

REGIÃO DE OCORRÊNCIA DE PRESSÕES EXTREMAS INFERIORES AO LIMITE DE TRAÇÃO DO CONCRETO EM CONDUTOS RETANGULARES

HENRIQUE ALVES DE OLIVEIRA¹; BRUNA MOREIRA SELL²; MAURÍCIO DAI PRÁ³

¹Graduando em Engenharia Hídrica – CDTec/UFPEL – henrique.alves@ufpel.edu.br

²Graduando em Engenharia Hídrica – CDTec/UFPEL – bruna.sell@ufpel.edu.br

³Orientador, Professor Dr., CDTec/UFPEL – mdaipra@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Dotado de uma das maiores malhas fluviais do mundo segundo OLIVEIRA (2016), o Brasil faz uso de grande parte de seus corpos hídricos como fontes de energia. A utilização do potencial hidroenergético depende em grande parte dos casos de barramentos de grande dimensão, que tem por intuito de aumento da queda d'água. Tal prática ocasiona grandes diferenças de nível dentro do mesmo curso de água, o que impossibilita a utilização do mesmo como hidrovia. Para garantir o direito de usos múltiplos das águas, em 2015 foi promulgada a lei nº13.08, que impõe a construção conjunta de eclusas ou outros dispositivos de transposição de níveis.

A utilização de dispositivos de eclusagem possui foco na movimentação segura entre grandes desniveis, possibilitando o uso do curso de água como hidrovia. O princípio básico que rege o funcionamento das eclusas é o dos vasos comunicantes, que enchem ou esvaziam o compartimento para alcançar a altura desejada, assim permitindo que a navegação tenha continuidade.

Em função das dimensões das obras, usinas hidrelétricas possuem em conjunto comumente eclusas do tipo de alta queda, com desniveis maiores que 15 metros, que, de acordo com ALFREDINI e ARASAKI (2009), possuem enchimento e esvaziamento por meio de tubulações retangulares localizadas no fundo da eclusa. Segundo OLIVEIRA (2016), em função da abertura das comportas, as altas velocidades de escoamento causam choques com as paredes, teto e base dos condutos. A alteração gerada pela abertura das comportas que controlam a entrada de água nas eclusas pode causar por consequência da turbulência e vórtices na água, o aparecimento de pressões prejudiciais às paredes dos condutos.

Com o uso comum do concreto como revestimento dos condutos, a ocorrência de pressões negativas pode contribuir para o desgaste deste material. De acordo com KORMANN (2002), abrasão, cavitação e ataques químicos são os principais causadores do desgaste no concreto.

Com base em PINHEIRO (2007), o valor da máxima resistência à tração do concreto é uma carga de pressão de - 6 m.c.a. Em situações em que há operação próxima deste valor, o sistema hidráulico estará em operação crítica, expondo o concreto a esforços dos quais podem desencadear danos estruturais em curto período de tempo.

Este trabalho busca determinar a região onde as pressões extremas mínimas obtidas a jusante da comporta, na base de um conduto retangular e avaliar riscos de danos ao concreto, com base no limite de tração admissível no concreto.

2. METODOLOGIA

A coleta de dados foi obtida a partir de modelo físico, com escala reduzida de 1:32, com altura do conduto a ser projetado de 4 metros de altura. O modelo reduzido possui sistema de comporta de segmento invertido, chaminé de equilíbrio, bomba, dois reservatórios e peças especiais a fim de conduzir e monitorar as características hidráulicas do escoamento. Os valores de pressão foram obtidos com a utilização de transdutores de pressão, com sua coleta feita no trecho a jusante da comporta, sendo eles na parte da base e do teto do conduto. Foram computados também dados de condições dos ensaios, como vazão, grau de abertura da comporta e a carga de pressão média. Tais procedimentos encontram-se detalhadamente descritos em OLIVEIRA (2016).

Com o intuito de focar na ocorrência de baixas pressões em condutos revestidos em concreto, buscou-se identificar as condições de vazão e abertura, que em conjunto, podem apresentar tal problemática. O valor de carga de pressão limite a tração no concreto de -6 m.c.a proposto por PINHEIRO (2007), foi adaptado para a escala do modelo estudado, o que resultou em um valor equivalente, de -0,1875 m.c.a. Foram avaliadas, para as regiões de base do conduto, quatorze vazões e nove aberturas distintas.

Com base nas aberturas e vazões diferentes, foi gerada uma figura, que no eixo das abscissas têm-se a distância (X) no trecho a jusante da comporta e no eixo das ordenadas a carga de pressão extrema mínima (P_x/γ), aqui sendo adotados aqueles valores correspondentes a probabilidade de não-excedência de 0,1%. Após a etapa de construção dos gráficos para a base e para o teto, foi identificado o valor da distância correspondente ao ponto limite, para as vazões que apresentaram valores de carga de pressão inferiores ao limite de tração do concreto. A identificação desta distância permite detectar até qual distância do ponto jusante a comporta o conduto estará mais propenso aos danos causados pelas pressões extremas mínimas.

Posteriormente foi realizada a análise adimensional das pressões extremas mínimas seguindo a proposta do Teorema PI, de acordo com WHITE (2002), buscando a construção de um grupo adimensional representativo. Este estudo priorizou as variáveis de fácil aquisição e que, de modo conjunto, exerçam influência direta no escoamento e na carga de pressão média. Foram utilizados dez parâmetros hidráulicos para a análise adimensional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise adimensional realizada conduziu à construção de diversos grupos adimensionais, que, combinados, apresentaram diferentes comportamentos. Assim, os grupos que proporcionaram o melhor agrupamento dos dados foram aqueles apresentados nas equações 1 e 2.

$$\Pi_7 = \frac{hf \cdot v}{Q}$$

Equação 1

Onde:

h_f é a perda de carga produzida pela comporta,
 Q é a vazão, e
 v é a viscosidade cinemática da água

$$\text{Adimensional de Posição} = \frac{X_{\text{limite}}}{H_{\text{abertura comporta}}}$$

Equação 2

Onde:

X_{limite} é a distância acumulada da comporta até o ponto de ocorrência da pressão extrema mínima, e
 $H_{\text{abertura comporta}}$ é a abertura da comporta.

A partir da análise adimensional elaborada no presente estudo, foi gerado um gráfico (Figura 1) com os dados obtidos para a base do conduto. No eixo abcissas estão plotados os pontos limites que correspondem ao limite máximo de tração do concreto, enquanto que no eixo das ordenadas encontram-se os adimensionais empregados neste estudo.

É possível identificar na Figura 1, que o grupo de dados tem um comportamento tendencial do qual foi ajustado segundo uma equação do tipo polinomial de segundo grau, resultando em bom ajuste com $R^2 = 0,9226$. O resultado positivo pode ser confirmado devido à grande quantidade de dados analisados.

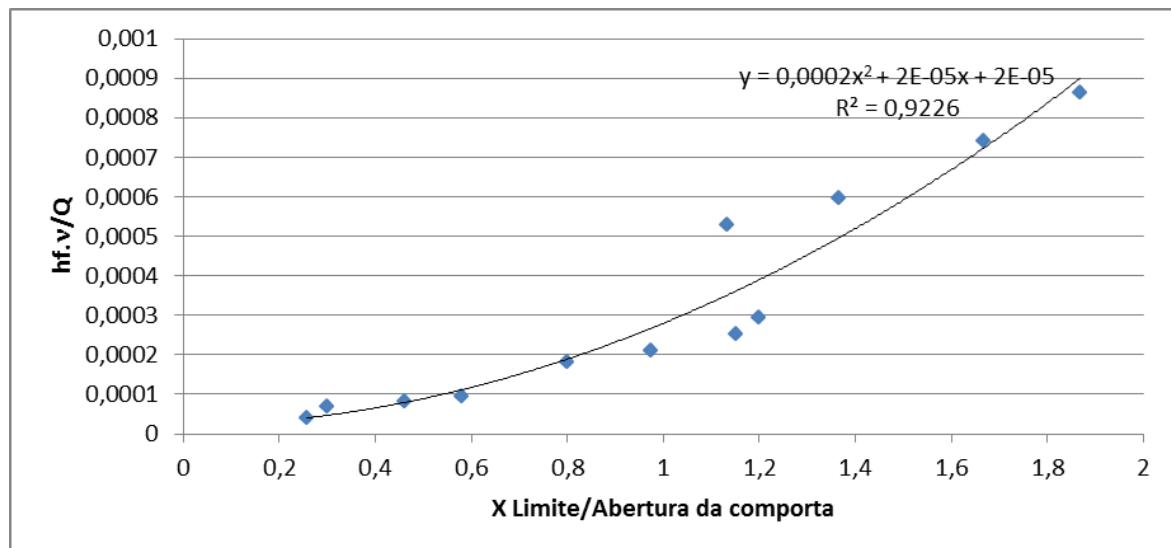


Figura 1 - Ajuste dos pontos coletados na base do conduto com valores de pressão extrema mínimas ao limite máximo de tração do concreto.

Nota-se no gráfico, que o ponto mais disperso da curva, correspondente a abertura de 30%, e se deve à sensibilidade de controle das menores aberturas da comporta. Contudo, a dispersão é esperada, visto a dificuldade dos ensaios experimentais envolvidos.

4. CONCLUSÕES

A utilização do método adimensional se deu a fim de selecionar as variáveis de entrada no modelo, assim podendo gerar informação sobre a zona a ser protegida à jusante da comporta. A influência nas cargas extremas mínimas de pressão foi utilizado simultaneamente com as características do escoamento, sendo eles critérios para a seleção das variáveis utilizadas no método e definição dos grupos adimensionais.

Com base no resultado exposto nesse trabalho, conclui-se que a utilização do método adimensional gera resultados satisfatórios em observar as condições críticas para a vida útil do concreto. O emprego da metodologia adimensional utilizada neste trabalho permite a previsão do comprimento do conduto que requer maior atenção dos projetistas em relação aos esforços de pressões extremas mínimas atuando sobre o concreto.

A continuação dos estudos prevê análise semelhante para a região do teto do conduto e também para pressões com outras probabilidades de ocorrência.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. *Obras e Gestão de Portos e Costas*. 2.ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

PINHEIRO, António Nascimento. *Descarregadores de Cheias em Canal de Encosta – Dimensionamento e Implantação*. 2007. Instituto Superior Técnico - Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Hidráulica e Recursos Hídricos e Ambientais. 2007.

OLIVEIRA, F. F.M. *Pressões a Jusante de Comportas Tipo Segmento Invertida em Condutos de Eclusas de Alta Queda*. 2016. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

KORWANN, Aline Christiane Morales. *Estudo do Desenvolvimento de Quatro Tipos de Materiais para Reparo a Serem Utilizados em Superfícies Erodidas de Concreto em Barragens*. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

WHITE, F. M. *Mecânica dos Fluidos*. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2002.