

CÁLCULO DO ESCOAMENTO EM UM DISPOSITIVO GERADOR DE JATOS DE ÁGUA A ALTA PRESSÃO

Marcelo Trindade de Sousa

Universidade de Brasília, Depto. Eng. Mecânica, LTMD, 70910-900, Brasília, DF, Brasil.

E-mail: mtsousa@diablo.ltmd-enm.unb.br

Virginie Daru

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, SINUMEF, Paris, França

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo numérico do escoamento em um dispositivo gerador de jatos de água a alta pressão utilizados como ferramenta de decapagem ou de corte em domínios de aplicação variados. O jato é tratado numericamente através de um software comercial (FLUENT) onde o escoamento é simulado em regime laminar e turbulento. Os resultados obtidos mostram que, em regime turbulento, a influência do modelo de turbulência é preponderante. Em regime laminar, o escoamento é não estacionário devido à instabilidade da zona de recirculação muito desenvolvida que se forma na parte cilíndrica terminal do dispositivo gerador.

Palavras-chave: Jato de água, Alta pressão

1. INTRODUÇÃO

O princípio físico das ferramentas a jato fluido baseiam-se na utilização da pressão e do fluxo de massa como vetores de energia. Na tecnologia do jato fluido a alta pressão, os níveis de pressão envolvidos são largamente superiores a todos os sistemas encontrados na hidráulica clássica. Não é raro, na verdade, utilizar fluidos sob pressões de 400MPa, ou seja, 4000bar.

Nesta tecnologia, a potência veiculada pelo sistema é conduzida através de um jato de pequeno diâmetro. A interação entre o jato assim formado e qualquer material colocado em sua frente produz uma tensão extremamente elevada sobre o material. Essa tensão pode ser utilizada de maneira muito eficaz nas operações de corte, de decapagem e de tratamento superficial.

O dispositivo gerador do jato tem o papel de conversor de energia. Ele transforma a energia de pressão do fluido em energia cinética. O dispositivo é formado por um corpo sobre o qual é fixado o orifício de formação do jato. Este último, frequentemente construído em aço, canaliza o fluido e produz um escoamento a altíssima velocidade (figura 1).

Como citado no documento informativo da ENSAM (1999), a utilização do jato d'água como ferramenta de corte de precisão é ainda pouco difundida, mas é extremamente promissora. O jato d'água puro ou com adição de abrasivos permite a usinagem de praticamente todos os tipos de materiais de forma rápida, e não produz qualquer tipo de resíduo nocivo. Um dos problemas da utilização do jato de água a alta pressão para esta finalidade reside na pouca precisão alcançada se comparado a outros processos de usinagem.

Uma maior precisão de corte só pode ser alcançada a partir da determinação das características do jato desde sua formação até o momento do impacto e ainda a interação com

o material. Através de uma breve consulta à bibliografia disponível observa-se a falta de estudos teóricos sobre o assunto, sendo a quase totalidade dos estudos baseados em observações prático-experimentais.

O objetivo desse estudo é conhecer a forma geral de um jato produzido, e o perfil de velocidades do mesmo na saída do dispositivo gerador.

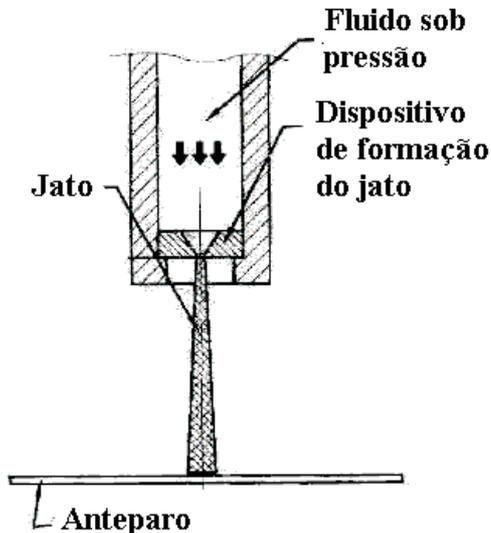


Figura 1 – Formação do Jato

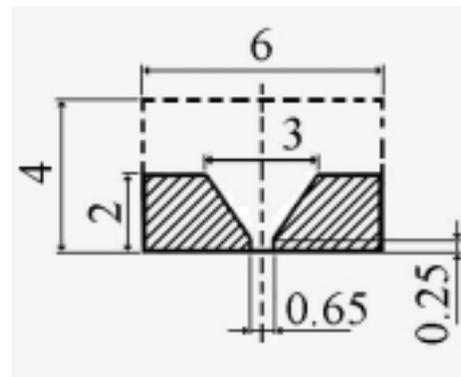


Figura 2 – Geometria do dispositivo [mm].

Pode-se observar a geometria do dispositivo gerador do jato a partir da figura 2 onde é possível observar as dimensões envolvidas, tal como o diâmetro de 0,65mm do cana terminal. Para melhor simular o escoamento, considera-se uma extensão do domínio de cálculo a montante do dispositivo. Devido a simetria axial da geometria, calculou-se somente a metade do domínio físico.

2. ABORDAGEM NUMÉRICA

Simulou-se numericamente o escoamento em regime turbulento e laminar. No caso turbulento, utilizou-se os modelos k-ε RNG e de Spalart-Allmaras (1992).

Em regime turbulento e empregando-se o modelo k-ε RNG, utilizou-se o modelo de duas camadas como tratamento da vizinhança da parede. Como pode ser visto em Piquet (1983), nesse caso, as funções de parede são completamente abandonadas em favor da integração direta até a parede, de toda região afetada pela viscosidade, inclusive a subcamada viscosa. Esse modelo subdivide o domínio de cálculo em uma região afetada pela viscosidade e uma região de turbulência completamente desenvolvida. Conforme os manuais do usuário (1998), a demarcação dessas duas regiões é determinada pelo número de Reynolds turbulento,

$Re_y \equiv \frac{\rho \sqrt{k} y}{\mu}$, baseado em uma distância 'y' normal à parede. Na região de turbulência

completamente desenvolvida ($Re_y > 200$), o modelo k-ε é empregado. Na região próxima à parede, afetada pela viscosidade ($Re_y < 200$), o modelo de uma equação de Wolfstein é empregado. Optou-se pela integração direta até a parede levando-se em conta os elevados gradientes de pressão existentes.

Os dois casos utilizados, axissimétrico ou bidimensional plano, serão considerados.

Considerou-se o escoamento em regime permanente, e a água como um fluido incompressível.

2.1 Malhas Empregadas

Para melhor compreender a influência da geometria sobre os resultados, utilizou-se duas malhas diferentes.

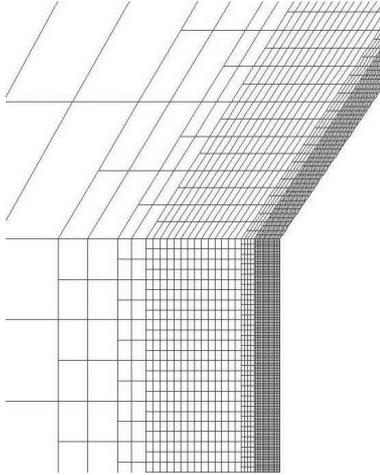


Figura 3 – Malha multiblocos em detalhe.

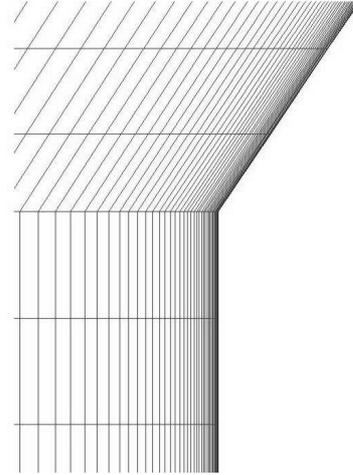


Figura 4 – Malha estruturada em detalhe.

A primeira é uma malha estruturada em múltiplos blocos, refinada próxima à parede do dispositivo em diversos subdomínios ou blocos de malha. Essa malha contém 33935 células. Observa-se a interface entre cada bloco de malha com volumes não coincidentes (figura 3).

A Segunda é uma malha estruturada em todo o domínio como nos mostra a figura 4. Essa malha contém 9850 células. Nesse caso, nos vimos obrigados a refinar também a malha no canal a montante do dispositivo gerador do jato.

Os dois casos serão chamados, respectivamente, de malha multiblocos e malha estruturada.

2.2 Condições de Contorno

Para fixar a condição de contorno na fronteira de entrada do domínio, utilizou-se uma condição de pressão definida, com pressões de 1800 a 2800bar. Na fronteira de saída, utilizou-se também uma condição de pressão definida sendo a mesma igual à pressão atmosférica.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tubulação de entrada da água é suficientemente longa para que se possa considerar um escoamento turbulento completamente desenvolvido na entrada do dispositivo.

Como uma aproximação inicial, considera-se a intensidade de turbulência (I) do escoamento entrando no dispositivo igual a 3,3%. Esse valor é obtido com auxílio de uma formulação empírica empregada para escoamentos turbulentos completamente desenvolvidos apresentada no manual do usuário Fluent (1998).

Avalia-se a qualidade da malha próxima à parede por intermédio do número de Reynolds turbulento Re_y . Com o modelo de duas camadas, a região afetada pela viscosidade ($Re_y < 200$) deve conter ao menos 10 volumes.

O modelo de Spalart-Allmaras foi desenvolvido para ser utilizado com malhas que resolvam de maneira “precisa” a região afetada pela viscosidade. Por consequência, a malha próxima à parede deve ser similar àquela utilizada para o modelo de duas camadas.

A malha estruturada contém muito mais células na região afetada pela viscosidade em relação à malha multiblocos (figuras 5 e 6), mas pode-se dizer que as duas malhas empregadas são suficientes.

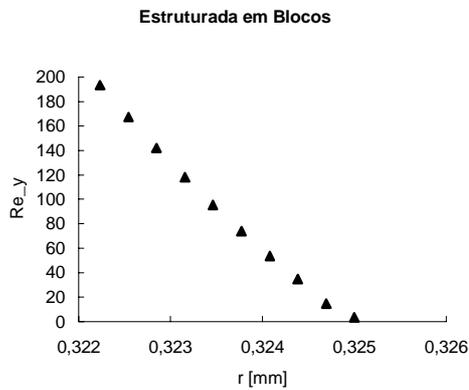


Figura 5 – Distribuição de volumes na região afetada pela viscosidade utilizando-se a malha multiblocos.

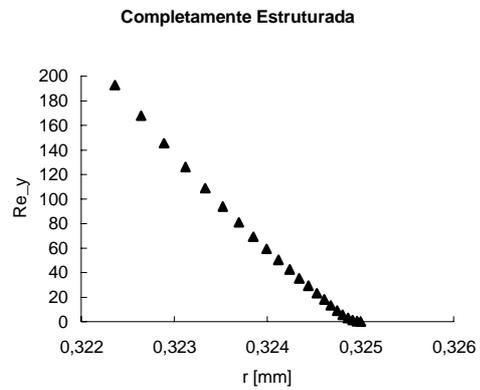


Figura 6 – Distribuição de volumes na região afetada pela viscosidade utilizando-se a malha estruturada.

Não existem diferenças importantes entre os resultados obtidos a partir das duas malhas empregadas. Os resultados são similares apesar do refinamento diferente próximo à parede em cada malha.

3.1 Modelo de Turbulência k-ε RNG

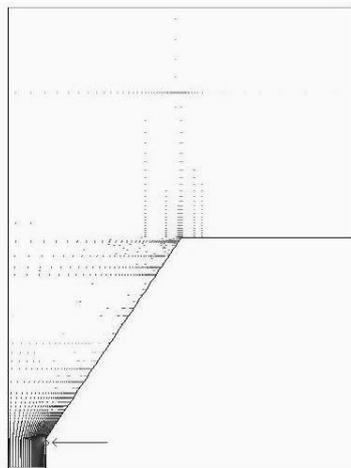


Figura 7 – Local de Descolamento da camada limite.

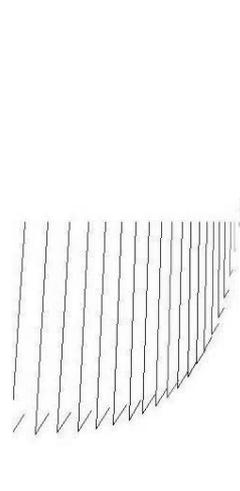


Figura 8 – Descolamento localizado da camada limite em detalhe.

Para um caso a 1800bar, 2D, I=3.3%

Observa-se um descolamento localizado da camada limite na entrada do canal terminal do dispositivo, como mostrado nas figuras 7 e 8. As soluções 2D e axissimétricas são similares em relação a esse pequeno descolamento.

O perfil de velocidade na saída não aparenta ter sido afetado pelo pequeno descolamento da camada limite (figuras 9 e 10).

Variando a intensidade de turbulência do escoamento na entrada do dispositivo, entre 0,01 et 25%, não foi constatada nenhuma variação na formação turbilhonária citada anteriormente. Da mesma forma, também não foi observada nenhuma influência da pressão geratriz (de 1800 a 2800bar) nesse descolamento.

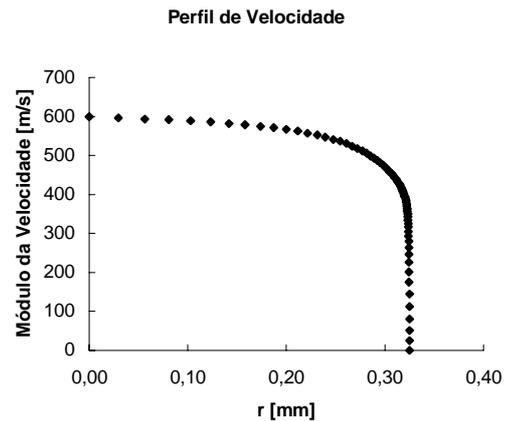
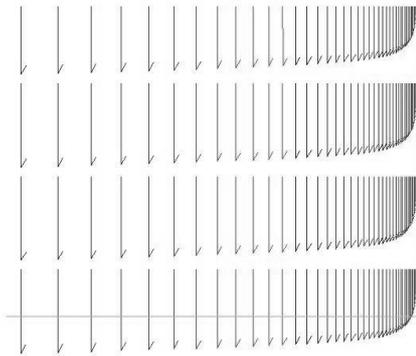


Figura 9 – Vetores de velocidade na seção de saída do dispositivo.
(1800bar, 2D, I=3.3%)

Figura 10 – Módulo de velocidade em função do raio da seção de saída.

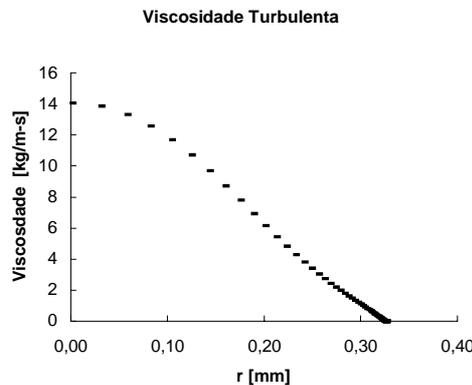


Figura 11 – Viscosidade turbulenta na saída.
(1800bar, 2D, I = 3.3%)

Por outro lado, observa-se curiosamente que a viscosidade turbulenta é máxima no centro do escoamento, fora da camada limite (figura 11) onde se deveria esperar valores próximos a zero.

3.2 Modelo de Turbulência de Spalart-Allmaras (S-A)

De acordo com os resultados obtidos utilizando-se o modelo de Spalart-Allmaras, observa-se, no canal terminal do dispositivo, uma zona de recirculação muito mais importante (figuras 12 e 13) que a citada anteriormente (modelo $k-\epsilon RNG$).

O tamanho dessa zona de recirculação é influenciado pela pressão geratriz e também pela intensidade de turbulência do escoamento na entrada do dispositivo. A zona de recirculação aumenta com a pressão geratriz e, ao contrário, diminui com o aumento da intensidade de turbulência, conforme pode ser visto nas figuras 14 e 15.

Essa zona de recirculação atinge a seção de saída do dispositivo. Com uma intensidade de turbulência próxima a zero, observa-se, na verdade, uma readmissão de fluido.

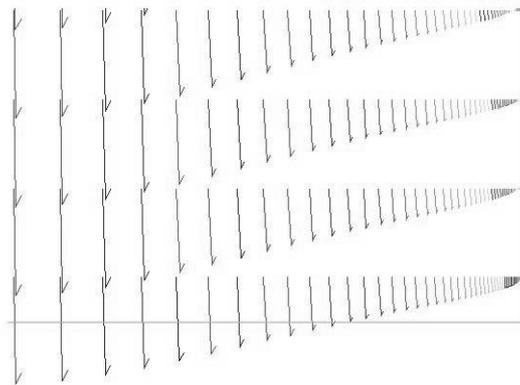
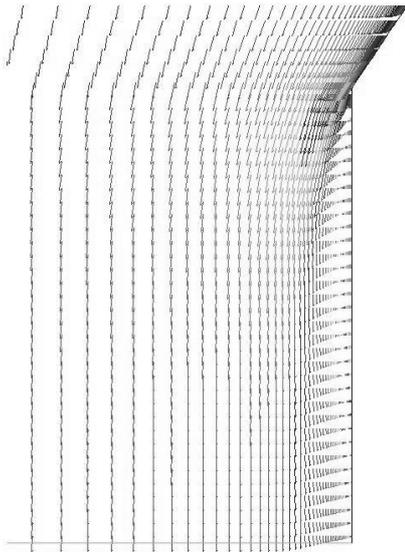


Figura 12 – Vetores de velocidade no canal **Figure 13** – Vetores de velocidade na seção terminal do dispositivo.
(2800bar, 2D, $I=3,3\%$)

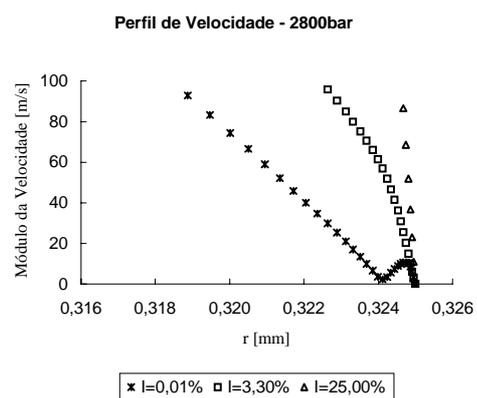
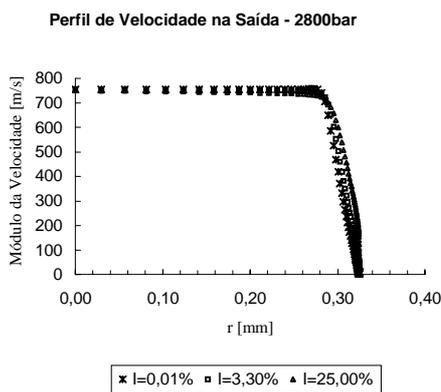


Figura 14 – Perfil de velocidade na saída do dispositivo para diferentes intensidades de turbulência do escoamento na entrada.
(2800bar, 2D)

Figura 15 – Perfil de velocidades em detalhe, próximo à parede.

Ainda, para pequenas intensidades de turbulência do escoamento na entrada do dispositivo, a viscosidade turbulenta é máxima na camada limite, como seria esperado.

Quando a intensidade aumenta, o comportamento da viscosidade turbulenta se aproxima daquele do modelo k-ε RNG (figura 16).

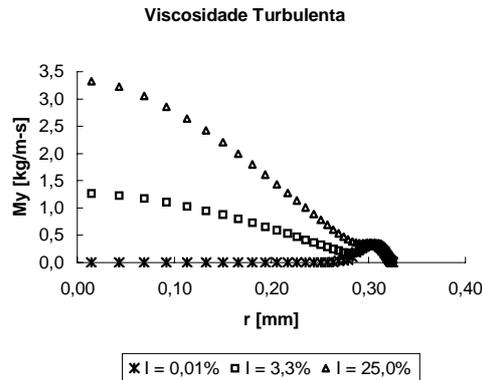


Figura 16 – Viscosidade turbulenta na seção de saída do dispositivo. (2800bar, 2D)

Devido a esses resultados “curiosos” e se leva-se em consideração o critério de relaminarização da camada limite sujeita a gradientes de pressão extremamente elevados, e ainda, se extrapolarmos esse critério para escoamentos em tubos, diz-se que : - Mesmo se o escoamento é turbulento na entrada do dispositivo, os fortes gradientes de pressão favoráveis ao escoamento podem relaminarizá-lo. A condição de relaminarização é avaliada, segundo Piquet (1999), por intermédio do coeficiente de aceleração que é dado por :

$$K_{acc} = \frac{\nu}{U_e^2} \frac{dU_e}{dx} = -\nu \frac{d\left(\frac{1}{U_e}\right)}{dx} > 2,0 \times 10^{-6} \quad (1)$$

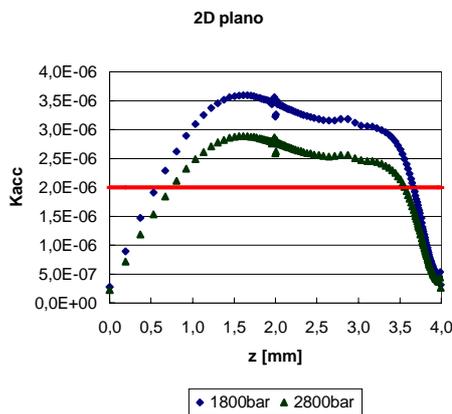


Figura 17 – Coeficiente de aceleração em função do eixo de simetria – Caso 2D plano.

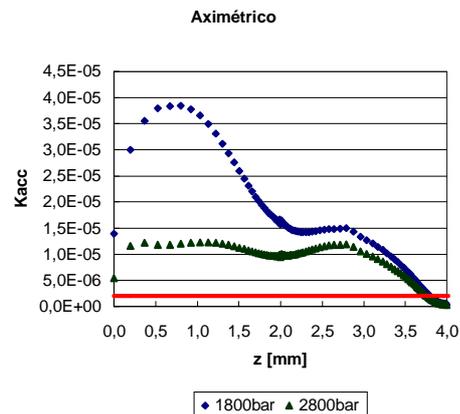


Figura 18 – Coeficiente de aceleração em função do eixo de simetria – Caso axissimétrico.

Ainda segundo Piquet, existem algumas variações entre os autores sobre o valor crítico desse coeficiente, mas pode-se afirmar que o escoamento relaminariza quando esse coeficiente ultrapassa o valor entre $2,0 \times 10^{-6}$ a $3,5 \times 10^{-6}$.

Com base nesses valores, e analisando as figuras 17 e 18, parece então mais correto tratar-se de um escoamento laminar.

Diz-se que o modelo $k-\epsilon$ é capaz de prever a relaminarização de um escoamento, mas ele não parece nem mesmo adaptado a esse tipo de escoamento.

3.3 Regime Laminar

Em regime laminar, observa-se uma grande região turbilhonaria no canal terminal do dispositivo (figuras 19 e 20). Neste cálculo, não se converge à um estado estacionário. O escoamento é não estacionário devido à instabilidade dessa zona de recirculação bastante desenvolvida.

A readmissão de fluido na saída não permite simular corretamente o escoamento considerando o dispositivo isolado. Logo, é preciso realizar um cálculo levando em consideração o ambiente que o envolve.

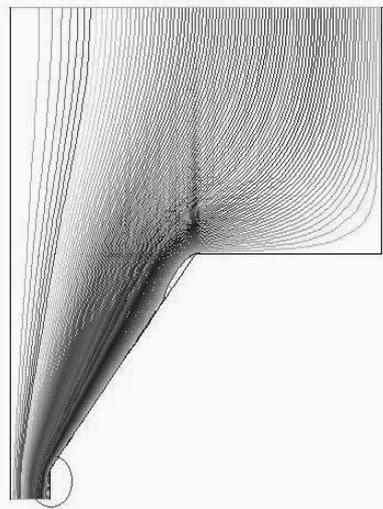


Figura 19 – Linhas de corrente e a zona de recirculação.

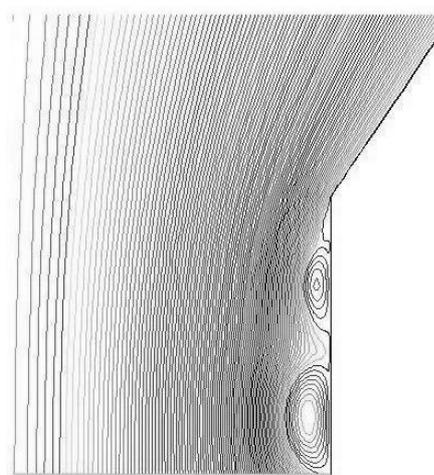


Figura 20 – Zona de recirculação em detalhe.

(1800bar, axissimétrico)

4. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Os modelos de turbulência utilizados não parecem adaptados para o tipo de escoamento estudado. Observam-se alguns resultados curiosos em relação à viscosidade turbulenta com ambos os modelos empregados.

Em regime laminar, o escoamento é não estacionário devido à instabilidade da zona de recirculação bastante desenvolvida que se forma no canal terminal do dispositivo. Ainda, a readmissão de fluido na saída não permite simular corretamente o escoamento considerando somente o dispositivo isolado, sem considerar a atmosfera que o envolve.

Portanto, a seqüência deste estudo demanda um cálculo que leve em consideração a atmosfera que envolve o dispositivo e que utilize um modelo de escoamento bifásico (ar/água).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ferziger, J. H., Peric, M., 1996, “Computational Methods for Fluid Dynamics”, Ed. Springer.
- FLUENT 5, 1998, User’s Guide, Volumes 1, 2, 3 and 4, Fluent Inc.

- Piquet, J., 1999, “Turbulent Flows”, Ed. Springer.
- Piquet, J., 1983, “La Turbulence et sa Modélisation”, ENSM, France.
- Spalart, P.R., Allmaras, S. R., 1992, “A One-equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows”, AIAA 92-0439.
- Versteeg, H. K., Malalasekera, W., 1995, “An Introduction to Computational Fluid Dynamics”, Ed. Longman Scientific & Technical.
- “La Technologie des Jets Fluides à Haute Pression”, 1999, Document informatif, ENSAM Aix en Provence, France.