

## Estudo Numérico do problema de contração abrupta utilizando malhas bloco-estruturadas.

### Numerical study of the abrupt contraction problem using block-structured meshes

**João Pedro Costa Eliziário**  
[joaopedro\\_bmth@hotmail.com](mailto:joaopedro_bmth@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

**Andrevidy Ivo Honório**  
[andrevidy@hotmail.com](mailto:andrevidy@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

**Marcos Antônio de Souza Lourenço**  
[maslourenco@gmail.com](mailto:maslourenco@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

**Fábio Kenji Sugimoto**  
[fsuquimoto@utfpr.edu.br](mailto:fsuquimoto@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

#### RESUMO

No presente trabalho é simulado um problema de escoamento de fluido em uma contração abrupta, que é muito comum na geometria de brocas de perfuração de poços de petróleo. O fluido simulado é newtoniano e incompressível e foi feita a simulação de duas geometrias diferentes, um quarto de um tubo e uma fatia dessa geometria. Dessa forma, é utilizada a metodologia dos volumes finitos para resolver as equações na forma de equações algébricas. O software utilizado para a realização do trabalho foi o *OpenFOAM*, que é vantajoso por ser um software livre e código aberto. Por fim, são apresentados resultados através de imagem em escala de cores e também da comparação das curvas de velocidade para as duas malhas, e é avaliado a viabilidade da ferramenta *Wedge* do software *OpenFOAM*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Contração Abrupta. *Wedge*. Fluido Newtoniano.

#### ABSTRACT

In the present study is simulated a flow of a fluid in an abrupt contraction, which is very common in the geometry of drill bits for oil wells. The simulated fluid is newtonian and incompressible and it was made the simulation of two different geometries, a quarter for a tube and a slice of that geometry. Thus, is used the finite volumes methodology for solve the differential equations in the form of algebraic equations. The software used in this study was the *OpenFOAM*, your advantage is that is a free and open code software. Finally, are presented results through of color scale images and velocity curve comparisons for two meshes, and the viability of the tool *Wedge* of the software *OpenFOAM* is evaluated.

**KEYWORDS:** Abrupt Contraction. *Wedge*, Newtonian Fluid.

**Recebido:** 04 ago 2018.

**Aprovado:** 04 out 2018

#### Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Escoamentos em contração abrupta são vistos nos mais diversos campos da indústria e devido a sua ampla aplicação o estudo de tais escoamentos é de interesse acadêmico e industrial. Neste contexto, pesquisas voltadas a este tipo de escoamento estão concentradas principalmente nas indústrias química, alimentícia e petrolífera e alguns exemplos de escoamento em contração abrupta são as injeções de plásticos, extrusão de substâncias de forma geral e a perfuração de poços de petróleo.

Dentre as aplicações citadas, é de interesse da indústria petrolífera estudar o comportamento de fluídos de perfuração de poços de petróleo, comumente chamados de lamas de perfuração. Atualmente na indústria petrolífera a lama de perfuração é o que torna viável uma operação de perfuração. De acordo com Coradin (2007,p.2) “o escoamento através de uma contração apresenta grande complexidade hidrodinâmica e não possui solução analítica, dessa forma são necessários métodos numéricos para caracterizar o escoamento”.

“Para a solução numérica das equações que governam o escoamento de fluídos é necessário uma ferramenta CFD (Computational Fluids Dynamics), e um parâmetro para uma boa solução é a qualidade da malha computacional que defina em todo o domínio computacional as células nas quais as variáveis de escoamento, (velocidade, pressão, etc) são calculadas ( ” .

O objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade de uma ferramenta do software *OpenFOAM* para o caso de escoamento axissimétrico de fluídos.

## METODOLOGIA

As equações que regem qualquer problema de escoamento de um fluído newtoniano e incompressível são as equações de conservação da massa e da quantidade de movimento conforme mostradas nas Equações 1 e 2, respectivamente, onde  $\rho$  é a massa específica,  $U$  é o vetor velocidade,  $p$  é a pressão e  $\mu$  é o tensor das tensões.

$$\nabla \cdot (U) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U U) - \mu \nabla^2 U = -\nabla p \quad (2)$$

Assim sendo, a discretização do domínio é feita através da resolução das equações em todo o domínio computacional. A Eq 3 representa as equações de campo para uma variável genérica  $\phi$ . Sendo o primeiro termo relativo à derivada temporal, o segundo aos termos convectivos, o terceiro à difusão e o quarto representa o termo fonte.

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V \phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S \phi \quad (3)$$

A metodologia empregada neste trabalho é a dos volumes finitos. Este método consiste em resolver equações diferenciais na forma de equações algébricas,

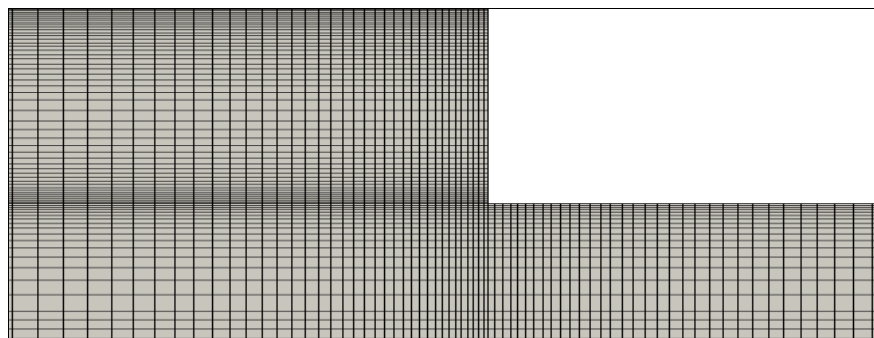
dividindo o domínio computacional em vários pequenos subdomínios que no caso tridimensional são chamados de volumes.

O software *OpenFOAM* permite ao usuário escolher o método de interpolação que será usado para a resolução das equações em cada volume, assim sendo, no caso do presente trabalho foi escolhido o método chamado de Gauss Linear ou diferenças centrais. Lemos (2011) afirma que “este método aproxima a variável localizada na interface do volume de controle pela média ponderada da propriedade localizada no centro dos volumes vizinhos, resultando em uma aproximação de segunda ordem”. Na malha 3D o método adotado foi o Upwind. “Este método serve para evitar o aparecimento de coeficientes negativos e o termo difusivo continua sendo aproximado por diferenças centrais” (Maliska,2004,p.83)

“O esquema Upwind se relaciona diretamente com o termo parabólico de forma que o valor da função na interface é o mesmo valor da função no volume a montante, e este volume muda de acordo com o sentido da velocidade” (Maliska,2004,p.83) .

Foram simuladas duas malhas, a malha 3D e o wedge que é uma ferramenta do *OpenFOAM* que permite simular apenas uma fatia do problema , reduzindo o domínio computacional e o tempo de simulação consideravelmente. Simulou-se apenas  $\frac{1}{4}$  da geometria da malha , devido a simetria desta em relação a linha de centro. A geometria 3D foi construída com diâmetro de entrada de 23,9 mm, razão de contração de 1.97, dividida em 7 blocos, com o comprimento de entrada de uma vez e meia o diâmetro de entrada e o comprimento de saída de 30 vezes o diâmetro de entrada. Para o wedge adotou-se as mesmas medidas, porém a divisão foi feita em 3 blocos com apenas uma célula na direção da linha de centro. Dessa forma, para fazer o Wedge da malha é necessário especificar um ângulo de abertura que no presente trabalho foi de  $5^\circ$ . O refinamento das malhas das duas geometrias foi maior próximo à parede do tubo e a contração conforme mostrado na Figura 2, devido a maiores gradientes de velocidade nessas regiões e a solução necessitar ser mais precisa.

Figura 1 – Malha com refinamento próximo a contração e a parede



Fonte:Autoria Própria(2018).

## RESULTADOS

A Tabela 1 mostra a quantidade de células em cada malha do Wedge para se atingir a independência de malha, que consiste em aumentar a quantidade de células nas direções y e z no caso do Wedge, e a solução não modificar de forma apreciável. Após a simulação M2 e M3 apresentaram praticamente a mesma curva de velocidade, sendo assim optou-se por utilizar M3 por possuir menos células e o tempo de simulação ser menor.

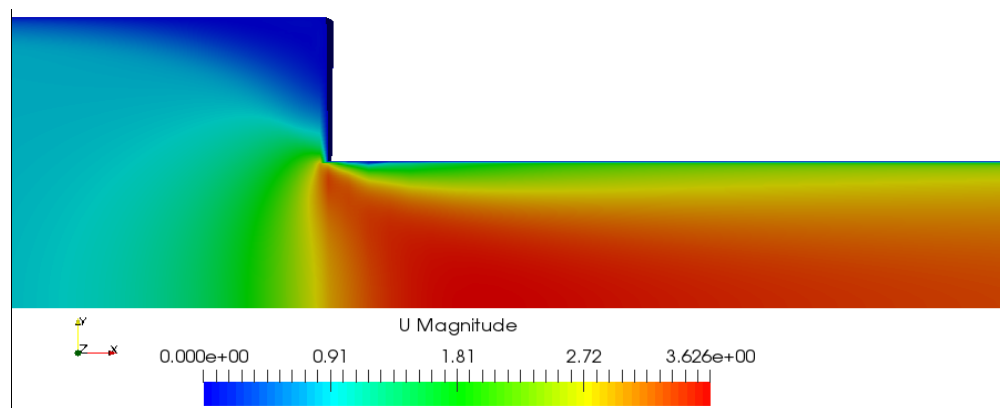
Tabela 1 – Quantidade de células em cada direção

Malha	Células em x	Células em y	Células em z
M1	1	4	24
M2	1	16	96
M3	1	32	192
M4	1	64	384

Fonte: Autoria Própria (2018).

O resultado qualitativo do trabalho é mostrado na Figura 2, é possível ver pela escala de cores que a velocidade do fluido aumenta a medida que se aproxima da região de contração, isso deve ocorrer para satisfazer a lei da conservação de massa descrita na Eq. 1, e a velocidade é zero na parede do tubo devido a condição de não deslizamento.

Figura 2 – Magnitude da velocidade

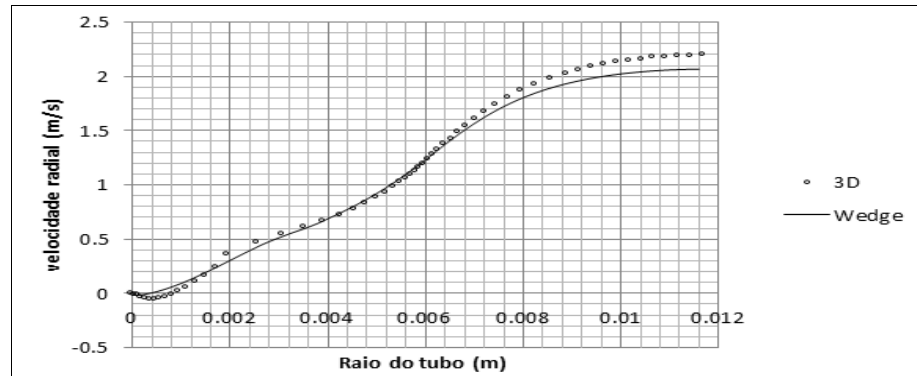


Fonte: Autoria Própria (2018).

Os resultados quantitativos se encontram nas Figuras abaixo. Na Figura 3, a reta vertical selecionada para obter as curvas está a 2,17 mm antes da contração, observa-se que a malha 3D aproximou-se do comportamento da curva do wedge e também é possível observar que ambas as velocidades iniciam em zero devido a condição de não deslizamento na parede. Entretanto, algumas diferenças entre o wedge e a malha 3D foram encontradas, na linha de centro, o erro da velocidade máxima da malha 3D em relação ao Wedge é de aproximadamente 4,6 %, e essa diferença pode ser devido as curvaturas (direção azimutal) da malha

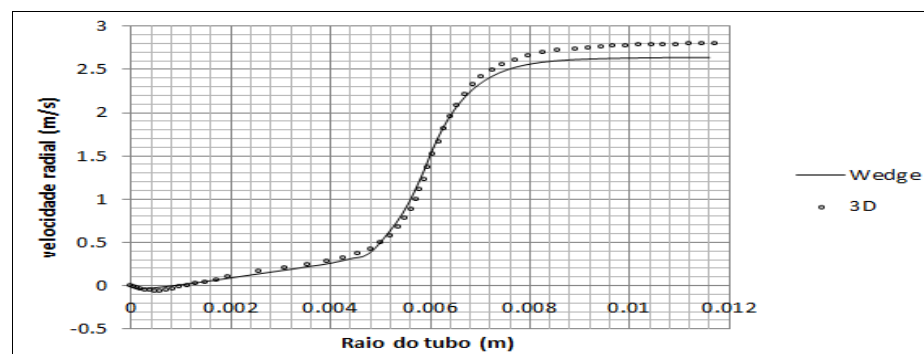
3D em relação ao wedge . Para a curva da Figura 4, a reta vertical foi selecionada a 0,6 mm antes da contração e pode-se ver que as curvas também se aproximaram, e apenas nas proximidades da linha de centro de distanciaram um pouco, sendo o erro da velocidade máxima de aproximadamente 6%.

Figura 3 - Curvas de velocidade em função do raio para 2,17 mm antes da contração



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 4 – Curvas de velocidade em função do raio para 0,6 mm antes da contração



Fonte: Autoria Própria (2018).

## CONCLUSÃO

Conclui-se que o wedge é uma ótima ferramenta para simplificar a simulação de casos axissimétricos em mecânica dos fluídos, o wedge simplifica muito a forma de construção da malha e demanda muito menos tempo para simular, já a malha 3D além de apresentar uma quantidade de células na direção Z e sua construção ser mais complexa, possui as curvaturas do tubo que podem vir a ser fonte de erros na simulação dependendo de como a correção desta é feita.

O tempo de simulação do Wedge para um número de Reynolds de 17800 foi de 1154 segundos e o tempo da malha 3D foi de 20859 segundos, ou seja, o wedge apresentou um erro pequeno e o tempo de simulação foi consideravelmente menor, o que mostra ser uma boa alternativa para redução de tempo e conseqüentemente de custo neste tipo de simulação CFD. Fica como sugestão para trabalhos futuros analisar o escoamento de outros tipos de fluídos que não seja o newtoniano e analisar a viabilidade do wedge nesses casos em regiões depois da contração.



## REFERÊNCIAS

CORADIN H. T.;BRONDANI W. M.;MATTIUSI E. M.;FRANCO T.A.;MORALES R. E. M.;MARTINS A. L. Simulação Numérica do escoamento de um fluido de perfuração viscoelástico através de uma contração abrupta.São Paulo,Campinas,2007. Disponível em<  
<https://www.researchgate.net/publication/265916574>>. Acesso em: 20 Abr.2018.

LEMOS, E.M. Implementação de um método de volumes finitos de ordem superior com tratamento multibloco aplicado a simulação de Escoamentos de Fluidos Viscoelásticos. 2011 .289f. Tese (Doutorado em engenharia mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro,Rio de Janeiro,2011. Disponível em<  
[http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_d/EduardoMoreiraLemos.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/EduardoMoreiraLemos.pdf)> acesso em 19 Jun. 2018.

MALISKA,C. R. Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional.2ed Rio de Janeiro: LTC,2004.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores e a todo suporte da UTFPR por possibilitarem a realização desse trabalho.