

ESCOAMENTO DE FLUIDO VISCOELÁSTICO EM UMA GEOMETRIA COM CONTRAÇÃO

Aluno: Leonardo Eckhardt Machado

Orientador: Mônica Feijó Naccache

Introdução

- **Motivação**

Neste trabalho é analisado o escoamento de um fluido viscoelástico numa contração abrupta axissimétrica. Essa geometria é muito utilizada em processos de extrusão. Aqui, o estudo é feito em uma geometria de razão de diâmetros 4:1 que é muito analisada no meio científico. Existem diversos trabalhos publicados de diferentes fluidos escoando nessa geometria. Os fluidos viscoelásticos são materiais complexos. Eles possuem características elásticas e viscosas, o que torna as equações que descrevem seu comportamento muito complicadas.

- **Objetivos**

O objetivo deste trabalho foi analisar numericamente o escoamento de um fluido viscoelástico numa contração abrupta axissimétrica com razão de diâmetros 4:1, observando a influencia dos parametros da viscosidade. Para isso, serão resolvidas as equações de conservação de massa e quantidade de movimento linear.

- **Literatura**

Diversos trabalhos na literatura analisaram o problema do escoamento de materiais viscoelásticos em contrações abruptas planares e axi-simétricas. Esta geometria é bastante interessante pois, embora seja uma geometria simples, a cinemática do escoamento é bastante complexa, com regiões de escoamento puramente de cisalhamento, regiões de escoamento extensional e regiões com cisalhamento e extensão. Muitos trabalhos observaram experimentalmente a mudança no tamanho dos vórtices que surgem no canto da contração (Boger et al., 1986; Evans e Walters, 1986; Nigen e Walters, 2002). Outros trabalhos resolveram o problema numericamente, utilizando diferentes equações constitutivas para modelar o comportamento viscoelástico do material (Crochet e Pilate, 1976; Debbaut e Crochet, 1986, Yeh et al., 1984; Oliveira e Pinho, 1999; Alves et al., 2003).

Modelagem Matemática

A geometria analisada neste trabalho está mostrada na Figura 1. O fluido entra na esquerda por um tubo de diâmetro D e comprimento L , e passa por uma contração abrupta, e sai por um outro tubo de diâmetro d e comprimento l . A geometria e a geração da malha

computacional foram desenvolvidas no software comercial “GAMBIT”. O escoamento é bi-dimensional, laminar e em regime permanente. A superfície inferior é o eixo axial de simetria.

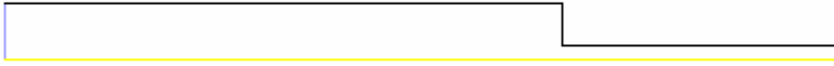


Figura 1: Geometria analisada.

Para calcular os campos de velocidade e pressão, foram resolvidas as equações de conservação de massa e de momento para fluido incompressível e regime permanente. A equação de conservação de massa é dada por:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} = 0$$

onde x é a coordenada axial, r a coordenada radial, u e v são os componentes da velocidade na direção axial e radial respectivamente. A equação de conservação de momento é dada por:

$$\begin{aligned} ru \frac{\partial u}{\partial x} + rv \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mathbf{h} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mathbf{h} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \\ ru \frac{\partial v}{\partial x} + rv \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mathbf{h} \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mathbf{h} \frac{\partial v}{\partial r} \right) + rg \end{aligned}$$

onde \mathbf{r} é a densidade, p é a pressão e g é a gravidade.

O comportamento mecânico do fluido não newtoniano será modelado pela equação constitutiva de um fluido newtoniano generalizado $\mathbf{t} = \mathbf{h}(\mathbf{g})\mathbf{g}$. Nesta equação a função $\mathbf{h}(\mathbf{g})$ é obtida a partir de uma média entre as viscosidades cisalhante e extensional. Cabe ressaltar que para os materiais viscoelásticos a viscosidade extensional é bastante elevada e pode ter influências significativas em escoamentos com características extensionais, como o da contração.

A função viscosidade é dada por:

$$\mathbf{h}(\mathbf{g}, R) = \mathbf{h}_s(\mathbf{g})^R \times \mathbf{h}_u(\mathbf{g})^{(1-R)}$$

onde,

$$\mathbf{h}_s = K_s \times \mathbf{g}^{Ns}$$

$$\mathbf{h}_u = K_u \times (\mathbf{g} \cdot \mathbf{g})^{Nu}$$

E R é um parâmetro cinemático denominado classificador do tipo de escoamento. $R=0$ para escoamento extensional e $R=1$ para escoamento cisalhante.

Solução Numérica

As equações apresentadas até agora não possuem solução analítica. Para resolvê-las, elas foram discretizadas utilizando o método dos volumes finitos e assim foi calculado os campos de velocidade e pressão. Os resultados numéricos foram obtidos utilizando o software comercial “FLUENT”.

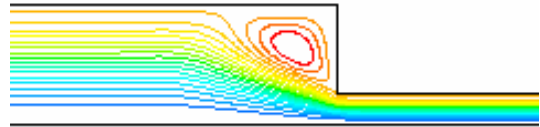
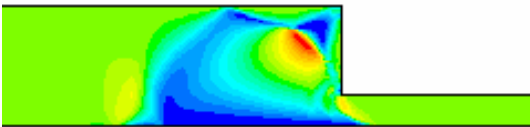
Foi utilizada uma malha com 210 divisões na direção axial e 96 divisões na direção radial. A malha foi mais refinada ao redor da região da contração, a região do interesse do estudo.

Devido a problemas de convergência, para se obter uma solução do escoamento de um fluido viscoelástico, primeiramente deve-se partir de uma solução de um escoamento de um fluido Newtoniano qualquer. Com a solução de fluido newtoniano, são utilizadas “UDFs” (User Defined Functions) que são compiladas no “FLUENT” para o cálculo do classificador R e da função viscosidade.

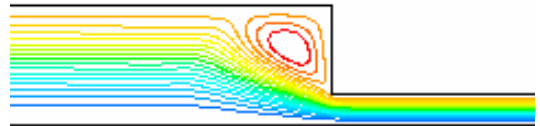
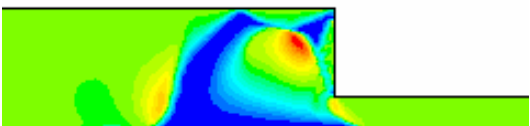
Resultados

A influencia dos parâmetros reológicos (N_s e N_u) no padrão de escoamento foi analisada. Para um valor de $N_s = 1,00$, foi variado o valor de N_u de 1,75 até 2,00. Depois fixando o valor de $N_u = 2,00$, foi variado o valor de N_s de 1,00 para 0,9.

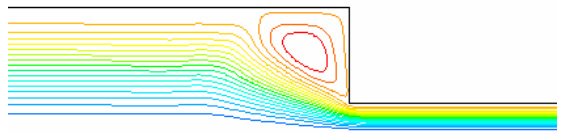
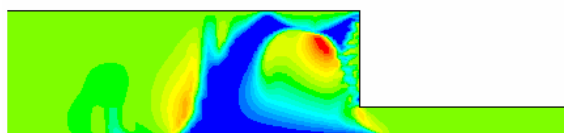
$$N_s = 1,00 / N_u = 1,75:$$



$$N_s = 1,00 / N_u = 2,00:$$

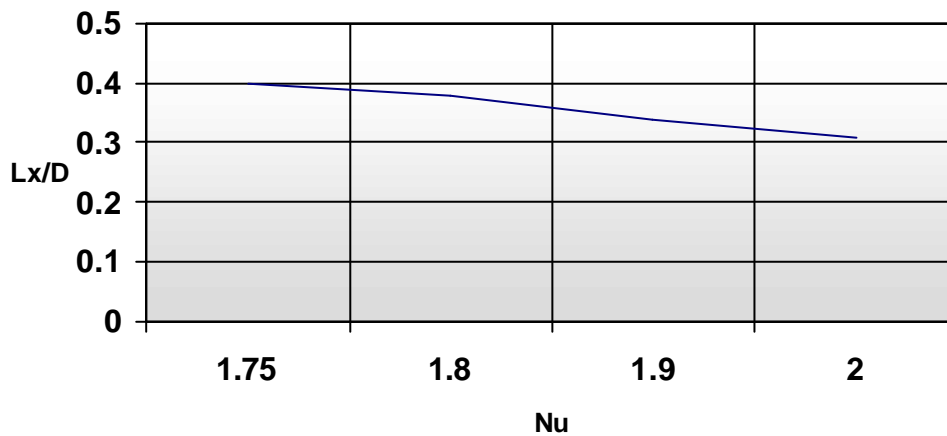


$$N_s = 0,90 / N_u = 2,00:$$

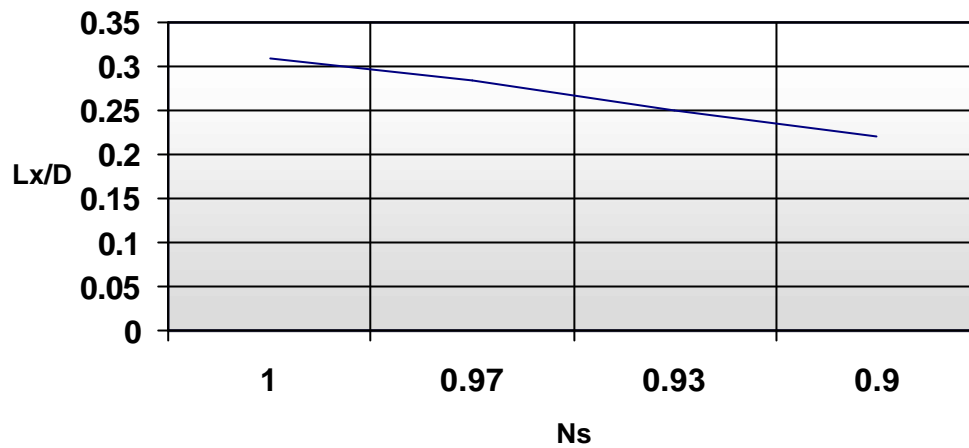


O campo do parâmetro R permite avaliar o tipo de escoamento em cada região. Nota-se que nas regiões longe da contração, $R=1$ (cor verde). Um pouco antes da contração pode-se observar regiões puramente extensionais, onde $R=0$ (cor azul), e regiões onde $0 < R < 1$ (tonalidades azuis e verdes mais claros). Na região de recirculação, onde ocorre uma rotação de corpo rígido, $R > 1$. Observa-se que fixando o valor de $N_s = 1,00$, ao aumentar o valor de N_u , o tamanho da recirculação (medido longitudinalmente) diminuiu, o que indica que o aumento da viscosidade extensional tende a reduzir a recirculação. Fixando o valor de $N_u = 2,00$, e diminuindo o valor de N_s , o tamanho da recirculação também diminuiu. Foi feita uma adimensionalização dividindo a medida da recirculação (L_x) pelo diâmetro (D) do tubo onde ela está situada. Para uma melhor análise segue dois gráficos dessas medidas um em função do parâmetro " N_u " e outro em função do parâmetro " N_s ".

L_x/D X N_u



Lx/D X Ns



Conclusões

Neste trabalho foi feita uma simulação numérica do escoamento de um fluido viscoelástico numa contração abrupta 4:1, utilizando o programa comercial Fluent, de volumes finitos. A simulação do escoamento desse modelo de fluido no “FLUENT” é de difícil convergência. Nesse trabalho foi obtida a influencia dos parâmetros reológicos (N_s e N_u) no padrão do escoamento e no tamanho da recirculação, e observou-se que a recirculação diminui com o aumento de ambos os parâmetros.

Referências

- 1 - Sousa Mendes, P. R.; Padmanabhau, M.; Macosko, C.W. Inelastic Constitutive Equations for Complex Flows, v.34, p 209 – 214, 1995.
- 2 – Bird, R.; Armstrong, R.; Hassager, O.; John Willy & Sons. Dynamics of Polymeric Liquids, v.1, 1987.
- 3 - Boger, D.V., Hur, D.U.; Binnington, R.J., Further observations of elastic effects in tubular entry flows, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol. 20, pp. 31-49, 1986.
- 4 - Crochet, M. J.; Pilate, G., Plane flow of a fluid of second grade through a contraction, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol. 1, pp. 247-258, 1976.
- 5 - Debbaut, B.; Crochet, M. J., Further results on the flow of a viscoelastic fluid through an abrupt contraction, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol. 20, pp. 173-185, 1986.
- 6 - Evans, R.E.; Walters, K., Flow characteristics associated with abrupt changes in geometry in the case of highly elastic liquids, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol. 20, pp 11-29, 1986.
- 7 – Fluent user's Guide, 2006.
- 8 - Nigen, S.; Walters, K., Viscoelastic contraction flows: comparison of axisymmetric and planar configurations, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol. 102, pp. 343-359, 2002.
- 9- Oliveira, P. J. e Pinho, F. T.. Plane contraction flows of upper convected Maxwell and Phan-Thien-Tanner fluids as predicted by a finite-volume method, *J. Non-Newt. F. Mech.*, v. 88, p. 63-88, 1999.
- 10 – Alves, M. A., Oliveira, P. J. e Pinho, F. T . Benchmark solutions for the flow of Oldroyd-B and PTT fluids in planar contractions, *J. Non-Newt. F. Mech.*, v. 110, p. 45-75, 2003.
- 11 -Yeh, P. W.; Kim-E, M. E.; Armstrong, R .C.; Brown, R. A., Multiple solutions in the calculation of axisymmetric contraction flow of an upper convected maxwell fluid, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol. 16, pp. 173-194, 1984.