

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO SIMULADOR DE GOLPE DE ARÍETE

Guilherme Alvarenga Queiroz¹ – guilherme_queiroz13@hotmail.com

Eduardo Martins Sampaio¹ – esampaio@iprj.uerj.br

Ney Robson Rohem² – ney.rohem@iff.edu.br

Ricardo Hudson da Silva¹ – rhudsonsilva@gmail.com

Marcelo Corrêa Lima¹ – marcelocdantas@gmail.com

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

² Instituto Federal Fluminense- IFF (Macaé- RJ)

Resumo: As plantas de processamento industriais e sistemas hidráulicos comuns sofrem perturbações durante o escoamento. Essas perturbações, planejadas ou não, causam um aumento súbito de pressão nas linhas. Esse fenômeno é conhecido como golpe de aríete e é causado pela variação da vazão quando uma válvula é fechada ou aberta como também durante a partida e parada de uma bomba. Com isso, a equipe do LAA projetou, em parceria com uma empresa, um equipamento totalmente nacional capaz de realizar o acréscimo de pressão em um curto espaço de tempo. O equipamento pode ser utilizado para ensaiar tubulações com diâmetro de até 10” e de no máximo 4 metros de comprimento, atingindo pressões de até 200 bar em apenas 2 segundos. Este equipamento pode auxiliar na caracterização das tubulações quando expostas ao fluxo transiente intenso, contribuindo assim com informações para o projeto e dimensionamento de todo o sistema hidráulico. A máquina pode ser utilizada também para testar mecanismos de segurança e de prevenção ao golpe de aríete.

Palavras-chave: Ensaio hidrostático, Golpe de aríete, Tubulações

1. INTRODUÇÃO

O golpe de aríete é um fenômeno que ocorre quando se aumenta ou diminui a vazão, porém de uma maneira suficientemente rápida para que as forças elásticas do líquido e da tubulação sejam mobilizadas, dando origem a ondas de pressão que se propagam ao longo do duto.

O aumento de pressão é proporcional a variação de velocidade que também está relacionado ao diâmetro da linha. Quanto maior o diâmetro menor serão os esforços quando

ocorrer o golpe de aríete. Escoamentos com menores velocidades produzirão um golpe de aríete com magnitude menor.

Essas mudanças no fluxo caracterizam o escoamento como transiente e dependendo da magnitude, podem causar a ruptura prematura do equipamento como também por fadiga.

De acordo com Pothof (2012) os parâmetros mais importantes para a magnitude das pressões transitórias são:

- ✓ Alteração de velocidade no tempo, Δv (m / s)
- ✓ Velocidade de onda acústica, c (m / s)
- ✓ Tempo de propagação, T (s)
- ✓ Pressão de Joukowsky, Δp (Pa)
- ✓ Perfil de elevação

A velocidade da onda acústica “ c ” é a celeridade em que as ondas de pressão viajam através do tubo pressurizado. A velocidade da onda é dependente da compressibilidade do fluido e da rigidez do tubo. Quanto menor o módulo de elasticidade do tubo, menor a velocidade da onda. A velocidade da onda acústica pode atingir aproximadamente 1250 m/s em aço e 600 m/s em tubulações de compósito.

O tempo de propagação T (s) é definido como o tempo necessário para uma onda de pressão percorrer todo o tubo, de comprimento L , e retornar ao ponto de origem, podendo ser calculado conforme a Eq. 1:

$$T = \frac{2L}{c} \quad (1)$$

Qualquer variação de velocidade Δv no escoamento resultará em uma certa pressão que é denominada como pressão de Joukowsky, Δp (Eq. 2). A densidade específica do fluido é caracterizada por “ ρ ”.

$$\Delta p = \pm \rho \cdot c \cdot \Delta v \quad (2)$$

De acordo com Tsutiya (2006) com o fechamento parcial da válvula cria-se uma perturbação, que se propaga para montante. Quando a primeira onda atinge o reservatório ela é refletida em direção a válvula cancelando a outra parte das ondas enviadas pelo fechamento que ainda não atingiram o reservatório. A situação de fluxo instável é então convertida em condição estável acrescentando no volume de controle a velocidade “ α ” na direção da válvula.

Changjun (2011) simulou golpes de aríete em uma tubulação de PRFV (Polímero Reforçado com Fibra de Vidro) e outra de aço X60. A tubulação utilizada na simulação foi de 20km de extensão e uma válvula, no final da linha, era então fechada rapidamente proporcionando o surgimento de ondas de pressão. Foi observado conforme mostrado na Figura 1 que a tubulação de PRFV tem a capacidade maior de reduzir o pico de alta pressão e a frequência de flutuação de pressão, bem como atenuar o pico de baixa pressão causada pelo golpe de aríete em relação ao tubo de aço. A tubulação de aço atinge 180m no pico de alta pressão e 80m de pico de baixa.

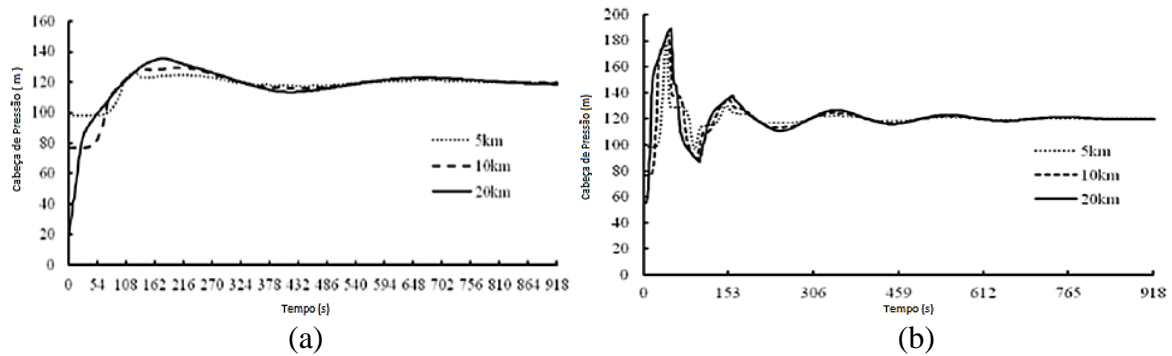


Figura 1 - Golpe de aríete em tubulação (a) Tubulação de PRFV (b) Tubulação de Aço X60.

Silva Telles (2001) diz que a seleção e especificação do material mais adequado para uma determinada aplicação pode ser um problema difícil, cuja solução depende principalmente da pressão e temperatura de trabalho, do fluido conduzido (aspectos de corrosão e contaminação), do custo, do maior ou menor grau de segurança exigido, das sobrecargas externas que existirem, e também, em certos casos, da resistência ao escoamento do fluido (perdas de carga).

2. FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Os estudos de golpe de aríete em sua maioria são através de modelagens computacionais ou na prática simulando o fechamento de uma válvula para estudos de propagação de onda. Existem poucos projetos com o objetivo de realizar golpes de aríete atingindo altas pressões e, no entanto, todos executados fora do Brasil. Com isso, para a realização deste tipo de teste, a equipe do Laboratório de Adesão e Aderência projetou o primeiro equipamento nacional, em parceria com a Empresa Flutrol, capaz de simular golpes de aríete em um curto espaço de tempo.

O equipamento em questão pode efetuar golpes de aríete atingindo pressões finais de até 200bar, em tubulações de 10” de diâmetro com no máximo 4 metros de comprimento. O equipamento é composto por um conjunto de válvulas reguladoras de pressão, válvulas manuais, manômetros, transdutores de pressão, vaso acumulador e bomba hidropneumática. Para aquisição de dados e automação do sistema foi também desenvolvido um software.

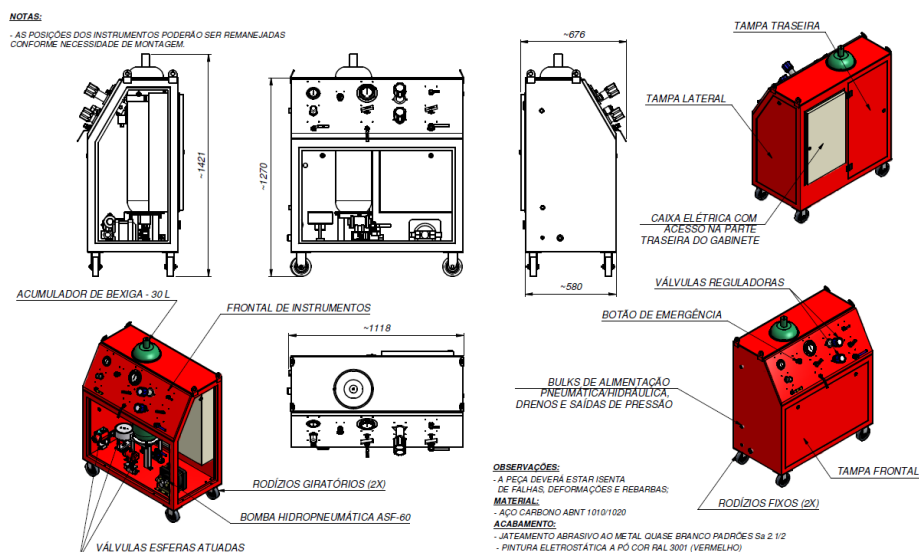


Figura 2 - Simulador de golpe de aríete

A máquina possui um reservatório hidropneumático de bexiga preenchida com nitrogênio há uma pré carga estabelecida no projeto.

Após alimentar o sistema com a rede de ar comprimido e água, a válvula reguladora de ar deverá ser acionada para iniciar a ciclagem da bomba hidropneumática e enviar água para o reservatório hidropneumático. Para cada tipo de corpo de prova se faz necessário a calibração da máquina para atingir as pressões requeridas. A regulagem das válvulas irá depender do volume e do módulo de elasticidade do material a ser ensaiado.

Com todos os parâmetros programados e o tubo pressurizado o acionamento do golpe é feito através do computador, clicando no botão “Golpe”, ou também de forma manualmente.



Figura 3 - Layout do programa de automação e controle

O programa desenvolvido consegue realizar a aquisição de dados em um tempo de 10 milissegundos e plotar os resultados em um gráfico pressão versus tempo.

As tubulações de polímeros normalmente seguem os procedimentos de teste da ASTM D 1599, porém para golpes de aríete não existe um procedimento estabelecido. A Figura 4 ilustra um dos procedimentos que podem ser adotados para ensaios e simulações de golpes de aríete. Neste caso foi estabelecido uma pressão inicial de 20bar e em seguida liberado os golpes de aríete, com duração de 1 a 2 segundos, com o objetivo de atingir pressões de 2,3,4 e 5 vezes a pressão inicial. Após o golpe, a pressão é mantida durante um tempo de 5 segundos para a verificação de vazamentos.

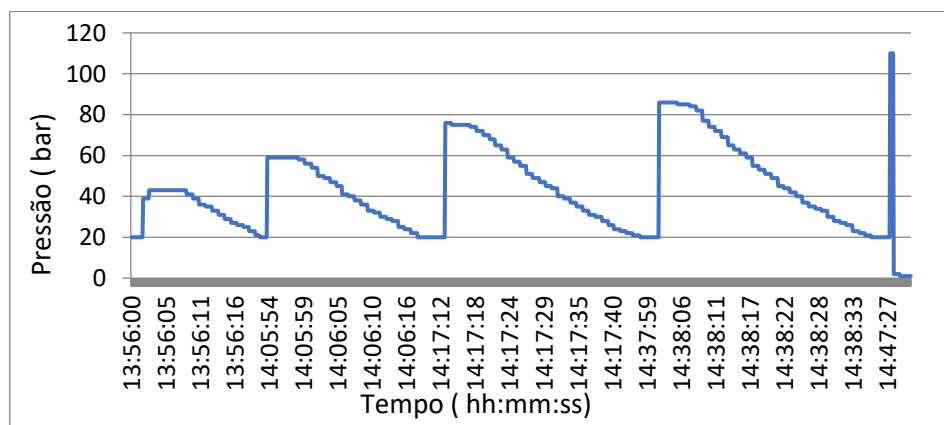


Figura 4 - Gráfico simulando golpes de aríete na tubulação

O equipamento realizou teste de funcionamento e calibração em tubulações de PRFV de 10” de diâmetro com 4 metros de comprimento para caracterizar as falhas de juntas coladas, juntas laminadas e flanges fabricados conforme a Norma EN ISO 14692 . Golpes de aríete de grandes magnitudes foram liberados causando falhas de exsudação, delaminação e desprendimento total dos componentes da tubulação.

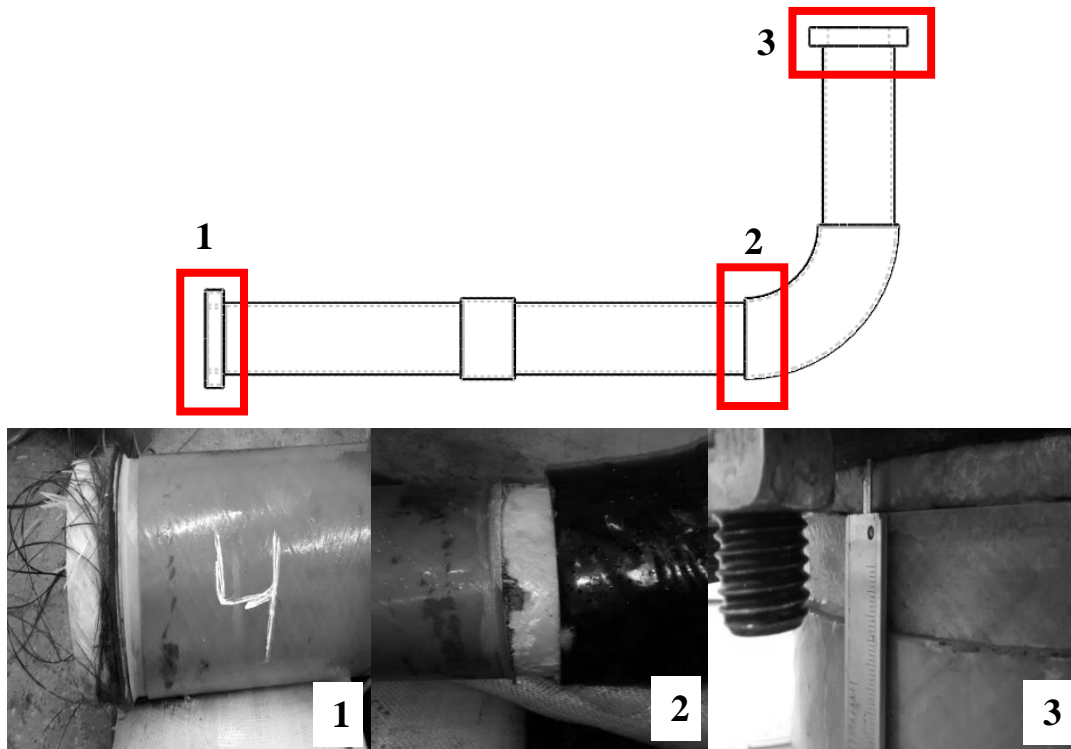


Figura 5 – Falhas em tubulações de PRFV

3. CONCLUSÃO

O equipamento desenvolvido pela equipe do Laboratório de Adesão e Aderência para promover o aumento súbito de pressão se mostrou eficiente nos testes de caracterização de tubulações de PRFV. O equipamento pode auxiliar na caracterização de falha de tubulações como também no desenvolvimento de novas conexões, novos adesivos e de mecanismos de prevenção ao golpe de aríete.

Agradecimentos

PETROBRAS /CENPES/PDISO/TME/UERJ

REFERÊNCIAS

ASTM D 1599, *Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings*.

BS EN ISO 14692 :2002, *Petroleum and natural gas industries — Glass-reinforced plastics (GRP) piping*.

CHANGJUN, L et al. *Water Hammer Characteristics of Glass Reinforced Plastic Oil Transportation Pipeline*.

Escola de Engenharia de Petróleo, Southwest Petroleum University, China, 2011.

POTHOF, I; KARNEY, B. *Guidelines for Transient Analysis in Water Transmission and Distribution Systems*
In: Water Supply System Analysis (2012). cap. 1 p. 01-20.

TELLES, P. C. S. *Tubulações industriais: materiais, projeto e montagem*. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

DEVELOPMENT OF SIMULATOR EQUIPMENT OF WATER HAMMER

Abstract: *Industrial processing plants and common hydraulic systems suffer disturbances during flow. These disturbances, whether planned or not, cause a sudden increase in pressure on the lines. This phenomenon is called water hammer and is caused by the flow variation when a valve is closed or opened as well as during starting and stopping of a pump. With this, the team of the LAA has designed, in partnership with a company, a totally national equipment able to realize the addition of pressure in a short time. The equipment can be used to test pipes with a diameter of up to 10 "and a maximum length of 4 meters, reaching pressures of up to 200 bar in just 2 seconds. This equipment can help in the characterization of the pipes when exposed to the intense transient flow, thus contributing with information for the design and sizing of the entire hydraulic system. The machine can also be used to test safety and water hammer prevention mechanisms.*

Keywords: *Hydrostatic test, Water hammer, Piping*