



UM ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM DUTOS SUBMETIDOS A TRANSIENTES HIDRÁULICOS.

Matheus Santinello

Lineu J. Pedroso

matheus.santinello@gmail.com

lineu@unb.br

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Campus Darcy Ribeiro - CEP 70919-970

Asa Norte, Brasília, DF, Brasil

Resumo: Com o avanço da tecnologia, a construção de equipamentos mais robustos e emprego de velocidades de escoamento mais altas, tornam o problema de fenômenos hidráulicos transitórios cada vez mais importantes. Os transientes podem ter várias origens, tais como fechamento ou abertura de válvula, início ou parada de bombas, explosões, impactos, terremotos, etc. Estes transientes precisam ser levados em conta em Centrais Nucleares, tubulações de hidroelétricas, em sistemas de abastecimento de água das cidades, etc., pois o conseqüente aumento das pressões nas estruturas pode por em risco os seus funcionamentos e até causar uma possível ruína. Devido a complexidade da análise da propagação de uma onda são usados modelagens numéricas. Neste trabalho, a equação da onda unidimensional é resolvida pelo método das características associado a técnica das diferenças finitas. O método é aplicado para a resolução das equações fundamentais que regem os problemas de transientes, que são as equações da continuidade, da conservação da quantidade de movimento e a equação de estado, além de considerar as condições de contorno de um determinado problema. Neste trabalho, foi analisado o transiente no caso de fechamento brusco e parabólico de válvula, e os resultados foram coerentes com o previsto pela teoria.

Palavras-chave: Método das Características, Fechamento de Válvulas, Escoamento de Flúidos, Transientes Hidráulicos

1 INTRODUÇÃO

A análise dos transientes hidráulicos trata do estudo das pressões e velocidades que resultam de uma mudança de um estado permanente, de repouso ou escoamento, num fluido para outro estado. Basicamente, os escoamentos podem ser de regime permanente ou de regime variável. Em um regime permanente, os campos de pressão e velocidade permanecem constantes, assim, a pressão e velocidade num determinado ponto do escoamento não se alteram. No regime variável, a pressão e a velocidade num determinado ponto mudam com o tempo. Ao se gerar uma perturbação no sistema, a velocidade e a pressão num dado ponto passam a mudar, entrando em regime variável. O fenômeno do transiente são essas alterações na velocidade e pressão (em regime variável) provocadas pela perturbação. Em um escoamento unidimensional simples, podemos avaliar o ponto no espaço de escoamento do fluido como sendo uma seção do tubo. O estudo do transiente, neste caso, consiste em entender como mudam a pressão e a velocidade em uma determinada seção do tubo.

O desenvolvimento da pesquisa está amplamente ligado ao trabalho do professor Streeter, principalmente em sua obra com Wylie (Streeter e Wylie, 1967), no que diz respeito ao estudo do fenômeno de transientes e o uso do Método das Características para resolver as equações fundamentais. Contractor (1965) também fez importantes testes que constataram a eficiência do método ao estudar transientes em fechamentos de válvulas. Resultados de programas desenvolvidos pelo Grupo de Dinâmica e Fluido Estrutura da Universidade de Brasília também tiveram importante contribuição no desenvolvimento do programa que utiliza o Método das Características. O estudo se baseia principalmente no trabalho feito por Nascimento (2002), que elaborou o TRANSPETRO e aplicou ao estudo de transientes em dutos de derivados de petróleo.

2 EQUAÇÕES GOVERNANTES

As equações básicas que regem o fenômeno são a Conservação de Massa, Conservação da Quantidade de Movimento e a Equação de Estado, mostradas a seguir:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \nabla \left(\frac{v^2}{2} \right) + (\nabla \times \vec{V}) \times \vec{V} + \nabla (P + \rho g y) - \mu \times \nabla^2 \vec{V} \right] = 0 \quad (2)$$

$$\frac{P}{\rho} = a^2 \quad (3)$$

Nas equações temos que: p é a pressão; ρ é a massa específica do fluido; V é a velocidade; t é o tempo; g é a gravidade e γ é o peso específico do fluido.

Como a solução analítica pode tornar-se complicada, opta-se por resolver as equações por um método numérico, com auxílio de um recurso computacional. Para resolução das equações pelo programa, emprega-se como método numérico o Método das Características. Ele consiste em transformar Equações Diferenciais Parciais em Equações Diferenciais Ordinárias. Uma vez que isto é feito, as E.D.Os podem ser solucionadas pelo Método das Diferenças Finitas. Tal forma de resolução foi empregada por Streeter e Wylie (1967), para resolver problemas relacionados a transientes.

3 ASPECTOS COMPUTACIONAIS E RESULTADOS

O programa utilizado para resolver o problema dos transientes pelos métodos numéricos é o TRANSPETRO 1-D, desenvolvido em C++. O programa foi elaborado por Nascimento (2002), juntamente com o Grupo de Dinâmica e Fluido-Estrutura da Universidade de Brasília, e tem como objetivo a análise de transientes, orientado para problemas envolvendo dutos de derivados de petróleo. Assim como trabalhos anteriormente desenvolvidos pelo Grupo de Dinâmica e Fluido-Estrutura, tais como o TRANS (Pedroso, Vital de Brito e Barbosa, 1994) e o RETRANS (Neri e Pedroso, 1999), o TRANSPETRO também soluciona as equações governantes empregando o Método das Características. O programa é capaz de avaliar e reproduzir gráficos de pressão e velocidade em função do tempo, numa seção do tubo, sob os mais diversos fatores relevantes e condições de contorno.

O caso mais simples de estudo de transientes é o caso de um tubo ligado a um reservatório e uma válvula no final. Um transiente ocorre quando essa válvula sofre um fechamento. No caso ideal, o fechamento é brusco (tempo de fechamento igual a zero). A seguir têm-se o exemplo de saída de dados do programa para o exemplo simples de um tubo único ligando um reservatório e uma válvula que se fecha bruscamente. A representação esquemática e os dados de entrada estão representados na “Fig. 3.1”, enquanto a “Fig. 3.2” mostra a curva de fechamento da válvula e os gráficos de pressão em função do tempo em diferentes seções do tubo:

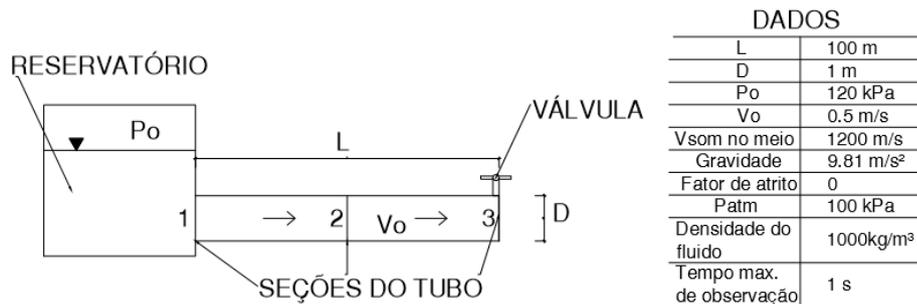


Figura 3.1: Representação esquemática da malha e dados de entrada

Como a primeira seção é no início do tubo, sua pressão é constante e igual a pressão no reservatório (Figura 3.2 b). Ao analisar uma seção no meio do tubo, tanto a pressão quanto a velocidade variam de acordo com as ondas refletidas no transiente (Figura 3.2 c). No final do tubo, a pressão varia de acordo com as ondas refletidas, sofrendo um pico no início e oscilando conforme as ondas se propagam no tubo atingindo essa seção (Figura 3.2 d).

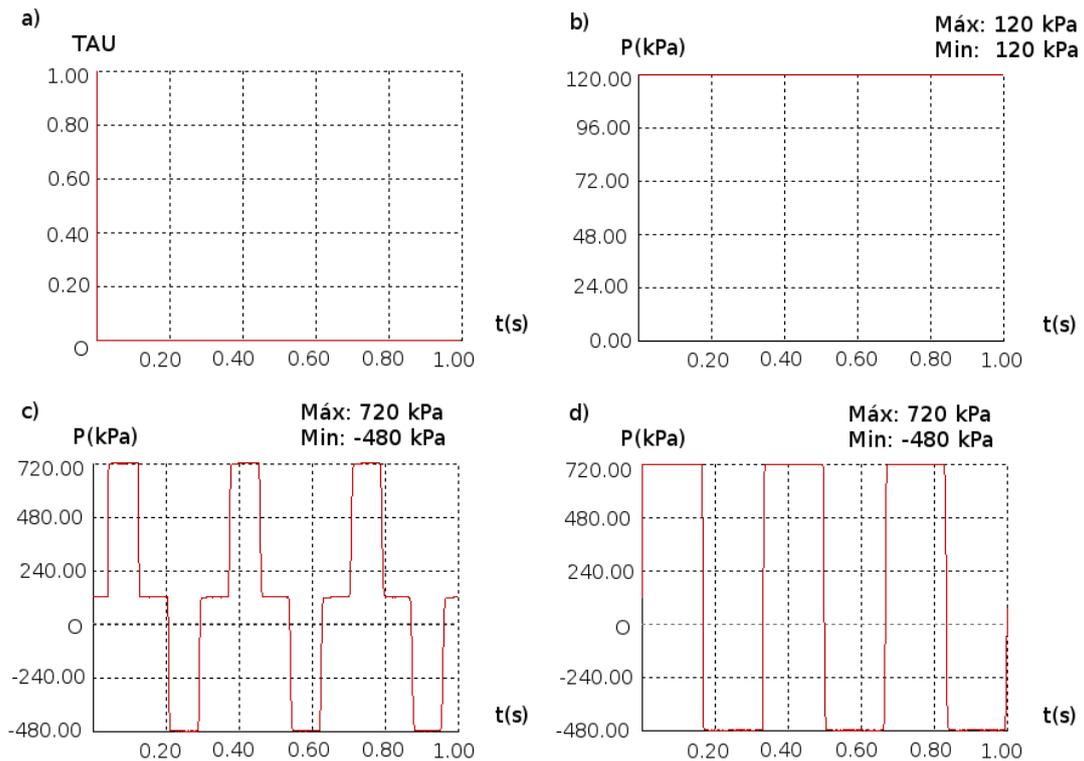


Figura 3.2: a) Curva de fechamento da válvula; b) Pressão no início do tubo (seção 1) c) Pressão no meio do tubo (seção 2) d) Pressão no fim do tubo (seção 3)

No programa, pode-se também analisar casos com o tempo de fechamento da válvula diferente de zero (caso real) e definir o expoente de fechamento da curva. A seguir, será mostrado a diferença entre os gráficos de pressão de um fechamento brusco (Figura 3.3) e um parabólico (Figura 3.4) em uma determinada seção, junto com as curvas de fechamento. Os dados inseridos são os mesmos da “Fig 3.1”, com as exceções de que: agora analisa-se uma única seção, na posição 25m; o tempo de fechamento de válvula é 0.02; o tempo máximo de observação é de 0.4 segundos.

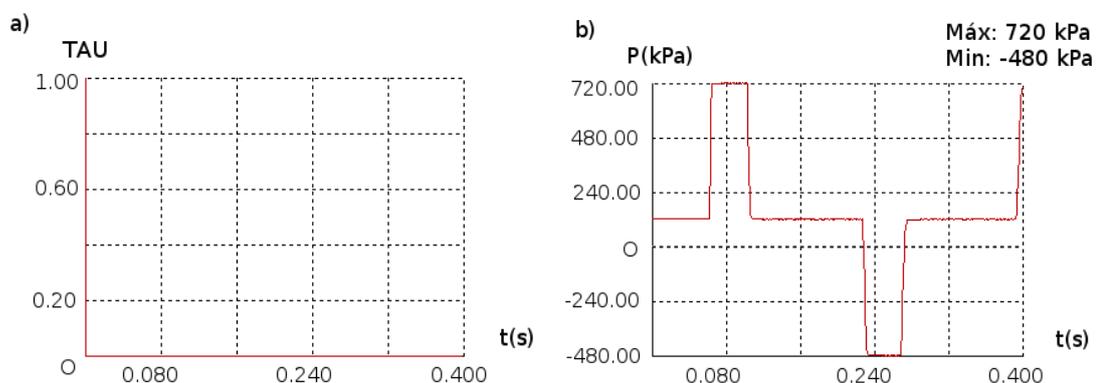


Figura 3.3: a) Curva de fechamento brusco da válvula; b) Pressão (seção a 25 m do início) no fechamento brusco

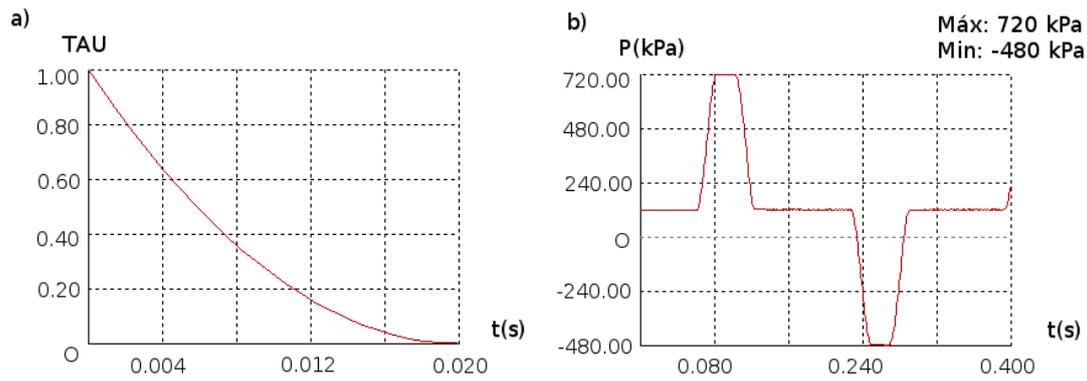


Figura 3.4: a) Curva de fechamento parabólico da válvula; b) Pressão (seção a 25m do início) no fechamento parabólico

Comparando as figuras, é fácil observar (olhando o ponto que a pressão atinge seu máximo) que as variações de pressão ocorrem de maneira mais suave no caso em que o fechamento da válvula é parabólico.

4 CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

Várias simulações foram feitas e as respostas obtidas são comparadas com dados conseguidos através de experimentos de transientes encontrados na literatura e com outros resultados numéricos, apresentando um bom acordo. Sendo assim, observa-se que o programa apresenta bons resultados no estudo dos transientes hidráulicos e pode ser usado para este fim. Porém, o programa ainda apresenta algumas limitações a serem corrigidas, como por exemplo, o programa não permite a análise de tubos inclinados ou tubos multi ramificados. Além disso, o programa utiliza somente a solução para ondas unidimensionais. Com isso, se visa também o objetivo de implementar melhorias no programa para que se possa analisar transientes em situações mais diversas.

5 REFERÊNCIAS

Contractor, D.N. – The Reflection of Waterhammer Pressure Waves From Minor Losses, *Journey of Basic Engineering*, pp.445-452, jun (1965)

Nascimento, C.M.B.M –Estudo de Transientes em Dutos de Derivados de Petróleo, Universidade de Brasília (2002)

Neri, L.J.A.L e Pedroso L.J- Aspectos Numéricos na Avaliação de Escoamentos Transientes em Tubulações (1999)

Pedroso, L.J.; Vital de Brito, J.L. e Barbosa, A.N. - TRANS- A computer code for the Analysis of Transients in Nuclear Reactors Piping Networks, V CGEN, R.J., Vol I pp.1-6, Aug (1994)

Streeter, V.L. e Wylie, E.B. – Hydraulic Transients, McGraw-Hill Company, E.U.A (1967)