

## MÉTODO CONSERVATIVO APLICADO AO ESTUDO DO VAZAMENTO DE FLUIDOS COMPRESSÍVEIS NÃO-ISOTÉRMICOS EM TUBULAÇÕES

**Oldrich J. Romero** – oldrich@mec.puc-rio.br

**Angela O. Nieckele** – nieckele@mec.puc-rio.br

Departamento de Engenharia Mecânica, – PUC/Rio, CEP 22453-900, RJ, RJ, Brasil

***Resumo.** Apresenta-se a simulação numérica do vazamento de líquidos e gases compressíveis, não-isotérmicos escoando uni-dimensionalmente em regime transiente através de tubulações com paredes não rígidas. O vazamento foi prescrito como sendo proporcional à diferença de pressão entre o fluido e o meio externo. O método dos volumes finitos é utilizado para resolver a forma conservativa das equações que governam o escoamento, as quais são derivadas dos princípios de conservação de massa, quantidade de movimento linear e energia. A influência da perda de massa nos campos de velocidade, pressão e temperatura foi analisada, considerando-se diversos tamanhos de furos e diferentes localizações dos mesmos ao longo de tubulações de diâmetros variados. Como o vazamento introduz perturbações nos campos de velocidade, pressão e temperatura, o instante em que esta perda de fluido ocorre pode ser claramente identificável, mediante um monitoramento contínuo destas grandezas em pontos estratégicos ao longo da tubulação. Uma vez que o método é conservativo, é possível localizar o vazamento, realizando-se balanços de massa entre diversos trechos da tubulação.*

***Palavras-chave:** vazamento, não-isotérmico, transiente, conservativo, compressível.*

### 1. INTRODUÇÃO

O vazamento em linhas de transporte de líquidos ou gases é uma causa de preocupação constante para os operadores. O derramamento do fluido pode causar sérios acidentes e danos consideráveis podem acontecer dependendo da quantidade e do tipo do produto liberado ao meio ambiente. Isto origina que regulamentos mais rigorosos por parte dos governos sejam emitidos para diminuir estes acidentes (Liou & Tian, 1994).

Considerando que são diversas as causas que podem originar o vazamento numa tubulação, por exemplo: corrosão, erosão, falhas em juntas e soldas, fadiga, ruptura, falhas em equipamentos, etc., o monitoramento contínuo da linha de transporte mediante instrumentação e *softwares* adequados é essencial.

Diversos métodos foram desenvolvidos para detectar o vazamento. De acordo com Watanabe & Himmelblau (1986), de um modo geral estes podem ser classificados como sendo de dois tipos: diretos e indiretos. Os primeiros são aqueles que se servem da inspeção visual, do cheiro, do som e do estado anormal da vegetação para serem localizados. No caso dos indiretos, a detecção é feita mediante medições de pressão e vazão ao longo da tubulação

e em operação conjunta com *softwares* desenvolvidos utilizando diversas técnicas computacionais. Whaley & Ellul (1994) apresentam uma importante discussão em relação aos métodos indiretos, classificando-os em: métodos baseados em *hardware*, sistemas sensíveis ao fluido (Sandberg *et al.*, 1989) e sistemas SCADA, métodos acústicos (Watanabe & Himmelblau, 1986), métodos de reconhecimento padrão e métodos baseados em modelos.

Uma outra abordagem apresentada por Iserman (1984), classifica os métodos de detecção como: (i) médio (líquido – gás - múltiplas fases), (ii) operação (parado – estacionário - pequenas mudanças - não estacionário), (iii) tamanho (grande – médio - pequeno), (iv) desenvolvimento do vazamento (abrupto – lento - já existente) e (v) monitoramento (contínuo - intermitente).

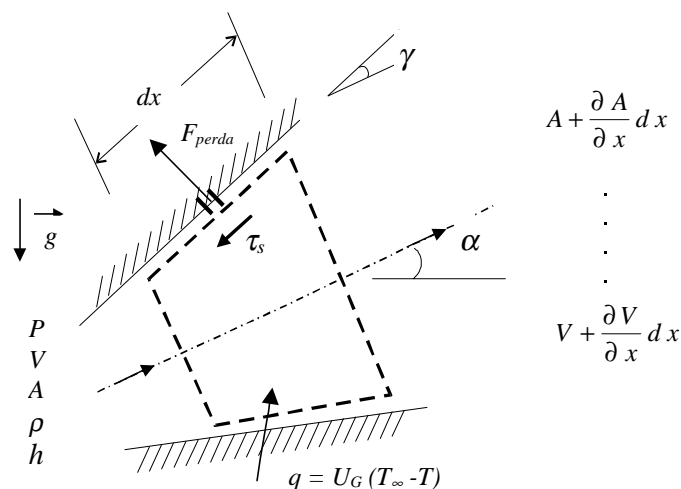
Existem vários trabalhos publicados que estudam o problema do vazamento considerando-o como isotérmico: Romero & Nieckele (1999 e 2000), Liou (1998 e 1990), Liou & Tian (1994), Billmann & Isermann (1987), etc. Poucos são os trabalhos que levam em consideração a variação da temperatura do fluido: Olorunmaiye (1994), Liou (1983). A maioria destes pesquisadores utilizam o método das características, a exceção de Romero & Nieckele, para resolver numericamente o conjunto de equações diferenciais que regem o escoamento.

Estas metodologias baseiam-se no fato de que um vazamento existe quando há discrepâncias entre os valores computados pelo modelo (basicamente de pressão e vazão) e os medidos no campo, esta diferença é vista como sendo proporcional ao tamanho do vazamento. Uma ampliação destes conceitos, podem ser encontrados em Whaley *et al.* (1992).

No presente trabalho, o princípio de conservação da massa aplicado ao escoamento é utilizado. Se não existir derramamento, um perfeito balanço de massa deve existir dentro da tubulação. Em outras palavras a diferença entre as vazões em massa da saída e entrada da tubulação, deve ser igual à taxa de variação da massa no interior da linha. Romero, O.J. (1999) efetua um desenvolvimento detalhado desta formulação, utilizando o método dos volumes finitos.

## 2. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

As equações de conservação de massa, quantidade de movimento linear e da energia, que governam o escoamento de um fluido com propriedades constantes (com exceção da massa específica) escoando uni-dimensionalmente em um duto de paredes não rígidas, podem ser escritas na forma conservativa, ou divergente (Anderson, 1995), de acordo com o volume de controle elementar ilustrado na Fig. 1, como



**Figura 1** - Volume de Controle Elementar.

$$\frac{1}{dV} \frac{\partial}{\partial t} (\rho dV) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (\rho AV) + \frac{1}{dV} F_{perda} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{dV} \frac{\partial}{\partial t} (\rho V dV) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (\rho AVV) = - \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{f \rho V |V|}{2D} - \rho g \sin \alpha \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{dV} \frac{\partial}{\partial t} (\rho h dV) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (\rho AVh) &= \frac{1}{dV} \frac{\partial}{\partial t} (p dV) + V \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{f \rho |V|^3}{2D} \\ + \rho g V \sin \alpha + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k}{c_p} A \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{4U_G}{D c_p} (h - h_\infty) - \left( h_{furo} + \frac{V^2}{2} + \frac{V_{furo}^2}{2} \right) \frac{F_{perda}}{dV} \end{aligned} \quad (3)$$

onde  $V$  é a velocidade do fluido,  $p$  é a pressão,  $h$  a entalpia,  $\rho$  a massa específica,  $A$  é a área da seção transversal ( $A = \pi D^2/4$ , sendo  $D$  o diâmetro da tubulação),  $\alpha$  o ângulo que o eixo faz com a horizontal,  $f$  é o fator de atrito,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $t$  o tempo.  $dV = A dx$  é o volume infinitesimal.  $F_{perda}$  representa o vazamento, isto é, vazão em massa de fluido que perde-se para o meio externo.  $k$  e  $c_p$  são a condutividade térmica e calor específico a pressão constante, respectivamente.  $h_\infty$  e  $h_{furo}$  correspondem a entalpia do meio ambiente e a entalpia do fluido que escoar através do furo.  $V_{furo}$  é a velocidade do fluido através do furo.  $U_G$  é o coeficiente global de transferência de calor entre o ambiente à temperatura  $T_\infty$  e o fluido no interior da tubulação com temperatura  $T$ .

Considera-se que tanto para gases como líquidos a entalpia é relacionada com a temperatura por

$$h - h_{ref} = c_p (T - T_{ref}) \quad (4)$$

O vazão em massa perdida através do furo,  $F_{perda}$ , é considerada como saindo perpendicularmente à parede da tubulação através dos furos localizados na sua superfície. Considera-se ainda como sendo função da diferença de pressão entre a linha e o ambiente,  $p - p_\infty$ .

$$F_{perda} = \rho C_d A)_{furo} \sqrt{2(p - p_\infty)} / \rho \quad (5)$$

$C_d A)_{furo}$  é o produto do coeficiente de descarga através do furo e a área do mesmo.

A área pode variar por causa da utilização de tubulações diferentes ou por deformações da tubulação devido à pressão interna, resultando na seguinte dependência do diâmetro com a pressão, a partir de um diâmetro de referência  $D_{ref}$ , avaliado a pressão atmosférica  $p_{atm}$ .

$$D = \frac{D_{ref}}{[1 - C_D (p - p_{atm})]} \quad , \quad C_D = \frac{(1 - \mu^2) D_{ref}}{2eE} \quad (6)$$

onde  $e$  é a espessura da parede da tubulação,  $E$  o módulo de elasticidade de Young e  $\mu$  coeficiente de Poisson.

Considerou-se a seguinte dependência da massa específica com a pressão para líquidos:

$$\rho = \frac{(p - p_{ref})}{a^2} \quad \text{onde } a = \text{constante} \quad (7)$$

e para gases:

$$\rho = \frac{P}{a^2} \quad \text{onde } a^2 = zRT_{ref} \quad , \quad (8)$$

$z$  é o coeficiente de compressibilidade,  $R$  a constante do gás,  $ref$  indica valores de referência e  $a$  é a velocidade do som.

O fator de atrito de Darcy  $f$ , depende do número de Reynolds,  $Re = \rho V D / \mu_{fl}$  e da rugosidade relativa da tubulação  $\varepsilon/D$ ,  $\mu_{fl}$  representa a viscosidade absoluta do fluido, considerada constante. O fator de atrito  $f$  é avaliado levando-se em conta se o regime de escoamento é laminar ( $Re \leq 2300$ ) ou turbulento ( $Re > 2300$ ), considerando-se o escoamento como hidrodinamicamente desenvolvido (Fox & McDonald, 1995),

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{para } Re \leq 2300 \quad \text{e} \quad f = 0,25 \left[ \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad \text{para } Re > 2300 \quad (9)$$

### 3. MÉTODO NUMÉRICO

Para a discretização das equações (1), (2) e (3), utilizou-se o método dos volumes finitos (Patankar, 1980). A velocidade e a entalpia são localizadas nas faces do volume de controle, enquanto que a pressão foi armazenada no ponto nodal. Utilizou-se integração temporal totalmente implícita, o método “Upwind” para a integração dos termos espaciais convectivos e diferenças centrais para os outros termos.

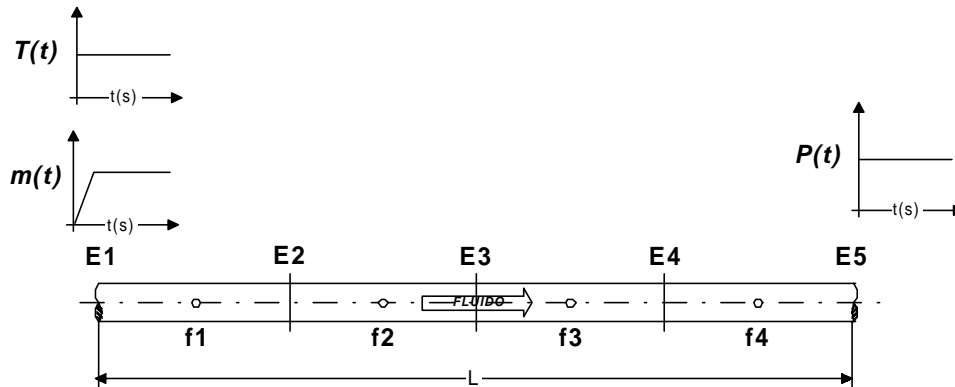
Para a solução do sistema algébrico resultante utilizou-se um procedimento direto, resolvendo-se a velocidade e pressão com um algoritmo hepta-diagonal, baseado no algoritmo SIMPLER (Patankar, 1980), onde uma equação para a pressão é construída combinando-se a equação de conservação de massa e quantidade de movimento linear, mas como o sistema é não linear, diversas iterações são realizadas até a convergência. Obtidos os campos de velocidade e pressão, resolve-se a equação da energia através do algoritmo direto TDMA (Patankar, 1980), já que a forma discretizada da Eq. (3) é um sistema tri-diagonal. Propriedades e parâmetros relevantes são atualizadas a cada passo de tempo.

### 4. RESULTADOS

Resultados obtidos com o código computacional implementado foram comparados com soluções numéricas disponíveis na literatura (Wylie & Streeter, 1978), com outros códigos computacionais e com a solução analítica do problema de Fanno. A concordância foi muito boa. Detalhes destas comparações podem ser encontradas em Romero & Nieckele (1999).

Dois casos com vazamento serão apresentados: escoamento de um gás e de um líquido não isotérmicos ao longo de uma tubulação horizontal não rígida com furos, como esquematizado na Fig. 2.

Considera-se que a tubulação, de comprimento  $L$  e diâmetro  $D$ , é composta por quatro trechos e possui cinco estações de monitoramento (E1,...,E5) onde são feitas leituras de vazão, pressão e temperatura. Para efeitos de simulação, furos podem existir ao longo da linha, em



**Figura 2** - Tubulação horizontal com furos.

cada um dos trechos. Os furos serão denominados de (f1,...,f4) dependendo do trecho onde estão localizados.

Os dados referentes a tubulação válidos para os dois ensaios são: Modulo de Young:  $E = 2 \times 10^{11}$  Pa; coeficiente de Poisson:  $\mu = 0,3$ ; espessura da parede:  $e = 2,54$  cm; rugosidade:  $\varepsilon = 0,002$  mm.

Em ambos os testes considerou-se que a pressão é sempre mantida constante na saída, a vazão em massa e a temperatura são prescritas na entrada. Inicialmente o fluido está em repouso e a temperatura ambiente (293 K), com distribuição uniforme de pressão igual ao valor da saída (pressão atmosférica,  $p_{atm}$ ). A vazão cresce linearmente até um determinado valor e permanece constante após disso.

O objetivo é analisar o comportamento do escoamento quando o vazamento ocorre. Este vazamento é prescrito na simulação via Eq. (5) somente após o regime permanente ter sido atingido.

#### 4.1 Escoamento de um Gás Não Isotérmico numa Tubulação Horizontal com Vazamento

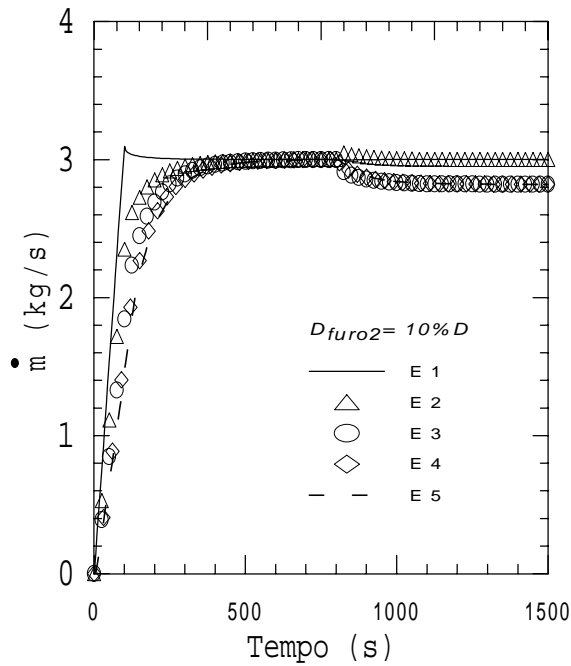
Considerou-se um gás ideal não isotérmico escoando através de uma tubulação com  $L = 5$  km e  $D = 30$  cm. As propriedades do gás são:  $R = 287$  N.m/(kg.K);  $z = 1,04$ ;  $\mu_{fl} = 1,5 \times 10^{-5}$  kg/(m.s), calor específico a pressão constante  $c_p = 1004$  N.m/(kg.K) e condutividade térmica  $k = 0,2$  W/(m.K).

No instante inicial, injeta-se fluido com temperatura de 313 K. A vazão em massa na entrada leva 100 s para atingir o valor constante de 3 kg/s. Considera-se que o fluido troca calor com o ambiente com coeficiente de troca de calor global  $U_G = 10$  W/(m<sup>2</sup>.K).

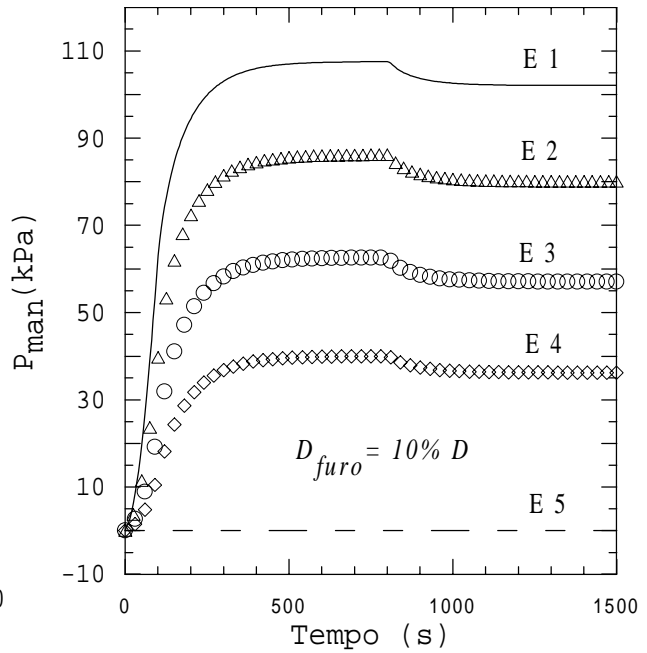
O vazamento ocorre através do ponto f2 da Fig. 2, com  $Cd_f = 0,5$ ; o tamanho do furo é  $D_f = 10\% D = 3,1$  cm; o que corresponde a  $A_f = 0,0007$  m<sup>2</sup> e  $Cd A_f = 0,000353$  m<sup>2</sup>.

A Figura 3 ilustra a variação temporal da vazão e pressão nos cinco pontos da linha. Observa-se que no instante em que começa o vazamento, ocorre uma sensível diminuição da vazão mássica nas estações a jusante do furo, permanecendo inalteradas as leituras a montante. Com relação a pressão, pode-se identificar o instante em que o incidente ocorre, porém, não é possível identificar o trecho, já que uma leve queda de pressão é detectada em todas as seções.

A variação temporal da temperatura é apresentada nas Figs. 4 e 5 para dois valores de tamanho do furo, correspondente a 10% e 1% do diâmetro da tubulação, ( $D_f = 10\% D$ ,  $D_f = 1\% D = 2,3$  mm, que corresponde a  $A_f = 7,07 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup> e  $Cd A_f = 3,53 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>). Inicialmente o fluido está em repouso e a temperatura ambiente. É então, injetado fluido quente na

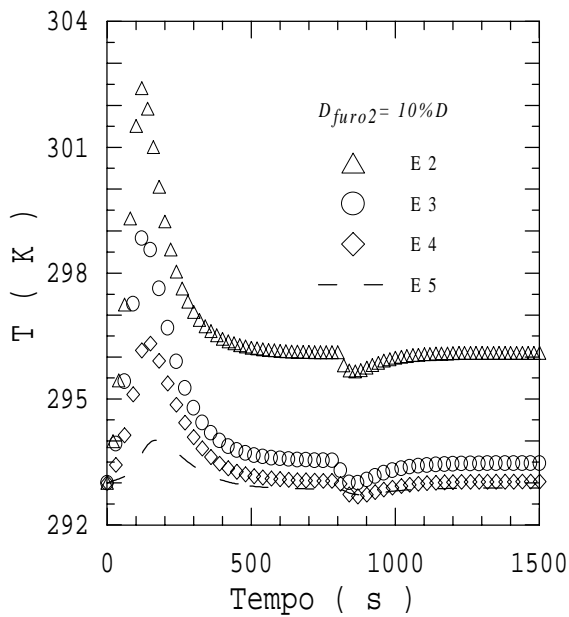


**a) Vazão mássica**

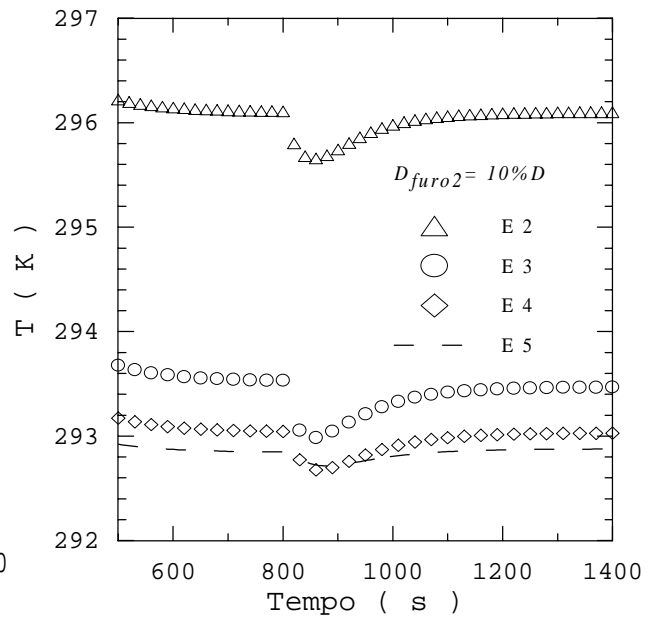


**(b) Pressão**

**Figura 3 -** Escoamento de gás na tubulação com vazamento em f2. Variação temporal.



**(a) Transiente total**

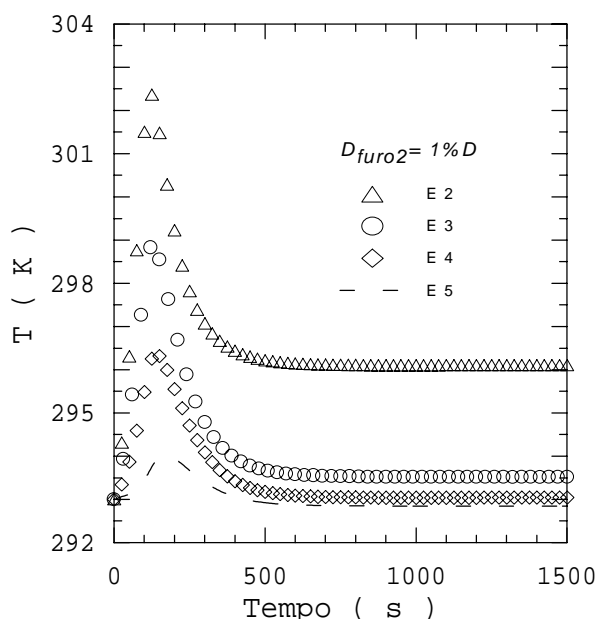


**(b) Detalhe durante o vazamento**

**Figura 4 –** Variação temporal da temperatura do gás para vazamento através de f2.

$$D_{furo2}=10\%D$$

tubulação. A temperatura na estação E1 é constante e igual a 313 K e não será apresentada nos gráficos. Observa-se que inicialmente, a medida que a vazão e a pressão vão se elevando até atingirem o valor de regime permanente, a temperatura também vai subindo. Porém, após a vazão e pressão se estabilizarem, o fluido começa a ser mais influenciado pela temperatura do meio ambiente, e a temperatura decai, atingindo um perfil de regime permanente, variando exponencialmente ao longo da tubulação, desde o alto valor da entrada até um valor próximo à temperatura externa. A Fig. 4b ilustra a variação da temperatura após o regime permanente ter sido atingido, ressaltando o processo durante o vazamento. Observa-se que devido ao



**Figura 5** – Variação temporal da temperatura do gás para vazamento através de f2.  
 $D_{furo2}=1\%D$

vazamento ocorre uma queda da temperatura, acompanhando a queda de pressão e massa. Contudo, como fluido quente continua sendo injetado, observa-se uma posterior recuperação da temperatura em todas as estações. No caso de vazamentos através de furos pequenos, a perda de massa praticamente não afeta a distribuição da temperatura dentro da tubulação, como pode ser visto na Fig. 5.

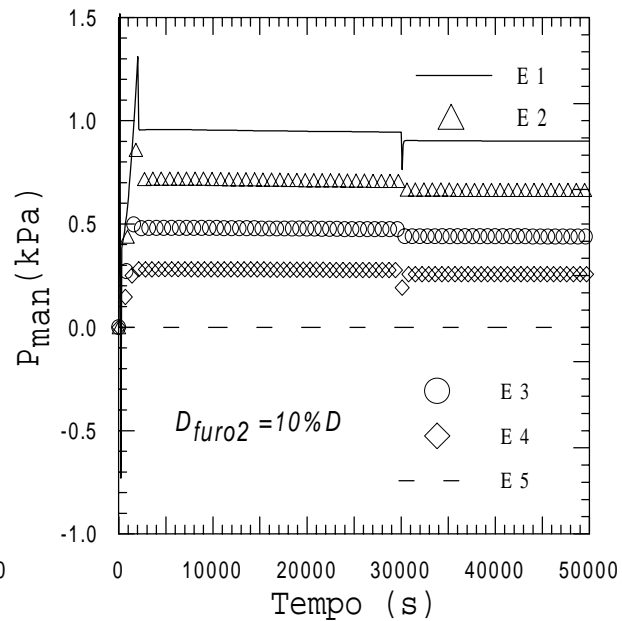
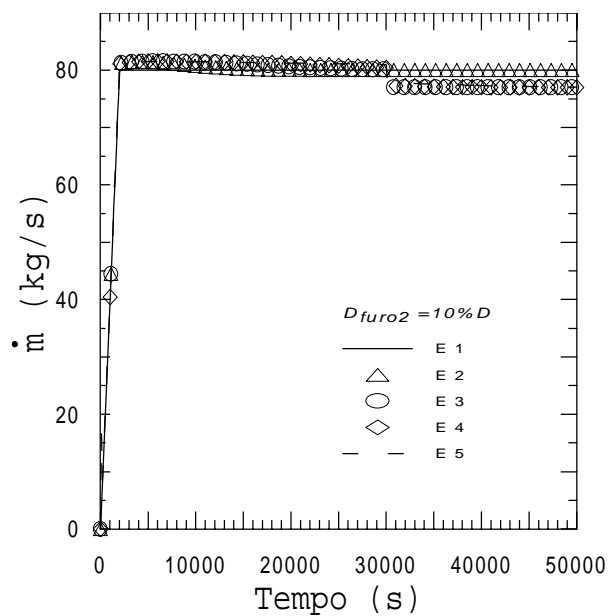
#### 4.2 Escoamento de um Líquido Não Isotérmico numa Tubulação Horizontal com Vazamento

Este problema é análogo ao caso anterior, porém o fluido de trabalho é água. O fluido ingressa com uma temperatura constante de 300 K. A vazão em massa na entrada é aumentada lentamente levando 2000 s para atingir o valor constante de 80 kg/s. Na saída da tubulação a pressão é atmosférica. A tubulação tem comprimento  $L = 5$  km e diâmetro  $D = 85$  cm. As propriedades da água são:  $a = 1200$  m/s;  $\mu_{fl} = 10^{-3}$  kg/(m.s);  $c_p = 4000$  N.m/(kg.K);  $k = 0,6$  W/(m.K).

Após 30 000 s considera-se o aparecimento de um vazamento, devido a um furo na superfície da tubulação, localizado em f2. O tamanho do furo é  $D_f = 10\% D = 8,5$  cm, correspondendo a  $A_f = 0,00567$  m<sup>2</sup> e  $Cd A_f = 0,00284$  m<sup>2</sup>. O coeficiente de troca de calor é  $U_G = 15$  W/(m<sup>2</sup>.K). A temperatura inicial é igual a do meio ambiente  $T_\infty = 293$  K.

De forma similar ao observado no caso anterior, nota-se na Fig. 6 a presença do vazamento pela variação brusca da vazão e pressão no instante que o vazamento começa. Observa-se que a jusante do furo a vazão é mais baixa, e que após uma queda brusca da pressão em todas as direções, observa-se uma recuperação da mesma, atingindo um novo valor de regime permanente.

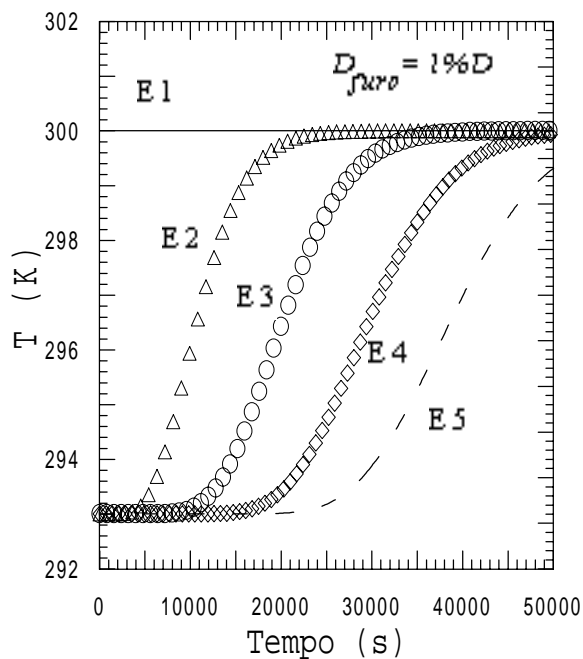
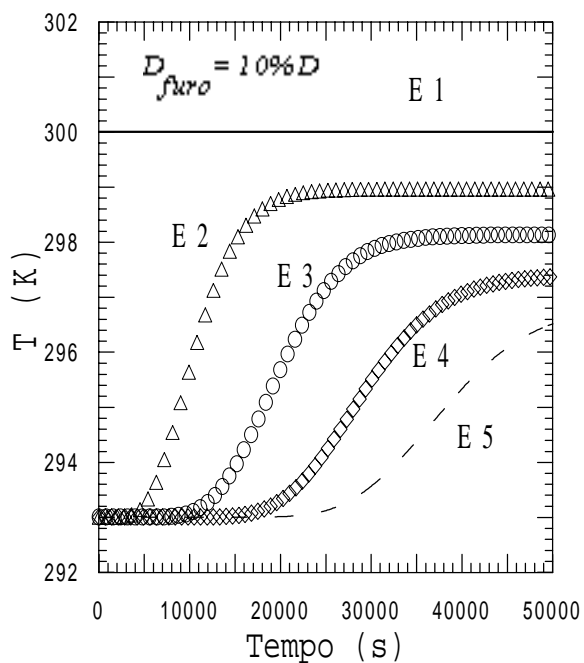
A variação da temperatura é mostrada na Fig. 7 para dois valores distintos de coeficientes de troca de calor. Observa-se que o vazamento não afetou a distribuição de temperatura em nenhum dos casos. Nota-se ainda na Fig. 7a, que quando a troca de calor com o meio ambiente é mais intensa, a variação de temperatura ao longo da tubulação é quase linear. Já para o caso de um coeficiente de troca de calor bem baixo, Fig. 7b, o fluido é todo aquecido atingindo o valor da temperatura de entrada, observando-se um comportamento do escoamento como se a tubulação estivesse isolada



(a) Vazão mássica

(b) Pressão

Figura 6 - escoamento de líquido na tubulação com vazamento em f2. Variação temporal.



(a)  $U_G = 15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

(b)  $U_G = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Figura 7 - Variação temporal da temperatura do líquido para vazamento através de f2.



## 5. CONCLUSÕES

O objetivo de elaborar um modelo com o enfoque conservativo para simular o transiente do vazamento de líquidos e gases foi atingido. A influência da perda de massa nos campos de velocidade, pressão e temperatura foi analisada mediante simulação de diversos tamanhos de furos ao longo de tubulações de diferentes comprimentos e diâmetros, tanto para gases quanto para líquidos.

Constatou-se que a presença de vazamentos introduz perturbações na vazão em massa, pressão e temperatura. O instante que começa o vazamento é claramente identificado. No entanto, o monitoramento da pressão ao longo da tubulação não permite identificar a localização do furo, pois uma queda de pressão similar é verificada tanto a montante quanto a jusante do furo. No entanto, no registro contínuo da vazão mássica, pode-se observar claramente o trecho da tubulação na qual o vazamento acontece, já que sendo um modelo que conserva massa em cada ponto, a perda através do furo origina um desbalanceamento na massa, a qual é rapidamente captada pelas estações localizadas a jusante do furo.

Quanto menor o furo, menor a vazão através dele, menor a queda de pressão e menor a influência no campo da temperatura.

Dado que os efeitos de compressibilidade no líquido são pequenos em relação ao gás, a perda de massa numa linha transportando este tipo de fluido é mais fácil de ser detectada, pois a queda de pressão devido ao surgimento do vazamento é mais acentuada do que no caso de gases. Esta característica do escoamento com líquidos faz com que vazamentos através de furos pequenos sejam detectáveis, ou o que é equivalente, menores perdas de massa são mais fáceis de serem identificadas para o caso de líquidos.

O efeito do vazamento no campo da temperatura no caso de transporte de gás é mais sensível do que no caso de líquidos. No caso de líquido, o campo de temperatura só é afetado se o vazamento for muito elevado. Com 10% de vazamento a influência é muito pequena.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio recebido durante a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Anderson JR., J.D., 1995, Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications, McGraw-Hill International Editions.
- Billmann, L. and Isermann, R., 1987, Leak Detection Methods for Pipelines, Automatica, vol. 23, n. 3, pp. 381-385.
- Buiatti, C.M., Cruz, S.L. e Pereira, J.A.F.R., 1994, Computational Methods for On-line Leak Detection and Location in Liquid Pipelines, 8º Simpósio Brasileiro Sobre Tubulações e Vasos de Pressão, Gramado, RS, Brasil.
- Fox, R.W. and McDonald, A.T., 1995, Introdução a Mecânica dos Fluidos. Editora Guanabara S.A., 4ª Edição.
- Isermann, R., 1984, Process Fault Detection Based on Modeling and Estimation Methods - A Survey, Automatica, vol. 20, n. 4, pp. 387-404.
- Liou, J.C.P., 1998, Pipeline Leak Detection by Impulse Response Extraction, PD - vol. 60, Pipeline Engineering, pp. 51-58.
- Liou, J.C.P. and Tian, J. 1994, Leak Detection: A Transient Flow Simulation Approach, PD-vol. 60, Pipeline Engineering, pp. 51-58.
- Liou, J.C.P., 1990, Leak Detection and Location by Transient Flow Simulations, Proceedings of the International Conference on Pipeline Design and Installation, ASCE, Las Vegas, Nevada, pp. 255-269.

- Liou, J.C.P., 1983, A Numerical Model for Transients in Petroleum Products Pipelines, Joint ASME Conference, Houston, Texas, USA, pp. 61-66.
- Olorunmaiye, J.A., 1994, Computation of Natural Gas Pipeline Transients, Including Frictional and Heat Transfer Effects, 8<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro Sobre Tubulações e Vasos de Pressão, Gramado, RS, Brasil.
- Patankar, S.V., 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, U.S.A.
- Romero, O.J., 1999, Um Método Conservativo para Análise de Transientes de Gases/Líquidos em Tubulações, Dissertação de Mestrado, PUC-RJ, Brasil.
- Romero, O.J. e Nieckele, A.O., 1999, Estudo do Regime Transiente de Fluidos Compressíveis em Tubulações com Área Variável, Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM99, Aguas de Lindóia, São Paulo, SP, Brasil.
- Romero, O.J. e Nieckele, A.O., 2000, Análise do Vazamento de Líquidos e Gases Isotérmicos em Tubulações, Submetido ao Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM2000, Natal, Rio Grande do Norte, RN, Brasil.
- Sandberg, C., Holmes, J., McCoy, J. and Koppitsch, H., 1989, The Application of a Continuous Leak Detection System to Pipelines and Associated Equipment, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, n. 5, pp. 906 – 909.
- Waley, R.S. and Ellul, I.R., 1994, Consideration in Choosing a leak Detection Method, PD-vol 60, Pipeline Engineering, ASME, pp. 39-44.
- Waley, R.S., Nicholas, R.E. and Van Reet, J.D., 1992, Tutorial on Software Based Leak Detection Techniques, Pipeline Simulation Interest Group, pp. 1-19.
- Watanabe, K. and Himmelblau, D.M., 1986, Detection and Location of a Leak in a Gas transport pipeline by a New Acoustic Method, AIChE Journal, Vol 32, No 10.
- Wylie, E. B. and Streeter, V.L., 1978, Fluid Transients, McGraw-Hill.

## **A CONSERVATIVE NUMERICAL METHOD TO STUDY LEAKAGE THROUGH PIPELINE WITH NON-ISOTHERMAL COMPRESSIBLE FLUIDS**

Oldrich J. Romero – oldrich@mec.puc-rio.br

Angela O. Nieckele – nieckele@mec.puc-rio.br

Departamento de Engenharia Mecânica, – PUC/Rio, CEP 22453-900, RJ, RJ, Brasil

**Abstract.** *A numerical simulations of leakage of compressible non-isothermal liquid and gases through pipeline with non-rigid walls. The leakage was prescribed proportional to the pressure difference between the fluid and the ambient. The finite volume method is employed to solve the conservative form of the equations that govern the flow field. The influence of the leakage in the velocity, pressure and temperature fields is investigated for different hole sizes and locations along the pipeline. Since the leakage causes perturbations in the flow field, the instant that it starts can be determined by continuously monitoring the flow parameters at strategical points along the pipeline. Since the method is conservative, the location of the leakage can be determined by the unbalance of the mass flow rate between different stations along the pipeline.*

**Key-words:** *leakage, non-isothermal, transient, conservative, compressible.*