

FORMAÇÃO DE HIDRATOS DE GÁS EM ESCOAMENTO MONOFÁSICO

Mabelle Binacardi Oliveira, mabelle@metal.eeimvr.uff.br¹

José Adilson de Castro, adilson@metal.eeimvr.uff.br¹

Alexandre José da Silva, ajs@metal.eeimvr.uff.br¹

¹Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica – EEIMVR - UFF, Av. dos Trabalhadores 420 – Vila Sta. Cecília – 27255-125 – Volta Redonda – RJ

Resumo: O estudo sobre a formação dos hidratos de gás tem atraído um grande interesse científico, principalmente por parte da indústria petrolífera. Os hidratos de gás são compostos cristalinos com a aparência do gelo, que se formam no interior das tubulações, causando obstruções. Tradicionalmente, o escoamento em sistemas de extração e transporte de petróleo tem sido tratado pelas equações tradicionais da mecânica do contínuo. No presente estudo propõe-se a formulação fluidodinâmica do escoamento baseada nas equações de transporte de momento, acoplado ao modelo de formação de hidrato baseado no método de campo de fase. As equações diferenciais parciais do modelo de escoamento são discretizadas em uma malha não ortogonal através do método de volumes finitos e conjuntamente com condições iniciais e de contorno são numericamente resolvidas. Essas equações são resolvidas em um complexo código computacional, implementado em linguagem Fortran 90/95. O modelo do campo de fase é acoplado ao escoamento através de termos fontes da equação de energia e propriedades da fase, possibilitando analisar conjuntamente ao escoamento a formação dos hidratos de gás. Neste modelo assume-se uma nucleação previa do hidrato. Os resultados mostram o campo de temperatura desenvolvido na frente de formação do hidrato, notando-se que o escoamento transporta por convecção o calor gerado pelo processo de transformação de fase ocorrido na formação dos hidratos. Também pode-se notar o desenvolvimento dos hidratos, observando-se que o crescimento passa a ser preponderante na direção do escoamento, indicando que a aderência do mesmo depende da velocidade do escoamento. Com o final da simulação, foi possível obter a fração de hidrato formado ao longo do tempo e prever os casos de entupimento da tubulação.

Palavras-chave: Hidrato, escoamento, equações de transporte, campo de fase

1. INTRODUÇÃO

O estudo sobre a formação dos hidratos de gás tem atraído um grande interesse científico, principalmente por parte da indústria petrolífera. Normalmente nas tubulações de petróleo encontra-se uma fase gasosa (gás natural), uma ou duas fases líquidas de hidrocarbonetos (óleo) e uma fase sólida que ocasionalmente causa obstruções. Esta fase sólida pode ser composta por sólidos puros (como gelo, dióxido de carbono sólido etc...), hidratos, parafinas, compostos asfálticos e ceras (Edmonds et al, 1999). O objeto de estudo do presente trabalho são os hidratos, que são compostos cristalinos com a aparência do gelo, onde dois ou mais componentes são associados sem ligação química. A formação ocorre quando a molécula de água através de pontes de hidrogênio origina uma rede cristalina que é estabilizada pelo encapsulamento de uma molécula gasosa. Dependendo do tamanho da molécula encapsulada há formação de dois tipos de estrutura cristalina, a estrutura I e estrutura II (Rossi, 1990). Os hidratos podem sofrer aderência na tubulação, provocando o seu entupimento ou ser lançado como projeteis que podem ocasionar vazamentos, causando acidentes operacionais. Com os avanços dos estudos, descobriram-se várias possibilidades de uso para os hidratos, como fonte de energia, dessalinização da água do mar, armazenamento de gás natural, aumento de pressão sem o uso de compressores e enriquecimento das frações leves do gás natural. Por enquanto, estas utilizações não são economicamente viáveis, sendo algumas realizadas em pequena escala (Freitas, 1990).

Buanes *et al.* (2006) realizaram simulações do crescimento do hidrato utilizando um modelo híbrido entre os métodos de Monte Carlo e do Autômato Celular. A cinética de formação dos hidratos depende do transporte de massa, transporte de calor e da variação de energia livre presente na transformação de fase. O modelo foi baseado na utilização da densidade de energia livre $f(\phi, x_{CO_2}, T)$. A densidade de energia livre do líquido foi obtida pela contribuição da água e do CO₂ puro em uma diluição infinita e adicionou-se uma contribuição para a mistura. A termodinâmica dos hidratos foi baseada no modelo de Kvamme-Tanaka e van der Waals e Platteeuw (1959).

Segundo Svandal *et al.* (2006), o modelo do Campo de Fase pode ser aplicado para o crescimento dos hidratos de gás natural. A solidificação dos hidratos é descrita pelo parâmetro de fase ϕ e pela concentração local do soluto A

cinética é controlada pelo transporte de massa do soluto, conduzindo ao avanço da interface. Um outro trabalho de referido autor (Svandal *et al.* 2006) fez uso de modelos termodinâmicos para calcular as propriedades de equilíbrio e alguns parâmetros necessários para a simulação da cinética, servindo como dados de entrada para o método do Campo de Fase. As simulações indicaram que o processo de crescimento dos hidratos em solução aquosa é limitado pelo transporte de massa.

Segundo Soo (2005), um sistema multifásico consiste em uma fase fluida e uma fase particulada baseando-se na configuração geométrica do escoamento, podendo observar transições entre os arranjos. Existem estudos ainda que simulam o escoamento de fluidos na tubulação sem levar em conta o arranjo de fase, segundo Seo *et al.* (2003) as fases do escoamento são tratadas como contínuas sendo a pressão comum para os fluidos e assume-se que a resistência de um fluido movendo-se no outro é proporcional a diferença das velocidades entre os mesmos.

Ibraheem *et al.* (1998) modelaram um escoamento unidimensional e isotérmico para o transporte de hidratos em tubulações de gás natural, empregando para o problema as equações de conservação de massa e de momento que foram descritas simultaneamente para o escoamento gasoso e das partículas sólidas. Os autores analisaram o efeito da concentração, taxa de escoamento do gás e orientação do duto, mostrando que o modelo apresentou uma boa eficácia quando comparado com outros modelos.

O modelamento de escoamentos analisando as transições de fase, bem como a formação de hidratos de gás utilizando o modelo do campo de fase, não são técnicas novas, pois vários pesquisadores fazem uso dessas formulações para estudar seus comportamentos. Porém, seus estudos são feitos de forma separada, pois são fenômenos complexos de serem modelados e simulados. Por este motivo o modelo proposto pelo presente estudo visa o acoplamento dos fenômenos levando-se em conta à cinética e a termodinâmica de formação do hidrato.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No modelo do Campo de Fases, o estado de todo o sistema (núcleo sólido, meio líquido e interface) é representado por um único parâmetro, conhecido como variável do campo de fase (ϕ). Para a região sólida (núcleo solidificado) $\phi = +1$, para a região líquida $\phi = 0$ e conseqüentemente a interface está entre 0 e +1. A faixa no qual ocorre a mudança da variável do Campo de Fase representa a espessura da interface.

A evolução, com o tempo, do núcleo formado é proporcional à variação de um funcional de energia livre com relação à variável ϕ , segundo Bhadeshia (2000). Esta relação é mostrada a seguir de forma modificada para representar o transporte do sólido formado no interior da corrente fluida:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -M \frac{\partial F}{\partial \phi} \quad (1)$$

sendo M a mobilidade e F descreve como a energia livre varia em função da variável ϕ , sendo representado pela Eq. 2.

$$F = \int_V \left[f_0 \{ \phi, T \} - \frac{\epsilon^2}{2} (\nabla \phi)^2 \right] dv \quad (2)$$

Cahn, *apud* Bhadeshia (2000), obteve a equação acima e assumiu que a densidade de energia livre pode ser resolvida por uma expansão de série de Taylor de multivariáveis, sendo V e T o volume e a temperatura respectivamente. O segundo termo da equação só depende do gradiente de ϕ , sendo diferente de zero na região da interface, e o sinal negativo favorece a diminuição da energia livre do sistema devido a esse gradiente. O primeiro termo representa a soma das energias livres do núcleo formado e do meio líquido, contendo também uma variável que representa a energia livre de excesso devido à interface.

O modelo matemático para a formação dos hidratos consiste ainda na equação de transporte de energia, representada pela equação abaixo, sendo resolvida simultaneamente com a equação de fase

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \nabla^2 T + \frac{\Delta H}{C_p} h'(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (3)$$

A diferencial parcial do lado esquerdo da igualdade representa o termo transiente. O primeiro termo do lado direito da igualdade é o termo difusivo, onde D é a difusividade térmica. O segundo e terceiro termos representam o termo fonte da equação de energia, sendo o ΔH o calor latente liberado para o meio no processo de formação dos hidratos e C_p o calor específico. A equação de energia (Eq. 3) é acoplada à equação de fase (Eq. 1) através do termo fonte.

Para se obter a morfologia da interface similar às estruturas estudadas, é necessária a introdução da anisotropia e da instabilidade de frente de solidificação. Entretanto, para essa mudança, é necessário uma nova derivação da Eq. 2, resultando em uma equação de fase com termos de derivada cruzadas, apresentada pela Eq. 4.

$$\frac{1}{M(\theta, \psi)} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \left(\begin{aligned} & \nabla \cdot (\epsilon(\theta, \psi)^2 \nabla \phi) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon(\theta, \psi) \epsilon'(\theta, \psi) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon(\theta, \psi) \epsilon'(\theta, \psi) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon(\theta, \psi) \epsilon'(\theta, \psi) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \\ & - \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon(\theta, \psi) \epsilon'(\theta, \psi) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon(\theta, \psi) \epsilon'(\theta, \psi) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon(\theta, \psi) \epsilon'(\theta, \psi) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - w_g'(\phi) - h'(\phi) \frac{\Delta H}{T_i} (T - T_i) \end{aligned} \right) \quad (4)$$

Considerando a parte anisotrópica do modelo, ε e M dependem de dois ângulos e estes são as orientações do vetor normal à interface com relação aos eixos x e z , conforme as Eq. 5 e 6.

$$\varepsilon_{(\theta,\psi)} = \varepsilon_0 (1 + \delta_\varepsilon \cos j(\theta - \theta_0) + \delta_\psi \cos k(\psi - \psi_0)) \quad (5)$$

$$M_{(\theta,\psi)} = M_0 (1 + \delta_\varepsilon \cos j(\theta - \theta_0) + \delta_\psi \cos k(\psi - \psi_0)) \quad (6)$$

onde $\delta\varepsilon$ e $\delta\psi$ são as constantes de anisotropia. Os valores de j e k controlam o número de anisotropia. Para o caso dos hidratos, foram feitas simulações para que a morfologia do hidrato formado tivesse boa concordância com os resultados experimentais (Gayet et al 2005). As constantes θ_0 e ψ_0 são as orientações da interface com a máxima anisotropia. O ângulo formado pelo plano perpendicular ao eixo x corresponde a θ , enquanto o ângulo formado com o eixo z é representado pelo ψ .

A Eq. 7 apresenta o fator de energia de excesso (W) que aparece na Eq. 4 na qual os termos $h'(\phi)$ e $g'(\phi)$ são as derivadas das Eqs. 8 e 9 respectivamente, conforme Eqs. 8 e 9:

$$W = 6,6 \frac{\sigma}{\lambda} \quad (7)$$

$$h(\phi) = \phi^3 (10 - 15\phi + 6\phi^2) \quad (8)$$

$$g(\phi) = \phi^2 (1 - \phi)^2 \quad (9)$$

Em uma primeira abordagem da simulação, a anisotropia da formação dos hidratos de gás não foi considerada. Esta aproximação foi assumida com base em observações de hidratos formados em escala laboratorial. Portanto, as Eqs. 5 e 6 reduzem a:

$$M_{(\theta,\psi)} = M_0 \quad (10)$$

$$\varepsilon_{(\theta,\psi)} = \varepsilon_0 \quad (11)$$

As equações 1 e 3 foram discretizadas pelo método dos volumes finitos (Patankar, 1985). A equação de energia (equação 3) foi resolvida em um esquema implícito, o que garante a convergência para qualquer passo no tempo, já para a equação de fase (1), foi utilizado um esquema explícito.

As propriedades locais como capacidade térmica, condutividade térmica e densidade foram consideradas individualmente e calculadas localmente para as fases gás, líquido e hidrato, aplicando-se o modelo de misturas.

Para considerar a modelagem fluidodinâmica do processo de formação dos hidratos de gás, faz-se necessário o acoplamento do modelo de escoamento. Onde as equações diferenciais parciais do modelo de escoamento são discretizadas para serem resolvidas por uma malha não ortogonal, tendo a necessidade da introdução de condições iniciais e de contorno. Essas equações são resolvidas em um complexo código computacional, utilizando-se o Fortran 90/95 como ferramenta de resolução. O modelamento segue os fundamentos utilizados por Castro (2000), porém com modificações para o escoamento e a formação dos hidratos de gás (modelo do campo de fase). O procedimento de cálculo, entretanto, não sofrerá mudanças, somente a adaptação do modelo para o escoamento em questão e o acoplamento do campo de fase para o crescimento dos hidratos.

A modelagem matemática para o escoamento pode ser formulada pelas equações de transporte de massa, momento e energia, no qual os fenômenos envolvidos no interior das tubulações podem ser representados pela equação geral do transporte representada a seguir:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \varepsilon u_j u_i) = \frac{\partial}{\partial j} \left(\mu \frac{\partial}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial P}{\partial x_i} + S_{ui} \quad (12)$$

onde u_i é a componente da velocidade, ρ é a massa específica, ε é a porosidade, nos quais o índice i representa uma fase, P a pressão e μ o coeficiente de viscosidade.

A composição mássica de cada fase é calculada pela equação de conservação de massa com a fração de cada componente, selecionada como variável dependente. Serão analisados alguns componentes de ambas as fases consideradas (sólida e líquida), principalmente da sólida, verificando seu comportamento durante o escoamento.

O termo fonte, S_{ui} , representa a geração ou consumo de massa, momento ou energia na unidade de volume, aparecendo de várias formas nas equações de transporte. Uma das principais características do termo fonte é a consideração feita em relação às interações entre as fases, que resultam no acoplamento das equações de conservação de massa, momento e energia. Fontes de energia podem surgir devido à transformação de fase que ocorre pelo encapsulamento das moléculas de gás pelas moléculas de água, passando de compostos metaestáveis para estáveis, originando então os hidratos.

Essas equações são resolvidas iterativamente pelo método dos volumes finitos, possibilitando uma aproximação para a resolução da Eq. 12, que consiste em coordenadas generalizadas (Melaen, 1992), onde a mesma é integrada em um volume de controle arbitrário. Foi assumida nas simulações que o campo de velocidades interage com a massa de hidrato formada experimentando uma resistência à passagem de fluxo proporcional a fração de hidrato formada, conforme Eq. 13.

$$F = -K\phi(u_l - u_s) \quad (13)$$

onde k é a constante de permeabilidade, relacionada ao número de Reynolds local, ϕ é a variável do campo de fase e u_l e u_s são as velocidades da fase líquida e sólida respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados nesta seção dizem respeito à simulação do escoamento de água e hidratos, acoplado ao campo de fase.

Em um primeiro estudo feito pelo programa termodinâmico (Oliveira *et al.* 2007) foi possível à construção de diagramas de fase onde se tem a temperatura e pressão de formação dos hidratos. Esses são usados como dados de entrada para o programa do campo de fase acoplado ao escoamento, tendo então a temperatura inicial de formação dos hidratos e a pressão de equilíbrio. Para essa simulação adicionou-se um grão na seção circular do domínio, de 60 x 120 x 20 volumes de controle e uma tubulação de 2100 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro, conseguindo representar a formação dos hidratos nas tubulações.

Os parâmetros do modelo do campo de fase e as propriedades físicas dos hidratos foram validados por Oliveira (2009-a, 2009-b), logo são as mesmas utilizadas por esta simulação.

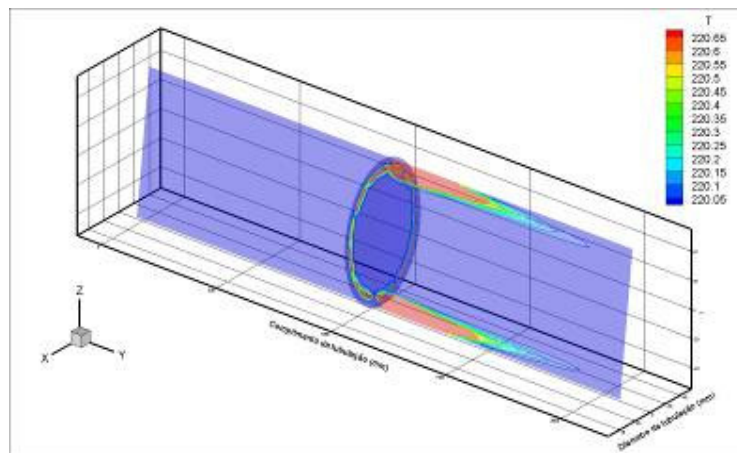
Considerou-se que as propriedades utilizadas na simulação foram ponderadas pela relação abaixo:

$$C = h(\phi)C_s + (1 - h(\phi))C_l \quad (14)$$

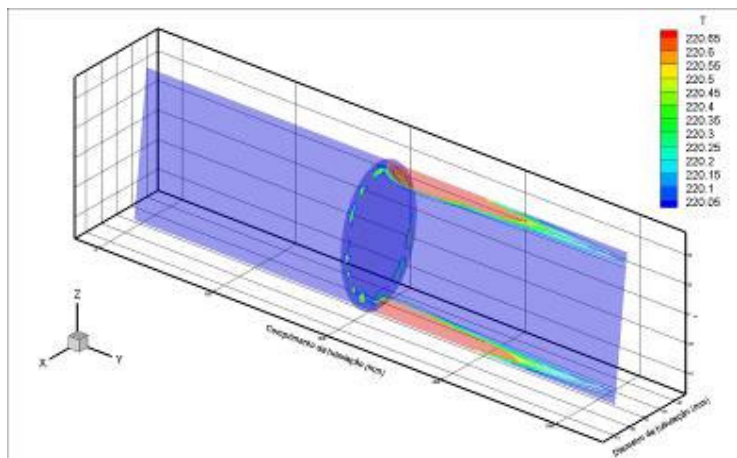
onde a variável C representa todas as propriedades em questão.

Utilizou-se temperatura prescrita na entrada como condição de contorno para a equação da energia, usada no método do campo de fase. Acrescentaram-se termos fonte em relação à equação de energia e equação de fase utilizada no método do campo de fase, possibilitando então o acoplamento dos métodos (escoamento e campo de fase).

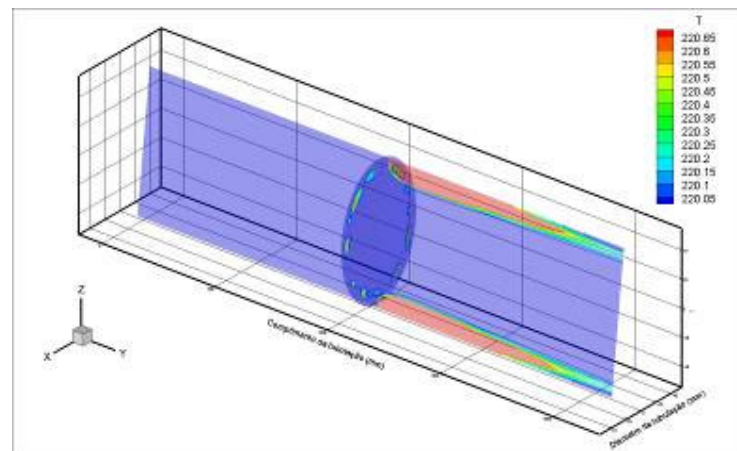
A figura 1 mostra o perfil de temperatura para o escoamento acoplado ao método do campo de fase, em vários tempos de observação. Para um tempo inicial, Fig. 1-a observa-se uma frente de solidificação uniforme, notando-se que o escoamento dissipa o calor gerado pela formação dos hidratos. Para tempos maiores, 10 e 15 segundos, Figs. 1-b e 1-c, a temperatura no grão previamente adicionado começa a sentir o efeito local da transformação de fase na temperatura.



(a)



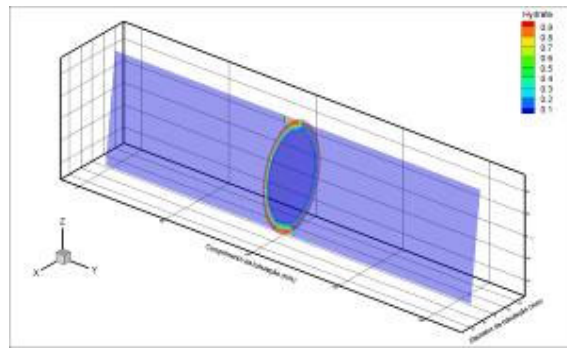
(b)



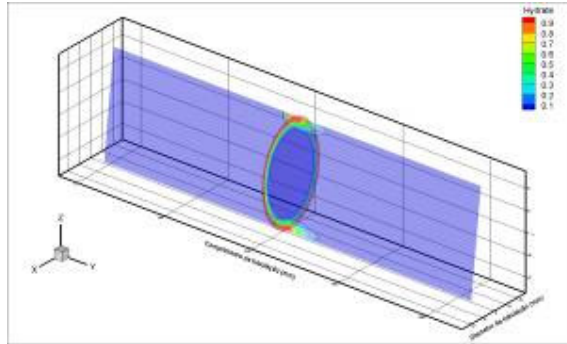
(c)

Figura 1: Perfil de temperatura para simulação de escoamento acoplado ao campo de fase

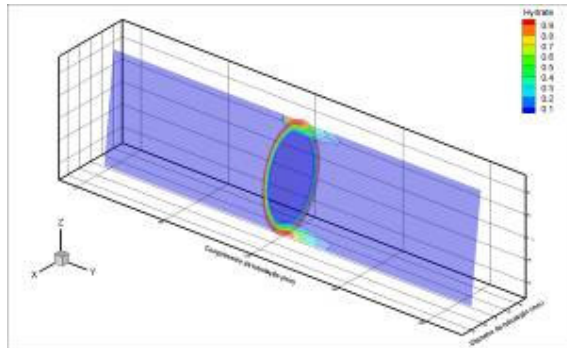
Para a formação dos hidratos de gás tem-se na Fig. 2 seu perfil. Onde se pode observar que para tempos menores temos somente o hidrato adicionado previamente ao modelo Fig. 2-a. No entanto, à medida que o tempo vai passando, o hidrato que irá se formar passa a ser carregado pela velocidade do escoamento. Logo o crescimento do hidrato passa a ser mais desenvolvido na direção do escoamento que para dentro da região líquida.



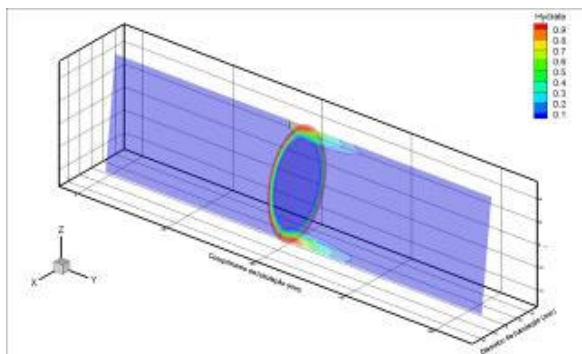
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2: Perfil de crescimento de hidrato

O método do campo de fase é um processo análogo à cristalização, logo obteve-se a fração de hidrato formado versus o tempo, que corresponde à área de hidrato formado dividido pela área não recristalizada, como mostra a Fig. 3. Em uma prévia simulação considerou-se somente grão de hidrato em uma seção circular. Por esse motivo, o perfil de crescimento do hidrato mostrado na figura representa uma solução diluída, ou seja, com poucos grãos de hidrato adicionados à tubulação de escoamento, onde ainda não observa-se a coalescência dos núcleos de hidrato.

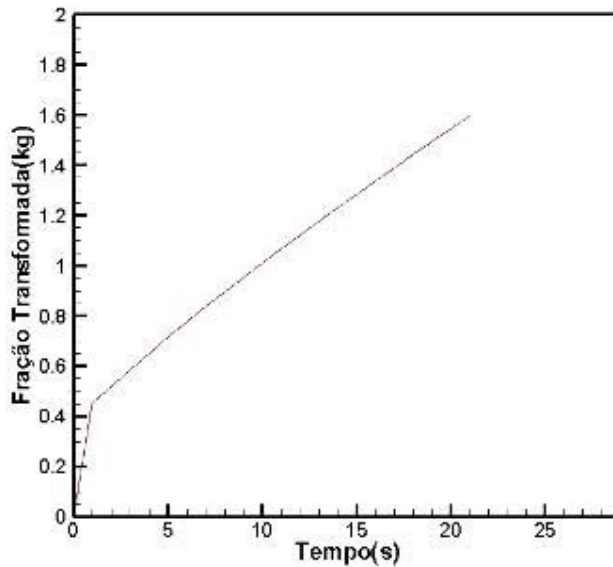


Figura 3: Fração de hidrato formado versus tempo

4 CONCLUSÕES

O modelo de escoamento acoplado ao campo de fase, mostrou-se uma ferramenta capaz de simular concomitantemente o efeito da formação dos hidratos e o seu escoamento, revelando a sua influência sobre o perfil de temperatura, fazendo com que o calor fosse dissipado ao longo do comprimento da tubulação representada. Além disso, o modelamento proposto permitiu a observação do perfil de formação do hidrato, uma vez que o acoplamento do escoamento fez com que o hidrato crescesse mais na direção do escoamento que para dentro da região líquida.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES por incentivar e fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico nacional.

6. REFERÊNCIAS

- Bhadeshia, H. K. D. H., 2000, Course MP6 Department Materials Science & Metallurgy, University of Cambridge.
- Buanes, T., Kvamme, B., Svandal, A., 2006, "Computer simulation of CO₂ hydrate growth", *Journal of Crystal Growth*, Vol. 287, pp. 491-494.
- Castro, J. A., 2000, "A multi-dimensional transient mathematical model of blast-furnace based on multi-fluid model". Institute for advanced material processing, Tohoku University, Japan, Ph.D. Thesis.
- Edmonds, B., Moorwood, R.A.S. and Szczepanski, A., 1999, "Unified for calculating solid deposition from petroleum fluids including waxes, asphaltenes, hydrates and scales", *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 158, pp. 481 – 489.
- Freitas, A.M.V., 1990, "Estudo da formação de hidratos de gás", Dissertação de Mestrado, UFRJ, Brasil.
- Gayet, P., Dicharry, C., Marion, G., Graciaa, A., Lachaise, J., Nesterov, A., 2005, "Experimental determination of methane dissociation curve up to 55 MPa by using a small amount of surfactant as hydrate promoter", *Chemical Engineering Science*, Vol. 60, pp 5751-5758.
- Ibraheem, S. O., Adewumi, M. A. and Savidge, J. L., 1998, "Numerical simulation of hydrate transport in natural gas pipeline", *The American Society of Mechanical engineers*, Vol. 120, p 20-26.
- Melaen, M.C., 1992, "Calculation of Fluid Flows with Staggered and Nonstaggered Curvilinear Nonorthogonal Grids-The Theory", *Numerical Heat Transfer, Part B*, Vol. 21, pp. 1-19.
- Oliveira, M.B., Castro, J.A Silva, A.J. and Furtado, A.F., 2007, "A comparison between the phase diagrams of natural hydrates using Peng-Robinson and Soave-Redlich-Kwong equilibrium formulations", 19th International Congress of Mechanical Engineering/COBEM, Brasília/DF, CD – Room.
- Oliveira, M.B., Castro, J.A and Silva, A.J., 2009, "Study of Hydrate Formation Kinetics in Petroleum Pipes by the Phase Field", *Heat Transfer Engineering*, Vol. 30, pp. 309-315.
- Patankar, S.V., 1985, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Washington: Hemisphere Publishing Company.
- Paladino, E. E., 2005, "Estudo do escoamento multifásico em medidores de vazão tipo pressão diferencial", Tese de Doutorado, UFSC, Brasil.
- Rossi, L.F.dos S., 1990, "Formação de hidratos em sistemas de gás natural", Dissertação de Mestrado, Unicamp, Brasil.

- Seo, E. R., Lee, D. -D. and Parameswaran, S., 2003, "A finite-volume based computational model for one dimensional, unsteady two fluid in a pipe", Second International Conference on Computation Methods in Multiphase Flow – Multiphase Flow II, Novo México, Novembro.
- Svandal, A., Kvamme, B., Grønås, L., Puzsai, T., Buanes, T. and Hove, J., 2006, "The phase-field theory applied to CO₂ and CH₄ hydrate", Journal of Crystal Growth, Vol. 287, pp. 486-490.
- Svandal, A., Kuznetsova, T. and Kvamme, B., 2006, "Thermodynamic properties and phase transitions in the H₂O/CO₂/CH₄ system", Fluid Phase Equilibria, Vol. 246, p 177-184.
- van der Walls, J.H. and Platteeuw, J.C., 1959, "Clathrate solutions", Advanced Chemical Physics, Vol. 2, No. 1, pp. 1.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

GAS HYDRATES FORMATION ADOPTING MONOPHASIC FLOW

Mabelle Binacardi Oliveira, mabelle@metal.eeimvr.uff.br¹

José Adilson de Castro, adilson@metal.eeimvr.uff.br¹

Alexandre José da Silva, ajs@metal.eeimvr.uff.br¹

¹Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica – EEIMVR - UFF, Av. dos Trabalhadores 420 – Vila Sta. Cecília – 27255-125 – Volta Redonda – RJ

***Abstract.** The gas hydrates formation theme has involved a great scientific interesting, especially by the petroleum industries once its extraction is an extremely complex operation. The gas hydrates are crystalline compounds liked ice that are formed inside the pipelines causing their obstructions. Thus, the present work is focused on the flow fluid-dynamic formulation by mean of the momentum transport equations coupled to the phase field method adapted for the hydrates formation. The partial differential equations of the flow model are discretized by employing a non-orthogonal mesh provided by the finite volume method. These expressions are solved together with both initial and boundary conditions into a complex computational code implemented according to Fortran90/95 languages. The phase field model is coupled to the flow through source terms from the energy equation e phase properties and it makes possible to analyze, at the same time, the flow and the hydrates formation. Also, in this proposed model the hypothesis of previous hydrate nucleation is assumed. The results show the temperature field developed on the hydrates formation frontal portion and it indicates that the flow is responsible to the generated convection heat transport provided by the phase transformation occurred during the hydrates formation. In addition, it can be noted that the hydrates evolution is primary along the flow direction and it is an indicative of that its adherence has a great dependence with the flow velocity. Finally, after the end of the simulation was possible to obtain the transformed hydrate fraction along the processing time and to predict the pipelines obstruction limit conditions.*

Keywords: Hydrate, Flow, Transport equations, Phase field