



XXIV CREAM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

ESTUDO NUMÉRICO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS

Larissa Lopes Nunes

Cleiton Elsner da Fonseca

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Avenida Universidade das Missões, 464 – Universitário, Santo Ângelo – RS, 98802-470

larissalnunes@aluno.santoangelo.uri.br

RESUMO: Este estudo trata-se de uma pesquisa numérica através do método de volumes finitos de escoamentos de fluidos não-Newtonianos viscoplásticos com dependência da temperatura. Na modelagem utilizada nesta pesquisa, o modelo de Herschel-Bulkley clássico que apresenta uma equação constitutiva que descreve um comportamento viscoplástico dos materiais, é modificado para que a viscosidade sinta os efeitos de temperatura. A modelagem mecânica que descreve o escoamento estudado foi implementada na ferramenta ANSYS FLUENT, onde simulações de escoamentos de fluidos de Herschel-Bulkley modificado em torno de um cilindro confinado entre duas placas planas são definidos como o problema para testar a modelagem mecânica. Efeitos de convecção de calor e inércia são estudados para diferentes fluidos de Herschel-Bulkley dependentes da temperatura, onde serão apresentados os campos de temperaturas, viscosidade aparente, taxa de deformação e *yielded/unyielded zones* (zonas que escoam e zonas que não escoam) variando parâmetros de interesse do modelo.

Palavras-Chave: Fluido não-Newtoniano, modelo de Herschel-Bulkley, material viscoplástico

ABSTRACT: This study is a numerical research using the finite volume method of temperature-dependent viscoplastic non-Newtonian fluid flows. In the modeling used in this research, the classic Herschel-Bulkley model that presents a constitutive equation that describes a viscoplastic behavior of the materials, is modified so that the viscosity feels the effects of temperature. The mechanical modeling that describes the studied flow was implemented in the ANSYS FLUENT tool, where Herschel-Bulkley fluid flow simulations modified around a cylinder confined between two flat plates are defined as the problem to test the mechanical modeling. Heat and inertial convection effects are studied for different temperature-dependent Herschel-Bulkley fluids, where temperatures, apparent viscosity, strain rate and yielded / unyielded zones, varying parameters of interest of the model

Keywords: Non-Newtonian fluid, Herschel-Bulkley model, viscoplastic materials

INTRODUÇÃO

Muitos dos materiais de interesse industrial se comportam como fluidos não-Newtonianos. Dentre estes materiais podemos citar: petróleo, lamas de perfuração, condimentos alimentícios, tintas, etc. Estes fluidos têm como principal característica, uma viscosidade não-constante e variando com a taxa de deformação. Grande parte destes materiais podem ter suas viscosidades alteradas devido a uma transferência de calor. Na literatura existem alguns trabalhos que utilizam modelos que descrevem o comportamento reológico dos fluidos não-Newtonianos viscoplásticos dependentes da temperatura, tais como Nouar et al. (1998), que contestou as conclusões anteriores de Naimi et al. (1990), que subestimaram a importância das propriedades reológicas dependentes da temperatura no escoamento. Nesta atual pesquisa, a modelagem mecânica é formada pelas equações de balanço de massa e quantidade de movimento linear mais uma equação constitutiva de Herschel-Bulkley modificada para descrever, além dos efeitos de viscoplasticidade, influência do campo de temperaturas sobre a viscosidade do material. O conjunto de equações diferenciais complexas que formam a modelagem mecânica é resolvido pelo método de volumes finitos. O método de volumes finitos tem como objetivo transformar as equações de balanço diferenciais que descrevem o contínuo em equações algébricas discretizadas aplicadas a pequenas partições chamadas de volumes finitos. Esta metodologia está bem estabelecida em softwares comerciais como o ANSYS FLUENT, levando a escolha deste como ferramenta de solução para o problema pesquisado. O problema proposto para estudo é o escoamento de fluidos viscoplásticos de Herschel-Bulkley modificado em torno de um cilindro confinado entre duas placas planas.

METODOLOGIA

A Figura 1 ilustra o domínio computacional do problema estudado, tem uma razão de aspecto, $\beta=h/R=4$, onde $h=4R$. O canal de entrada é igual a $20R$, distância suficiente para que o escoamento se desenvolva, e um canal de saída de $40R$ sendo o comprimento suficiente para poder observar a transferência de calor por convecção.

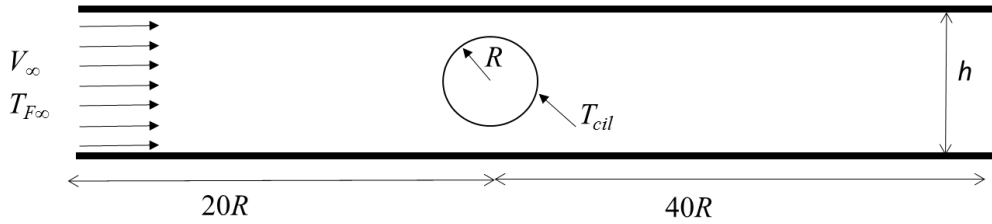


Figura 1. Descrição do problema

Como condições de contorno fluidodinâmicas considera-se velocidade prescrita na entrada do canal, condições de não deslizamento nas paredes do canal e em torno do cilindro e condições de fluxo livre na saída do canal. Para condições de contorno de energia foram aplicadas temperatura prescrita no fluido de entrada e em torno do cilindro, e paredes isoladas.

As variáveis adimensionais presentes no problema estudado são:

$$Re = \frac{\rho V_{\infty} D}{\mu}; P_r = \frac{\rho C_p}{k}; x^* = \frac{x}{R}; y^* = \frac{y}{R}; T^* = \frac{T - T_{F\infty}}{T_{cil} - T_{F\infty}} \quad (1)$$

onde k é a condutividade térmica, C_p é o calor específico a pressão constante, R é o raio, Re é o número adimensional de Reynolds e P_r é o número adimensional de Prandtl, T é a temperatura, $T_{F\infty}$ é a temperatura do fluido não perturbado pelo cilindro e T_{cil} é a temperatura na superfície do cilindro.

Equações governantes

Para escoamentos de fluidos viscoplásticos dependente da temperatura, a modelagem matemática empregada neste estudo constitui-se da equação de balanço de massa, a equação da conservação da quantidade de movimento linear para um fluido Newtoniano generalizado, e a equação de energia em termos da temperatura dadas respectivamente por:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} = \mathbf{f} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{u} T) = \nabla \cdot (\alpha \nabla T) + S \quad (4)$$

onde \mathbf{u} é o campo de velocidades, ρ é a massa específica, p é a pressão, $\boldsymbol{\tau}$ é o tensor de forças viscosas, \mathbf{f} é o tensor de forças de corpo, T é o campo de temperaturas, α é a difusividade térmica e S é a fonte de energia térmica.

A fim de prever o comportamento viscoplástico, foi empregado um modelo de Herschel-Bulkley modificado dependente da temperatura. O modelo original foi regularizado pelo método de Papanatasiou (1987).

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = k(T) \dot{\gamma}^{n-1} + \frac{\tau_0(T)}{\dot{\gamma}} [1 - \exp(-m\dot{\gamma})] \quad (5)$$

onde n é o índice de power-law, k é a consistência do material dependente da temperatura definida abaixo:

$$k(T) = k_0 e^{-b(T-T_{ref})} \quad (6)$$

Modelagem numérica

O método de volumes finitos tem como objetivo transformar as equações de balanço diferenciais da modelagem mecânica descrita pelas eq. (2)-(6) em equações algébricas discretizadas aplicadas a pequenas partições chamadas de volumes finitos. O domínio discretizado (malha), apresenta 11468 volumes quadriláteros não estruturados Fig. 2.

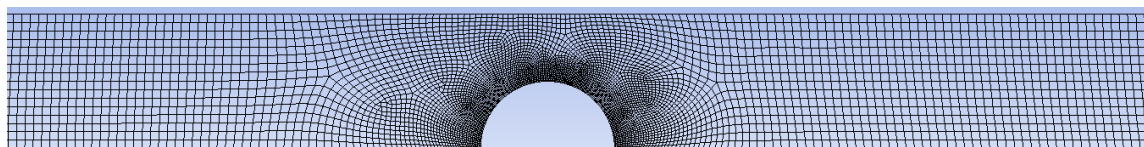


Figura 2. Domínio discretizado

Para a aproximação das velocidades nos termos advectivos utilizou-se o método upwind de segunda ordem.

O procedimento utilizado para o cálculo do campo de escoamento foi o SIMPLE (*semi-implicit method for pressure-linked equations*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as simulações foram feitas para um escoamento de um fluido não-Newtoniano de viscosidade adimensional, $\mu^*=1$, com $Re=1$, $Hb=10$ e $P_i=1$ em torno de um cilindro com temperatura adimensional $T_{cil}^*=1$ e com temperatura do fluido não perturbada pelo cilindro $T_{F\infty}^*=0$.

Abaixo é apresentado o campo de temperaturas para $b=0$, $b=1$, $b=5$ e $b=10$. Pode-se observar que há uma mudança pequena no campo de temperaturas com a variação da constante b Fig. (3 (a)-(d)), esse resultado é esperado devido ao número de Reynolds baixo, o que representa uma transferência de calor predominantemente por difusão.

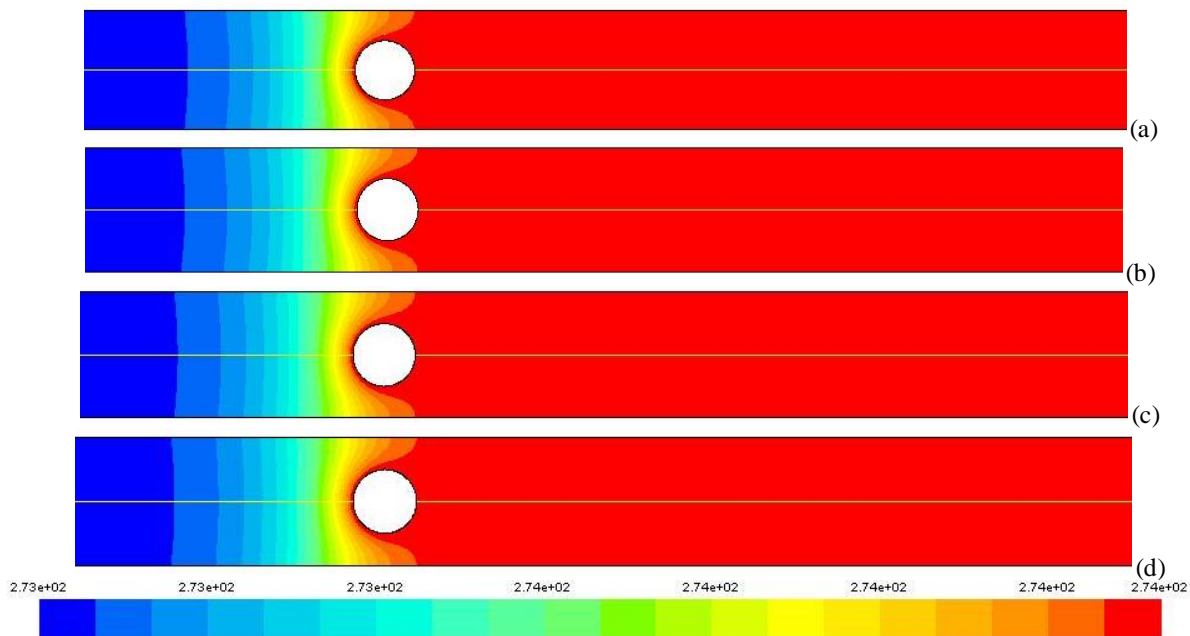


Figura 3. Campo de temperaturas para: (a) $b=0$; (b) $b=1$; (c) $b=5$ e (d) $b=10$

Na Figura 4 podemos observar, o campo de viscosidade para $b=0$, $b=1$, $b=5$ e $b=10$. Com o aumento do coeficiente b , pode-se observar uma grande variação no campo de viscosidades a montante do cilindro e uma variação suave a jusante do cilindro. Esse comportamento acontece devido a viscosidade ser afetada diretamente pelo campo de temperaturas, onde se observa um maior gradiente de temperaturas, uma maior variação da viscosidade é apresentada.

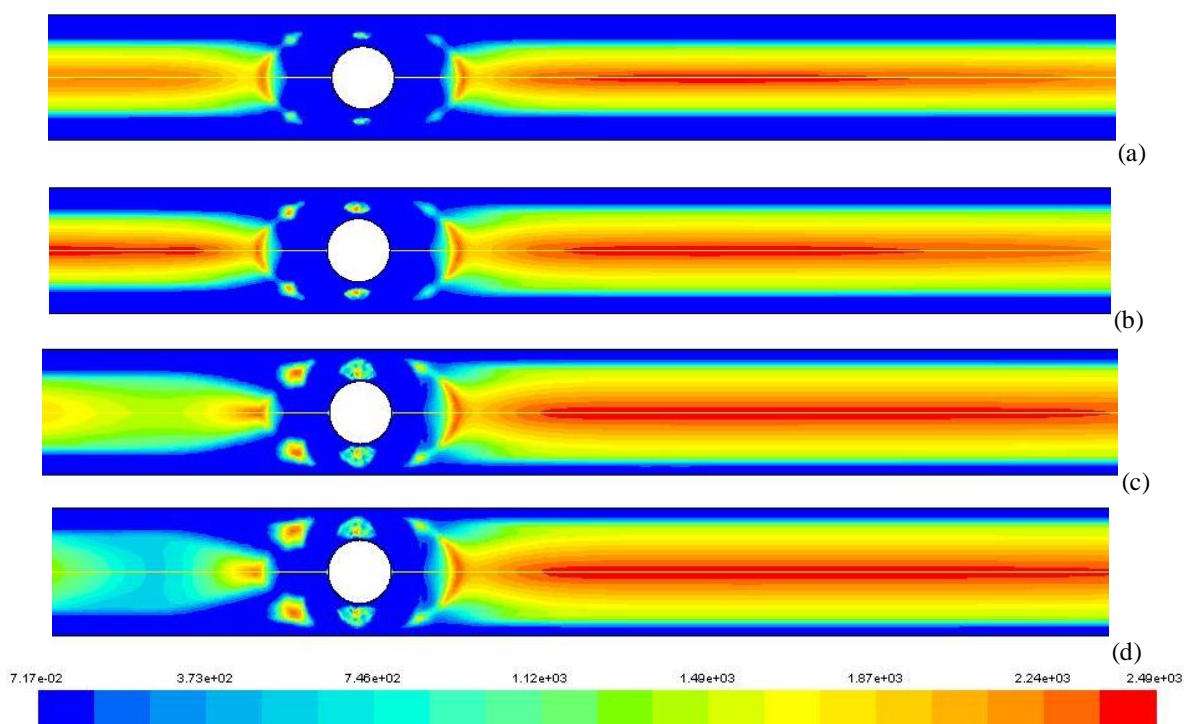


Figura 4. Campo de viscosidade para: (a) $b=0$; (b) $b=1$; (c) $b=5$ e (d) $b=10$

A seguir são apresentados os resultados preliminares para as regiões *yielded/unyielded* (zonas que escoam/não escoam).

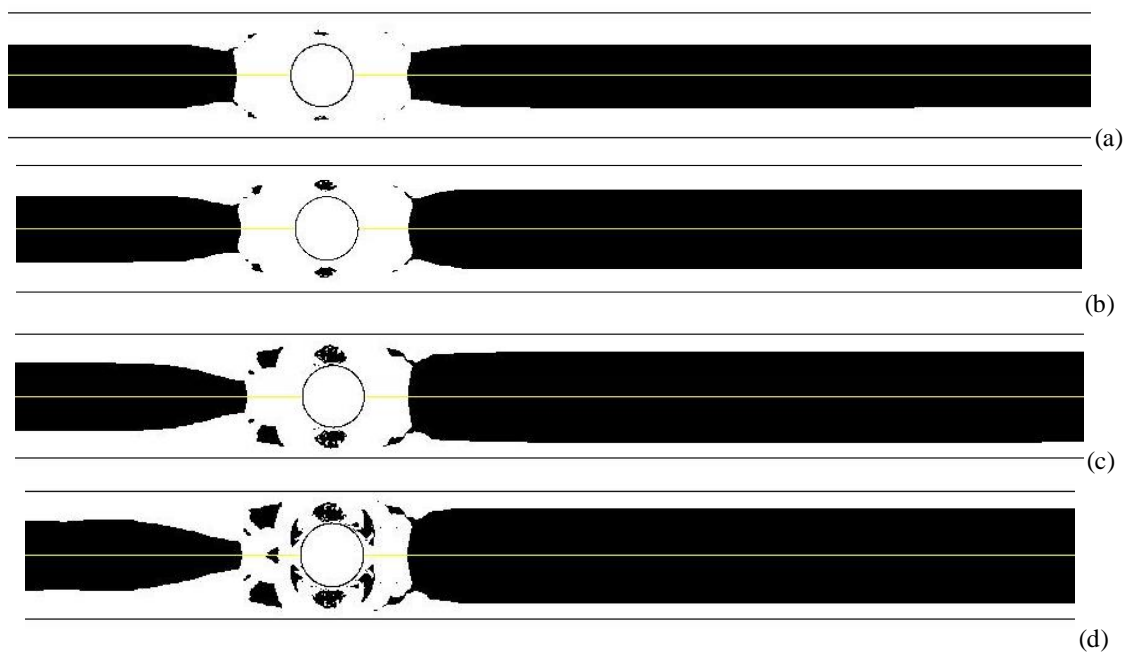


Figura 5. *yielded/unyielded* zones para: (a) $b=0$; (b) $b=1$; (c) $b=5$ e (d) $b=10$

Aonde ocorre maiores gradientes de temperaturas é onde existe maior mudanças nas zonas plastificadas (*unyielded zones*). Pode ser observado a montante do cilindro para todas as variações do coeficiente b . Percebe-se também que para materiais com maiores influencias da temperatura fig. (5 (c)-(d)) existem maiores mudanças em relação as zonas plastificadas.



XXIV CREEM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal
do Rio Grande**



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

CONCLUSÃO

O modelo mecânico empregado para descrever o comportamento de fluidos viscoplásticos de Herschel-Bulkley modificado pode prever a influência do campo de temperaturas e campo de taxas de deformação sobre a viscosidade aparente, assim como os efeitos de inércia sobre a transferência de calor. Podemos analisar que onde existem maiores variações no campo de temperaturas, existe uma maior alteração no campo de viscosidades, podemos verificar também que há influência sobre as *yielded/unyielded zones*.

REFERÊNCIAS

- Chaabra R. P., and Richardson J. F., 2008. “Non-Newtonian Flow and Applied Rheology”, Elsevier.
- Naimi M., Devenne R., Lebochem, 1990. “Étude Dynamique et Thermique de l'écoulement de Couett”. Deat Mass Transfer.
- Papanastasiou T. C., 1987. “Flows of Materials With Yield”, Journal of Rheology.
- Patankar S. V., 1980. “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow”. Deat Mass Transfer.
- Ansys inc. “Fluent 17.1 User guide”.
- Fox R. W., McDonald A. T., Pritchard P. J., 2006. “Introdução à Mecânica dos Fluidos”. LTC.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.