

MODELAGEM COMPUTACIONAL DE TRANSIENTES HIDRÁULICOS EM VENTOSAS DE TRÍPLICE FUNÇÃO E NON SLAM CONSIDERANDO AS CURVAS DE ADMISSÃO E EXPULSÃO DE AR COMERCIAIS

João Marcelo Costa Barbosa, Bruno Araújo Paiva, Vicente de Castro Sanders Neto e Marco Aurélio Holanda de Castro

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Ceará, Brasil.
Telefone: +55 085 33669621

E-mail: jm_eng.quimico@hotmail.com, brunoaraujoengenheiro@gmail.com, vicentesanders@hotmail.com, marco@ufc.br

Resumo estendido

Manter um sistema de adução e distribuição de água e todos seus elementos em perfeito estado é uma tarefa difícil, pois além de uma eventual ineficiência operacional, alguns projetos negligenciam fatores de extrema significância. Por exemplo, os sistemas de distribuição de água estão sujeitos a oscilações de pressão e vazão provocadas por falhas de energia, vazamentos, conexões ilegais, demandas variáveis, fechamento de válvulas, entre outros fatores, que por vezes são descartados (Ferreira *et al.*, 2015; Barbosa, 2015). Desse modo, projetar adutoras/redes que suportem essas oscilações é de fundamental importância para evitar prejuízos econômicos e sociais.

Em decorrência das oscilações de pressão e da possível contração e expansão da tubulação durante o golpe de aríete, a tubulação pode sofrer problemas de ruptura, fadiga, quebra de equipamentos, além de causar danos humanos (Sam Ani & Khayatzaheh, 2010; Chaudhry, 2014).

O fenômeno transiente hidráulico, ocorre corriqueiramente, porém ele pode ser amenizado com dispositivos de segurança e para minimizar os efeitos utilizam-se mecanismos atenuadores de pressão, tais como: Válvula de Alívio, Ventosa, Chaminé de Equilíbrio, Tanque de Alimentação Unidimensional (TAU), Válvula Antecipadora de Onda, entre outros (Boulos *et al.*, 2005; Tassinari, 2017).

As ventosas em especial, são dispositivos hidromecânicos projetados para admitir ou expulsar automaticamente grandes quantidades de ar durante o enchimento, esvaziamento ou operação de um sistema de adução de água (Peroba Júnior, 2007; Rodrigues, 2008).

As ventosas têm grande importância na redução da quantidade de ar presente na tubulação. O ar aprisionado, não retirado adequadamente, pode causar sérios danos a tubulações e equipamentos (Rodrigues *et al.*, 2014). Esse é um problema bem comum que pode originar rupturas na tubulação, com importante consequências econômicas (Chaiko *et al.*, 2002).

A ventosa de tríplice função atua na admissão e/ou expulsão de ar contido na tubulação oriundos de ar diluído na água ou por cavitação (Iglesias-Rey *et al.*, 2016), protegendo tubulação e equipamentos contra os efeitos decorrentes do acúmulo de ar e golpe de aríete. Através do orifício cinético, ela admite grande quantidade de ar quando a pressão no interior da tubulação torna-se inferior à atmosférica, e expulsa ar quando a pressão estiver superior à atmosférica. Na região de admissão de ar, a ventosa com orifício "Non Slam" admite grande volume de ar através do orifício cinético, e inicia a expulsão de ar, através do mesmo orifício. A partir de um determinado valor de pressão positiva, o orifício cinético é fechado e abre-se um orifício de menor diâmetro, chamado de orifício de "Non Slam", amortecendo, assim, o choque das colunas líquidas que estavam separadas.

Neste trabalho, propõe-se uma metodologia baseada nos modelos apresentados por Chaudhry (2014) e Wylie e Streeter (1978) apud Tam (2009) para o transiente hidráulico para o cálculo dos coeficientes de admissão e expulsão de ar no regime transiente a partir das curvas disponibilizadas pelos fabricantes de ventosas de tríplice função através das metodologias do coeficiente constante e variável.

O trabalho visa minimizar a falta de informações experimentais sobre as ventosas com base nas curvas dos fabricantes para a determinação dos coeficientes de admissão e expulsão de ar. Nesse estudo nós comparamos o efeito de se usar um único coeficiente de descarga de ar para entrada e outro único para a saída de ar versus considerar a variação desses coeficientes de descarga à medida que as pressões variam.

Para a modelagem computacional do problema proposto, o programa UFC7, escrito em Java, implementa o transiente hidráulico com as condições de contorno de todos os equipamentos que compõem o sistema, como por exemplo: bombas, tubulações, reservatório e, inclusive diversos modelos e diâmetros comerciais de ventosas devidamente catalogadas no banco de dados do programa.

Através do UFC7, comparou-se as curvas de admissão e expulsão de ar das ventosas de dois fabricantes fornecidas em seus catálogos com três modelos matemáticos distintos dos transientes de ventosas (Wylie & Streeter, Chaudhry e Gás Real). Utilizou-se ventosas com dispositivo "Non Slam" de DN 50 mm (2"), 75 mm (3"), 100 mm (4") e 150 mm (6").

Tais comparações foram realizadas utilizando dados obtidos dos trabalhos de Bergant *et al.* (2012) e Tam (2009), além de uma adutora hipotética desenvolvida para a comparação dos dados dos fabricantes com os modelos matemáticos propostos, utilizando também a metodologia do coeficiente constante e variável para cada exemplo testado.

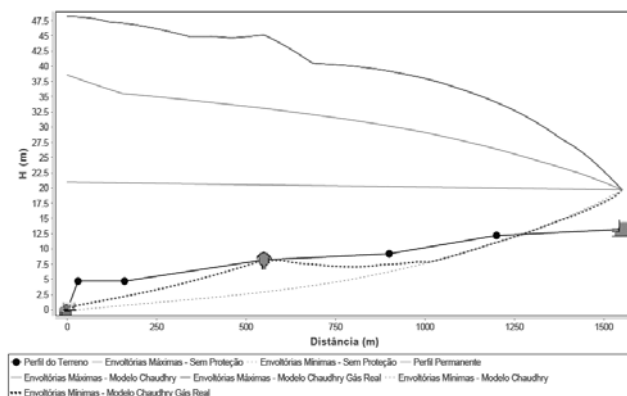


Figura 1.- Envoltória de Máximas e Mínimas – Comparação entre Modelos (Adutora Tam Coeficiente Constante e Variável).

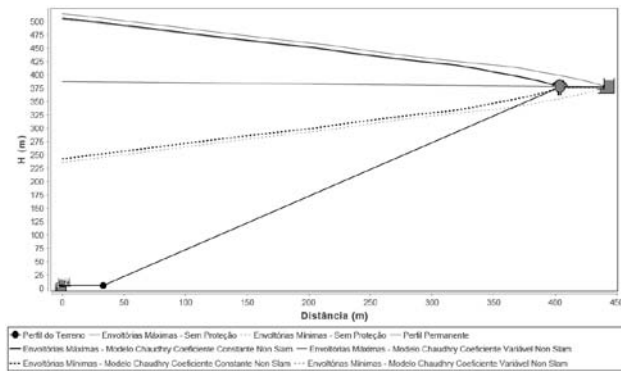


Figura 2.- Envoltória de Máximas e Mínimas – Comparação entre Modelos (Adutora Bergant Coeficiente Constante e Variável).

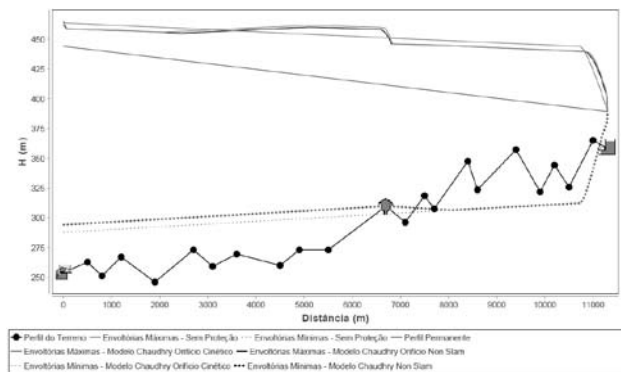


Figura 3.- Envoltória de Máximas e Mínimas – Comparação entre Modelos (Adutora Hipotética Coeficiente Constante e Variável).

Com isso, concluiu-se que as diferenças entre os modelos de Wylie e Streeter (1978) e os baseados em Chaudhry (2014) não são significativas. O modelo para gases reais baseados na equação de Van der Waals apresenta praticamente o mesmo comportamento que os outros dois modelos.

Também, verificou-se que o uso do dispositivo "Non Slam" reduz os problemas gerados pela sobrepressão, pois, expulsam ar de forma suave, minimizando os efeitos decorrentes da junção das colunas líquidas, reduzindo os picos de sobrepressão em relação às ventosas do tipo cinética.

Na metodologia do coeficiente constante, calculou-se a média do coeficiente a partir das curvas fornecidas pelos fabricantes. Na metodologia do coeficiente variável, o coeficiente pode variar ao longo do transiente, dependendo das características das ventosas e curva disponibilizada pelo fabricante.

As diferenças entre as duas metodologias (coeficiente constante e variável) podem ser significativas quando o coeficiente de descarga varia de forma ampla, principalmente na região com pressões próximas à atmosférica. Assim, recomenda-se a abordagem variável para os cálculos das vazões de admissão e expulsão de ar.

A rotina computacional desenvolvida neste trabalho é de fundamental importância na modelagem das ventosas de tríplice função, pois devido à falta de informações precisas sobre o comportamento dinâmico das ventosas, as curvas dos fabricantes fornecem informações adicionais que podem auxiliar ao projetista no dimensionamento preciso do comportamento do golpe de aríete em tubulações e em sistemas hidráulicos.

Referências bibliográficas

Barbosa, J. M. C. (2015). Tese. *Modelagem computacional de transientes hidráulicos em ventosas de tríplice função e non slam considerando as curvas de admissão e expulsão de ar*. Fortaleza, Ceará, Brasil, pp.118.

Bergant, A.; Kruisbrink, A.; Arregui, F. (2012). Dynamic Behaviour of Air Valves in a Large-Scale Pipeline Apparatus. *Journal of Mechanical Engineering*, v. 58, n. 4, p. 225–237.

Bergant, A.; Simpson, A. R.; Sijamhodzic, E. (2012). Water Hammer Analysis of Pumping Systems for Control of Water in Underground Mines.

Bergant, A.; Simpson, A. R.; Tijsseling, A. (2006). Water hammer with column separation: A historical review. *Journal of Fluids and Structures*, v. 22, n. 2, p. 135–171.

Boulos, F. P.; Karney, B. W.; Wood, D. J.; Lingireddy, S. (2005). *Hydraulic Transient Guidelines for Protecting Water Distribution Systems*. AWWA, Vol. 97, No. 5, pp. 111-124.

Chaiko, M. A. et al. (2002). *Models for analysis of water hammer in piping with entrapped air*. *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 124, No. 1, pp. 194–204.

Chaudhry, M. H. (2014). *Applied Hydraulic Transients* (Third Edit). Columbia, South Carolina, USA: Springer.

Ferreira, F. E. F. R.; Barbosa, J. M. C.; de Castro, M. A. H. (2015). *Modelagem computacional do golpe de aríete em condutos plásticos*. *Revista DAE*, Vol. 64, pp. 20-31.

Iglesias-Rey, P. L.; Fuertes-Miquel, V. S.; García-Mares, F. J.; Martínez-Solano, F. J. (2016). *Caracterización de válvulas de admisión y expulsión de aire comerciales*. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. 7, No. 1, pp. 57-69.

Peroba Júnior, F. (2007). Dissertação, *Modelagem computacional de ventosas de duplo efeito como mecanismo de alívio do golpe de aríete*. Fortaleza, Ceará, Brasil, pp.152.

Rodrigues, M. V. S. (2008). Dissertação, *Modelagem computacional de ventosas automáticas de duplo efeito com abertura e fechamento não instantâneos como mecanismo de alívio do golpe de aríete*. Fortaleza, Ceará, Brasil, pp.167.

Rodrigues, M. V. S.; de Castro, M. A. H.; de Aquino, M. D. (2014). *Modelagem computacional de ventosas automáticas de duplo efeito com abertura e fechamento não instantâneos*. *Revista DAE*, No.194, pp.70-85.

Sam Ani, H. M. V.; Khayatadeh, A. (2010). *Transient flow in pipe networks*. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 40, No. 5, pp. 637-644.

Tam, N. D. (2009). Tese, *Fluid Transients in Complex Systems with Air Entrainment*. 161 p.

Tassinari, L. C. S. (2017). Dissertação, *Transientes hidráulicos em sistemas de bombeamento: influência do material do conduto e dispositivo de proteção*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, pp.167.

Wylie, E. B.; Streeter, V. L. (1978). *Fluid Transients*. São Paulo: McGraw-Hill, 206 p.