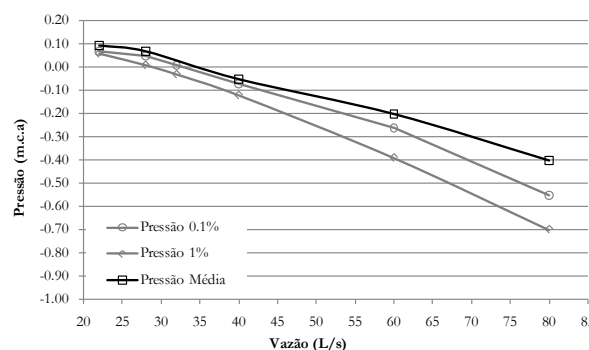


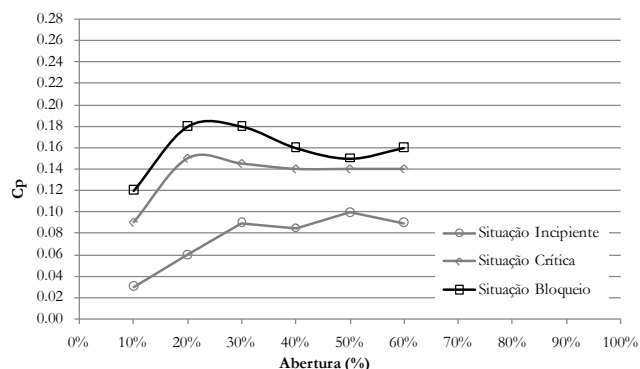
Figura 9 - Comportamento das pressões em função da vazão

A partir de figuras como a apresentada anteriormente, obteve-se os valores de vazão que causam a pressão limite de resistência do concreto. A vazão permitiu identificar a velocidade média do fluxo por meio da equação da continuidade e assim calcular o valor de  $C_p$  para a situação de bloqueio ( $C_{pmed}$ ), do valor do coeficiente de pressão crítico ( $C_{p1\%}$ ) e do valor do coeficiente de pressão crítico ( $C_{p0,1\%}$ ). O Quadro 2 apresenta os valores dos coeficientes de pressão de bloqueio, crítico e incipiente para o teto e a base em função da abertura.

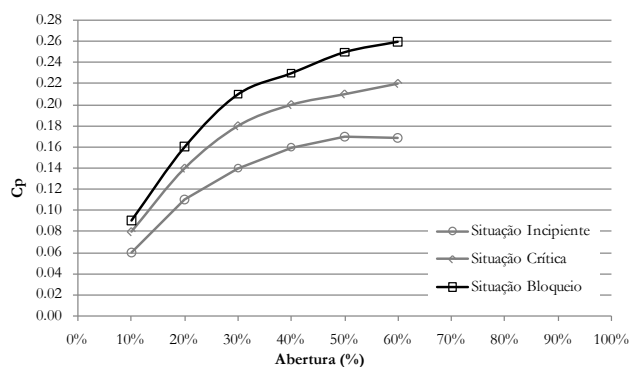
Quadro 2 - Índices de cavitação considerando pressão igual a -6 mca (-0,375 mca em modelo) para as diferentes probabilidades de ocorrência

TETO					
Média		P1%		P0.1%	
Aber-tura	$C_{pmed}$	Aber-tura	$C_{p1\%}$	Aber-tura	$C_{p0,1\%}$
10%	0.06	10%	0.08	10%	0.09
20%	0.11	20%	0.14	20%	0.16
30%	0.14	30%	0.18	30%	0.21
40%	0.16	40%	0.2	40%	0.23
50%	0.17	50%	0.21	50%	0.25
60%	0.17	60%	0.22	60%	0.26
BASE					
Média		P1%		P0.1%	
Aber-tura	$C_{pmed}$	Aber-tura	$C_{p1\%}$	Aber-tura	$C_{p0,1\%}$
10%	0.03	10%	0.09	10%	0.12
20%	0.06	20%	0.15	20%	0.18
30%	0.09	30%	0.15	30%	0.18
40%	0.09	40%	0.14	40%	0.16
50%	0.1	50%	0.14	50%	0.15
60%	0.09	60%	0.14	60%	0.16

Com os dados obtidos do Quadro 2 puderam, então, ser inferidas as curvas que determinam os níveis de danos aos quais a estrutura fica vulnerável. As Figuras 10 e 11, apresentam os limites para a ocorrência de cada situação (bloqueio, crítica e incipiente). Valores de coeficientes de pressão maiores que os indicados, não devem causar danos a estrutura.

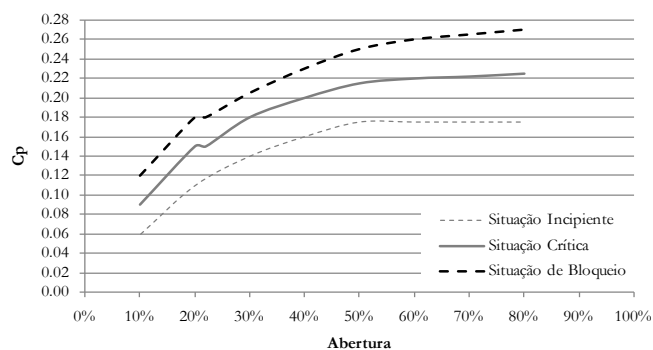


**Figura 10 – Curvas para os diferentes níveis de danos que a base do conduto poderá estar submetida**



**Figura 11 - Curvas para os diferentes níveis de danos que o teto do conduto poderá estar submetido**

Associando-se as Figuras 10 e 11 se obtém a envoltória das condições que podem ocasionar danos a superfície de concreto (situação de bloqueio, crítica e incipiente), como pode ser visto na Figura 12.



**Figura 12 - Envoltórias finais para os níveis de danos**

A área abaixo da curva de situação incipiente indica que a estrutura estará sujeita a pressões críticas durante a operação, mas durante um curto intervalo de tempo, sendo os efeitos percebidos somente após várias operações. Já a área abaixo da curva de limite de situação crítica indica que os esforços aos qual a estrutura deverá resistir serão aplicados durante um intervalo de tempo maior, sendo os danos percebidos com um número de operações menor. A área abaixo da curva de situação de bloqueio indica que os esforços de desgaste afetarão a estrutura na maior parte do tempo de operação da eclusa. Neste caso os danos serão notados quase que imediatamente, não devendo se permitir que a operação seja feita nessas condições.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos estudos experimentais e análises executadas foi possível concluir, quanto às zonas de possíveis danos à estrutura hidráulica, que até a abertura de, aproximadamente 22%, é na base do conduto que ocorrem danos incipientes e críticos. Após esta abertura o teto do conduto é a região mais suscetível às consequências das pressões mínimas. No que diz respeito à erodibilidade da superfície do concreto, a região mais suscetível ao fenômeno é o teto do conduto, independente da porcentagem de abertura, ou seja, se houver erosão do concreto na base, certamente já houve erosão da superfície do concreto no teto do conduto.

Espera-se que este estudo contribua para a compreensão do comportamento do escoamento a jusante de comportas tipo segmento invertida e para o dimensionamento de estruturas hidráulicas mais seguras e menos suscetíveis a efeitos prejudiciais especialmente nas condições de contornos sólidos em concreto. Entretanto, muito ainda tem-se a esclarecer e ampliar as conclusões. Para isto recomenda-se em estudos futuros:

- ensaaiar faixas de vazão (maiores  $Fr$ ) e cargas mais amplas (maiores  $Kt$ );
- analisar parâmetros estatísticos de assimetria, curtose das amostras de pressão visando encontrar leis de distribuição que possam permitir reproduzir as distribuições estatísticas das pressões provenientes do escoamento;
- analisar as frequências dominantes de fenômenos oscilatórios de cada amostra de pressão;
- correlacionar a ocorrência de pressões entre pontos distintos.

## AGRADECIMENTOS

Toda a equipe do Laboratório de Obras Hidráulicas (IPH/UFRGS) que vem se dedicando a esta pesquisa, À FINEP pelo incentivo financeiro no âmbito do CT-Aquaviário.

Ao Laboratório de Hidráulica Experimental de FURNAS Centrais Elétricas S. A. (LAHE/FURNAS) pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

- ANEE. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, –Aneel, 2008.
- BATTISTON C. C.; SCHETTINI, E. B. C.; CANELLAS, A. V. B. & MARQUES, M. G. Eclusas de navegação: caracterização hidráulica do escoamento a jusante das válvulas de enchimento/esvaziamento. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande, MS. *Anais...* Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/76ae18276017ed9ec4c62843676e4e7c\\_8e955f574187a0480de6534d329c80f8.pdf](http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/76ae18276017ed9ec4c62843676e4e7c_8e955f574187a0480de6534d329c80f8.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2013.
- CIGANA, C. Transporte Hidroviário à Deriva no Estado. *Jornal Zero Hora*, 31 mar. 2013. Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/economia/noticia/2013/03/transporte-hidroviario-a-deriva-no-estado-4091305.html>>. Acesso em: 23 maio 2013.
- DOURADO, C. L. *Aplicações e uso da medição de pressões em modelos de eclusas de navegação*. 1986. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- PALAURO, C. *Análise das pressões mínimas a jusante de comporta segmento invertida em eclusas de navegação*. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- PORTUGAL. Ministério do Equipamento Social e do Meio Ambiente – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. *Directivas para a colocação das comportas nos descarregadores das barragens*. Lisboa: [s.n.], 1975. Memória n. 469.
- TOLEDO, C. R. D. L. *Estudo de concreto de alto desempenho, visando aplicação em reparos estruturais*. 2002. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- UNITED STATES OF AMERICA. Department of the Army. Corps of Engineers. Office of the Chief of Engineers. *EM 1110-2-1610: engineering and design: hydraulic design of lock culvert valves*. Washington, DC: [s.n.], 1975 Disponível em: <<http://140.194.76.129/publications/engmanuals/em1110-2-1610/toc.htm>>. Acesso em: 27 maio 2011.
- UNITED STATES OF AMERICA. Department of the Army. CorpS of Engineers. Office of the Chief of Engineers. *EM 1110-2-2602: planning and design of navigation locks*. Washington, DC: [s.n.], 1995. Disponível em: <<http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-2-2602/toc.htm>> Acesso em: 27 maio 2011.

## *Estimate of critical pressures downstream from tainter gates installed in the filling and emptying conduits of locks*

### ABSTRACT

*The surface of the ceiling and base of the galleries located downstream from the locks operating the filling and emptying system of the lock chambers is subject to damage caused by flow action. This phenomenon becomes worse as the difference in level to be surmounted increases. Knowledge of operating conditions that could cause damage is essential to design this type of structure. The present paper attempts to analyze the behavior of the longitudinal distribution of pressures downstream from the tainter gates in the filling / emptying system, so as to infer the possibility that damage may occur on the surface of the ceiling or base of the gallery. With this analysis it was possible to define curves that, based on lock opening can help predict damage in the gallery downstream from the locks. For each percentage of opening three CP values were determined calculated from the mean pressures, 1% pressures and 0.1% pressures. For these values curves were fitted that characterize the occurrence of cavitation as: incipient, without apparent damage, critical, when noises and vibrations can be identified; and blocking cavitation, a situation in which the solid surface downstream from the lock is eroded.*

**Keywords ;** Lock. Tainter gate; Hydrodynamic pressures.