
Extensão de GENSMAC para escoamentos de
fluidos governados pelos modelos integrais
Maxwell e K-BKZ

Manoel Silvino Batalha de Araújo

Extensão de GENSMAC para escoamentos de fluidos governados pelos modelos integrais Maxwell e K-BKZ

Manoel Silvino Batalha de Araújo

Orientador: *Prof. Dr. Murilo Francisco Tomé*

Tese apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências - Ciências de Computação e Matemática Computacional.

USP - São Carlos

Maio/2006

Aos meus pais
Ana Beth P. Batalha e
Manoel Raimundo L. de Araújo,
à minha esposa
Eliza
e ao meu filho
Guilherme.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que me ajudaram, ao longo da minha vida, para que eu chegasse até este momento. Primeiramente a Deus. Aos meus pais, Raimundo e Beth, que desde sempre nunca mediram esforços para que eu sempre continuasse a estudar, muitas vezes abdicando de coisas materiais e trabalhando dobrado na feira do Ver-O-Peso para adquirir livros e materiais escolares. Muito obrigado a vocês dois. Espero ter feito com que o esforço de vocês tenha valido a pena. Agradeço também aos meus irmãos Cleide, Rosana e Wallace pela compreensão e apoio que sempre me deram.

Obrigado a minha esposa Eliza, que sempre me apoiou, em todos os momentos, e nunca esteve ausente quanto precisei. Obrigado pela sua paciência e pelo seu amor. Esse doutorado também é seu.

Também não posso deixar de agradecer aos responsáveis pela minha formação. Meus mestres. Infelizmente não é possível citar todos aqui, mas gostaria de expressar minha gratidão a todos, desde minhas professoras e professores do primeiro grau, na escola “Externato Batista” e na escola “Madre Zarife Sales”, no bairro do Guamá, em Belém, até os professores que tive na Escola Técnica Federal do Pará e na Universidade Federal do Pará.

Obrigado também aos meus professores de pós-graduação do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo. Em especial ao professor Murilo Francisco Tomé, meu orientador e amigo, que me deu todas as condições para prosseguir na nossa área de pesquisa, e ao professor José Alberto Cuminato, o Poti, que me recebeu muito bem ao chegar no Instituto e que me acompanhou por dois anos do meu doutorado.

Agradeço também aos amigos que estiveram comigo nesses quatro anos. Obrigado ao Maurício, ao Zé Paulo, ao Marcelinho e aos demais amigos da “fase análise funcional”. Aos colegas do LCAD Andréa, Cássio, Dayene e Gilcilene, que também estiveram presentes

neste tempo e a todos o demais colegas e amigos que fiz ao longo desses quatro anos.

Finalmente agradeço à Universidade Federal do Pará, na qual sou professor do departamento de Matemática, por ter concedido meu afastamento para fazer meu doutoramento, e à CAPES pelo apoio financeiro.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método numérico para simular escoamentos incompressíveis, isotérmicos, confinados ou com superfícies livres, de fluidos viscoelásticos governados pelos modelos integrais de Maxwell e K-BKZ (Kaye-Bernstein, Kearsley e Zapas). A técnica numérica apresentada é uma extensão do método GENS-MAC (Tomé e McKee - *J. Comp. Phys.*, (110), pp 171–186, 1994) para a solução das equações de conservação, juntamente com as equações constitutivas integrais de Maxwell e K-BKZ. As equações governantes são resolvidas pelo método de diferenças finitas em uma malha deslocada. O tensor de Finger, $\mathbf{B}_t(t)$, é calculado com base nas idéias do método de campos de deformação (Peters et al. - *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* (89), pp 209–228, 2000), de maneira que não há a necessidade de seguir a trajetória da partícula de fluido para descrever a história de deformação da partícula. Uma abordagem diferente para a discretização do instante passado é utilizada e o tensor de Finger e o tensor das tensões são calculados utilizando um método de segunda ordem. A validação do método numérico descrito nesse trabalho foi feita utilizando o escoamento em um canal bidimensional e a solução numérica obtida para a velocidade e para as componentes de tensão com o modelo de Maxwell foram comparadas com as respectivas soluções analíticas no estado estacionário, mostrando excelente concordância. Os resultados numéricos para a simulação do escoamento em uma contração planar 4 : 1 mostraram bons resultados, tanto qualitativos quanto quantitativos, quando comparados com os resultados experimentais de Quinzani et al. (*J. Non-Newtonian Fluid Mech.* (52), pp 1–36, 1994). Além disso, utilizando o modelo de Maxwell e K-BKZ, o escoamento em uma contração planar 4 : 1 foi simulado para vários números de Weissenberg e os resultados obtidos estão de acordo os encontrados na literatura. Resultados numéricos de escoamentos com superfícies livres modelados pelas equações integrais de Maxwell e K-BKZ são apresentados. Em particular, a simulação numérica do jato oscilante para diferentes números de Weissenberg e diferentes números de Reynolds é apresentada.

Palavras chave: Escoamentos incompressíveis, modelo Maxwell, modelo K-BKZ, diferenças finitas, contração planar, superfície livre, reologia computacional

Abstract

The aim of this work is to develop a numerical technique for simulating incompressible, isothermal, free surface (also confined) viscoelastic flows of fluids governed by the integral models of Maxwell and K-BKZ (Kaye-Bernstein, Kearsley and Zapas). The numerical technique described herein is an extension of the GENSMAC method (Tome and McKee, J. Comput. Phys., **110**, pp. 171-186, 1994) to the solution of the momentum and mass conservation equations together with the integral constitutive Maxwell and K-BKZ equations. The governing equations are solved by the finite difference method on a staggered grid using a Marker-and-Cell approach. The fluid is represented by marker particles on the fluid surface only. This provides the visualization and location of the fluid free surface so that the free surface stress conditions can be applied. The Finger tensor $\mathbf{B}_t(t)$ is computed using the ideas of the *deformation fields* method (Peters et al. J. Non-Newtonian Fluid Mech., **89**, pp. 209-228, 2001) so that it is not necessary to track a fluid particle in order to calculate its deformation history. However, in this work modifications to the *deformation fields* method are introduced: the past time is discretized using a different formula, the Finger tensor $\mathbf{B}_t(\mathbf{x}, t)$ is obtained by a second order method and the stress tensor $\tau(\mathbf{x}, t)$ is computed by a second order quadrature formula. The numerical method presented in this work is validated by simulating the flow of a Maxwell fluid in a two-dimensional channel and the numerical solutions of the velocity and the stress components are compared with the respective analytic solutions providing a good agreement. Further, the flow through a 4:1 planar contraction of a specific fluid studied experimentally by Quinzani et al. (J. Non-Newtonian Fluid Mech., **52**, pp. 1-36, 1994) was simulated and the numerical results were compared qualitatively and quantitatively with the experimental results and very good agreement was obtained. The Maxwell and the K-BKZ models were applied to simulate the 4:1 planar contraction problem using various Weissenberg numbers and the numerical results were in agreement with those published in the literature. Finally, numerical results of free surface flows using the Maxwell and K-BKZ integral constitutive equations are presented. In particular, the numerical simulation of jet buckling using several Weissenberg numbers and various Reynolds numbers are presented.

Keywords: Incompressible flows, Maxwell model, K-BKZ model, finite difference, planar contraction, free surface, computational rheology.

Sumário

Introdução	1
1 Conceitos Gerais	5
1.1 Desenvolvimentos de GENSMAC	5
1.2 Alguns conceitos em reologia	8
1.3 Alguns modelos constitutivos integrais: Maxwell e K-BKZ	12
2 Solução Numérica dos modelos integrais de Maxwell e K-BKZ	15
2.1 O tensor de Finger	15
2.2 Forma original do método de campos de deformação	18
2.3 Cálculo do tensor das tensões $\boldsymbol{\tau}(t)$	22
2.3.1 Discretização do tempo passado t'	23
2.3.2 Convecção dos tensores de Finger	25
2.3.3 Cálculo das tensões	26
2.4 Validação do cálculo das tensões	28
3 Extensão de GENSMAC para modelos integrais de Maxwell e K-BKZ	35
3.1 Idéia Básica do método GENSMAC	35
3.2 Equações governantes	36
3.3 Condições de contorno	38
3.4 Cálculo do tensor de Finger nos contornos	39
3.4.1 Cálculo do tensor de Finger nos contornos rígidos	39
3.4.2 Cálculo do tensor de Finger nos injetores	39
3.4.3 Cálculo do tensor de Finger nos ejetores	40
3.5 Condições de superfície livre	40
3.6 Método de Solução	41

3.7	Aproximação pelo método de diferenças finitas	42
3.7.1	Aproximação do tensor de Finger	45
3.7.2	Aproximação do tensor de Finger nos contornos da malha	46
3.7.3	Aproximação dos termos convectivos	52
3.7.4	Aproximação das condições de tensão na superfície livre	53
3.7.5	Cálculo do passo de tempo	56
4	Resultados Numéricos	57
4.1	Validação do Método Numérico	57
4.1.1	Modelo Maxwell	58
4.1.2	Modelo K-BKZ	60
4.1.3	Comparação com resultados experimentais	62
4.2	Simulação Numérica do Escoamento em uma Contração Planar 4:1	74
4.2.1	Modelo Maxwell	80
4.2.2	Modelo K-BKZ	82
4.3	Simulação Numérica de Escoamentos com Superfícies Livres	88
4.3.1	Simulação numérica do jato oscilante	89
4.3.2	Efeito da viscoelasticidade	91
4.3.3	Simulação do jato oscilante - modelo K-BKZ	93
	Conclusão	101

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

