

Leandro Gomes Silva e Silva

Fabio Gartner Schulman

**Modelagem multifásica de lavadores de gás
do tipo Venturi através de fluidodinâmica
computacional**

São Paulo

2014

Leandro Gomes Silva e Silva

Fabio Gartner Schulman

**Modelagem multifásica de lavadores de gás
do tipo Venturi através de fluidodinâmica
computacional**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Química da
Universidade de São Paulo para obtenção do
grau de graduação em Engenharia Química

Área: Engenharia Química

Orientador: Prof. Dr. José Luís de Paiva

Coorientadora: Eng.^a Danielle Matsumoto

São Paulo

2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

Leandro Gomes Silva e Silva
Fabio Gartner Schulman

Modelagem multifásica de lavadores de gás do tipo Venturi através de fluidodinâmica computacional

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Química da
Universidade de São Paulo para obtenção do
grau de graduação em Engenharia Química

Área: Engenharia Química

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Luís de Paiva, por todo apoio, orientação e ensinamentos, não apenas durante este trabalho, mas durante toda nossa formação acadêmica.

A engenheira Danielle Matsumoto, por todo apoio e orientação técnica durante este trabalho.

A Ecoplas, por ter nos dado a possibilidade de desenvolver este trabalho de engenharia e pela disponibilização das plantas técnicas de seus equipamentos.

A muitos outros professores da Escola Politécnica, que contribuíram para nosso amadurecimento pessoal e profissional.

Por fim, mas não menos importante, às nossas famílias e aos nossos amigos, que nos apoiaram durante toda esta etapa de nossas vidas.

RESUMO

SILVA, L.G.S. & SCHULMAN, F.G.; *Modelagem multifásica de lavadores de gás do tipo Venturi através de fluidodinâmica computacional*. 2014. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Lavadores de gás do tipo Venturi estão entre os lavadores de gás mais eficientes e baratos e que apresentam alta performance e flexibilidade em remoção de partículas, mas cujo modelamento para fins industriais ainda ocorre de forma semiempírica. Os lavadores de gás do tipo Venturi vem sendo estudados há cerca de 60 anos e existe uma série de correlações experimentais e semiempíricas que visam seu dimensionamento. Este trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento do escoamento multifásico em um lavador Venturi industrial conforme especificações de projeto fornecidas pela empresa Ecoplas® com auxílio de fluidodinâmica computacional. Em uma expansão do estudo, realizou-se a modelagem em fluidodinâmica computacional do equipamento completo fabricado pela empresa, que consiste do lavador Venturi e de um separador ciclônico acoplado a ele. Realizou-se uma série de simulações com nível de complexidade crescente e verificaram-se perfis de velocidade, pressão e dispersão de líquido, assim como se analisou algumas características do escoamento. Concluiu-se que o bico injetor afeta o escoamento no lavador, que ocorre forte recirculação no equipamento completo e que esta afeta a distribuição do líquido nele e, por fim, que a perda de carga fornecida pelo fabricante é próxima daquela calculado pelo software de fluidodinâmica computacional. Recomenda-se melhor modelagem do bico injetor e da saída de fluido, assim como a possível adoção de uma abordagem lagrangeana para simulação.

ABSTRACT

Venturi scrubber are among the most efficient and cheapest gas scrubber, which have high performance and flexibility when it comes to removing of dust, but its modelling for industrial demand still occurs in a semi-empirical way. The Venturi scrubber has been investigated for about 60 years and there is an amount of experimental and semi-empirical correlation, which aims its modelling. The present work aims to investigate the behavior of multiphase flow in a real industrial Venturi scrubber, which specifications have been provided by the company Ecoplas® using computational fluid dynamics as a tool. Furthermore the whole equipment manufactured by the compact was investigated in the present work, which consists of a Venturi scrubber with a cyclonic separator linked to it. A set of simulations with increasing complexity were conducted. The profiles of velocity, pressure and liquid dispersion as well as some flow characteristics were investigated. It has been concluded that the flow is affected by the nozzle, that there is strong recirculation in the full equipment and this recirculation affects the distribution of liquid. Finally it has been found out that the pressure drop provided by the manufacturer is close to that value calculated by the computational fluid dynamics software. For further investigations, mesh convergence verification, better modelling of the nozzle and the fluid outlet, and finally the possible adoption of a Lagrangian approach are recommended.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Equipamento da Ecoplas [1]..... | 13 |
| Figura 2 - Esquema de um Lavador Venturi (COSTA et al., 2003, p. 336)..... | 15 |
| Figura 3 - Venturi com separador ciclônico acoplado [2]..... | 17 |
| Figura 4 - Funcionamento esquemático do PHOENICS..... | 23 |
| Figura 5 - Exemplo de discretização realizada no Método dos Volumes Finitos..... | 25 |
| Figura 6 - Tela de execução do Solver com critério de parada atingido (POLIS)..... | 27 |
| Figura 7 - Tela de execução do Solver onde critério de parada não foi atingido (POLIS)..... | 27 |
| Figura 8 - Tela do Solver com situação de divergência (POLIS)..... | 28 |
| Figura 9 - Tela do Solver para a simulação monofásica do lavador Venturi..... | 41 |
| Figura 10 – Simulação monofásica do lavador Venturi, perfis de pressão (a) e velocidade (b)..... | 41 |
| Figura 11 - Tela do Solver para a simulação multifásica do lavador Venturi..... | 43 |
| Figura 12 - Simulação multifásica do lavador Venturi, perfil de pressão..... | 43 |
| Figura 13 - Simulação multifásica do lavador Venturi, perfil de velocidade..... | 44 |
| Figura 14 - Simulação multifásica do lavador Venturi, perfil da fração volumétrica de líquido..... | 44 |
| Figura 15 - Tela do Solver para a simulação monofásica do lavador Venturi e parte do ciclone..... | 46 |
| Figura 16 - Simulação monofásica do lavador e parte do ciclone, componentes z..... | 47 |
| Figura 17 - Simulação monofásica do lavador e parte do ciclone, perfil e vetores de velocidade..... | 48 |
| Figura 18 - Simulação monofásica do lavador Venturi e parte do ciclone, perfis de pressão..... | 48 |
| Figura 19 - Tela do Solver para a simulação monofásica do equipamento completo..... | 49 |
| Figura 20 - Simulação monofásica do equipamento completo, perfis de pressão 1..... | 49 |
| Figura 21 - Simulação monofásica do equipamento completo, pressão com ênfase no lavador..... | 50 |
| Figura 22 - Simulação monofásica do equipamento completo, velocidade em x (a) e y (b)..... | 51 |
| Figura 23 - Simulação monofásica do equipamento completo, componente z da velocidade..... | 51 |
| Figura 24 - Simulação monofásica do equipamento completo, perfil de KE..... | 52 |
| Figura 25 - Memorial de resultados obtidos do Solver para última simulação..... | 53 |
| Figura 26 - Resultado do Solver para a última simulação..... | 54 |
| Figura 27 - Simulação multifásica com equipamento completo, perfil de pressão..... | 54 |
| Figura 28 - Simulação multifásica do equipamento completo, velocidades no eixo z..... | 55 |
| Figura 29 - Simulação multifásica do equipamento completo, vetores da velocidade..... | 56 |
| Figura 30 - Simulação multifásica do equipamento completo, perfil de fração volumétrica..... | 57 |
| Figura 31 - Simulação multifásica do equipamento completo, perfil de fração volumétrica..... | 59 |
| Figura 32 - Simulação multifásica do equipamento completo, fração volumétrica, escala 2..... | 59 |
| Figura 33 - Planta do lavador Venturi da Ecoplas..... | 64 |
| Figura 34 - Planta do ciclone da Ecoplas..... | 65 |
| Figura 35 - Modelo do Venturi em CAD..... | 66 |
| Figura 36 - Modelo do equipamento completo em CAD..... | 66 |
| Figura 37 - Simulação preliminar, perfil de pressão, escala 1..... | 67 |
| Figura 38 - Simulação preliminar, perfil de pressão, escala 2..... | 67 |
| Figura 39 - Simulação preliminar, dispersão de líquido..... | 68 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Explicação sobre os termos da Equação 11 | 24 |
| Tabela 2 - Expressões da Equação 11 relacionadas às equações de conservação clássicas | 24 |
| Tabela 3 - Especificações geométricas dos equipamentos | 32 |
| Tabela 4 - Condições de operação do equipamento | 33 |
| Tabela 5 - Especificações dos bicos injetores | 33 |
| Tabela 6 - Valores das velocidades para modelagem CFD | 35 |
| Tabela 7 - Resumo das simulações realizadas..... | 38 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------|--|
| CFD | Fluidodinâmica computacional |
| CHAM | Concentration, Heat & Momentum Limited |
| IPSA | Inter-Phase Slip Algorithm |
| PHOENICS | Parabolic Hyperbolic or Elliptic Numerical Integration Code Series |
| POLIS | PHOENICS On-Line Information System |
| RNG | Renormalization group – Grupo de renormalização |
| USP | Universidade de São Paulo |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | | |
|----------|---|-------------|
| C | <i>Concentração de particulados</i> | g/cm^3 |
| c_d | <i>Coefficiente de arrasto</i> | - |
| d_{32} | <i>Diâmetro médio de Sauter</i> | m |
| D_d | <i>Diâmetro médio de gotas</i> | μm |
| D_p | <i>Diâmetro médio do particulado</i> | μm |
| EP | <i>Taxa de dissipação turbulenta</i> | $J/(kg\ s)$ |
| f | <i>Fator de atrito</i> | - |
| g | <i>Gravidade</i> | m/s^2 |
| KE | <i>Energia cinética turbulenta</i> | J/kg |
| L/G | <i>Razão entre vazão de líquido e gás</i> | l/m^3 |
| l_T | <i>Comprimento da garganta do Venturi</i> | cm |
| P | <i>Pressão</i> | N/m^2 |
| Pr_t | <i>Número de Prandtl turbulento</i> | - |
| Q_G | <i>Fluxo volumétrico de gás</i> | m^3/s |
| Q_L | <i>Fluxo volumétrico de líquido</i> | m^3/s |
| Re | <i>Número de Reynolds</i> | - |
| U_r | <i>Velocidade relativa entre gás e líquido</i> | m/s |
| V_G | <i>Velocidade do gás</i> | m/s |
| V_{g0} | <i>Velocidade do gás na garganta do Venturi</i> | m/s |
| V_L | <i>Velocidade do líquido</i> | m/s |
| We | <i>Número de Webber</i> | - |
| W_G | <i>Vazão mássica de gás</i> | kg/s |
| W_{LE} | <i>Vazão mássica de líquido</i> | kg/s |

Símbolos gregos

| | | |
|-----------------|---|-------------|
| η | <i>Eficiência de coleta</i> | - |
| θ_{CONE} | <i>Ângulo do cone cheio de água oriundo do bico injetor</i> | $^\circ$ |
| μ | <i>Viscosidade do líquido</i> | $kg/(m\ s)$ |
| ν | <i>Viscosidade cinemática</i> | m^2/s |
| ρ | <i>Massa específica de um fluido</i> | kg/m^3 |
| ρ_G | <i>Massa específica do gás</i> | kg/m^3 |

| | | |
|----------|--------------------------------------|----------|
| ρ_L | <i>Massa específica do líquido</i> | kg/m^3 |
| σ | <i>Tensão superficial</i> | kg/s^2 |
| ω | <i>Parâmetro de impacto inercial</i> | - |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS | 12 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1. Lavador Venturi | 15 |
| 2.2. Parâmetros de um lavador Venturi..... | 17 |
| 2.3. Fluidodinâmica computacional | 22 |
| 2.4. Modelos de turbulência k- ϵ | 28 |
| 2.5. IPSA – Inter-Phase Slip Algorithm..... | 30 |
| 3. METODOLOGIA | 32 |
| 3.1. Software utilizado | 32 |
| 3.2. Especificações do equipamento e condições de contorno | 32 |
| 3.3. Modelagem dos equipamentos e das condições de contorno | 33 |
| 3.4. Cronograma de simulações | 36 |
| 3.5. Premissas para modelagem CFD..... | 38 |
| 3.6. Variáveis analisadas | 39 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 40 |
| 4.1. Simulação preliminar | 40 |
| 4.2. Simulação monofásica do lavador Venturi | 40 |
| 4.3. Simulação multifásica do lavador Venturi | 42 |
| 4.4. Simulação monofásica do lavador Venturi e parte do ciclone | 45 |
| 4.5. Simulação monofásica do equipamento completo | 48 |
| 4.6. Simulação multifásica do equipamento completo..... | 52 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 60 |
| 5.1. Conclusões | 60 |
| 5.2. Recomendações..... | 60 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |
| 7. ANEXOS | 64 |
| 7.1. Planta de equipamentos..... | 64 |
| 7.2. Modelo dos equipamentos desenvolvidos no AutoCad..... | 65 |
| 7.3. Resultados da simulação preliminar..... | 67 |
| 7.4. Arquivo Q1 da última simulação..... | 68 |
| 7.5. Arquivo RES da última simulação | 74 |

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O ar é componente importante em diversos processos industriais, onde ele invariavelmente se misturará a outras substâncias e acumulará contaminantes na sua corrente. Antes do descarte ele deve estar primordialmente limpo, sem resíduos.

Partículas sólidas ou líquidas maiores do que moléculas químicas, mas menores que 500 μm que se movimentam pelo ar são chamados de particulados. Os particulados chamados “finos”, que são menores que 10 μm , não são retidos na cavidade nasal nem nos dutos do sistema respiratório, mas atingem e se depositam nos pulmões. São por isso poluentes atmosféricos extremamente nocivos à saúde (SUN & AZZOPARDI, 2003, p. 250).

Não apenas partículas sólidas são motivo de preocupação, mas também substâncias químicas que se dissolvem no ar ao longo de um processo, substâncias quais podem ser prejudiciais para a atmosfera e para o ser humano.

Graças a esta realidade é comum hoje na maioria dos países do mundo a existência de uma série de leis ambientais que limitam emissões gasosas e de particulados.

Por último, muitas vezes um processo químico tem como reagente um produto caro e como fim uma corrente gasosa. Dependendo do grau de conversão do reagente no processo e de seu custo, pode ser vantajoso para a empresa recuperar parte do reagente presente na corrente gasosa final.

Por estes motivos, diversas empresas que possuem fábricas em diversos setores da indústria têm como compromisso um controle de suas emissões gasosas e, sendo assim, há uma demanda por equipamentos capacitados em remover tais poluentes dos gases. Para uma empresa que fabrica tais equipamentos, ser capaz de produzi-los de forma que seu produto final seja mais barato e eficiente se torna uma vantagem competitiva e ainda favorece o meio ambiente.

A separação mecânica é uma das maneiras possíveis de tratamento e uma das mais utilizadas, pela eficácia e pelo custo reduzido. Um dos equipamentos possíveis é o lavador Venturi, que utiliza o princípio físico de mesmo nome para purificar correntes gasosas.

A primeira instalação comercial de um lavador Venturi foi feita em uma fábrica do ramo do papel e celulose na década de 40, com o objetivo de recuperar compostos de sódio de emissões gasosas (JONES, 1949, p. 2425).

Dentre a literatura disponível, boa parte descreve estudos com lavadores em escala de laboratório e a aplicação destes estudos a lavadores industriais é limitada (SILVA et al., 2008a, p.59).

Muitas vezes a execução de uma série de experimentos utilizando equipamentos reais pode significar alto custo financeiro e de tempo para uma empresa. Como alternativa há no mercado softwares que realizam simulações de CFD (fluidodinâmica computacional), que por sua vez permitem a análise e o entendimento da mecânica dos fluidos, dos fenômenos de transporte de calor e de transporte de massa em geometrias complexas, com possibilidade de diversos estudos de sensibilidade, em equipamentos existentes ou em projeto.

Estudaremos, analisaremos e desenvolveremos modelos de escoamento multifásico com auxílio de CFD para modelagem dos fenômenos de transporte em lavadores do tipo Venturi para abatimento em gases de particulados.

O trabalho aborda equipamentos reais de dimensão industrial, que são projetados pela empresa Ecoplas®, localizada em Mogi Guaçu, na região metropolitana de São Paulo. A Ecoplas® constrói e vende tais tipos de lavadores a diversas outras empresas renomadas do mercado, como Petrobras, Braskem, Caterpillar, Kraft, Gillette, Ajinomoto, entre outras. A empresa nos forneceu um de seus projetos de equipamentos e suas especificações de funcionamento, que serão utilizados nos estudos de simulação no software de CFD.



Figura 1 - Equipamento da Ecoplas [1]

O equipamento industrial geralmente é projetado de maneira semiempírica. Em situações como essa, não é raro que as vazões utilizadas possam estar superdimensionadas e o projeto geral do equipamento não esteja necessariamente otimizado. A utilização e aplicação de CFD permitirá uma melhor interpretação do escoamento do gás e do líquido, considerando a

geometria de um lavador real, através da análise de seus perfis de velocidade, pressão e a dispersão de líquido.

O objetivo do trabalho é analisar o comportamento do escoamento mono- e multifásico em um lavador Venturi e expandir o tratamento para o equipamento completo, que consiste do lavador e do separador ciclônico. Deseja-se estimar perdas de carga e velocidades em certas regiões, verificar a ocorrência de recirculações internas e a distribuição de líquido, ou seja, analisar o comportamento geral dos fluidos nestes equipamentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Lavador Venturi

O princípio de operação de um lavador Venturi é a atomização do líquido que removerá o poluente através de um gás acelerado a alta velocidade (JONES, 1949, p. 2424; COSTA et al., 2003; p. 335).

Um lavador Venturi é usualmente dividido em três segmentos; a seção convergente, a garganta e a seção divergente (GUERRA et al., 2012, p. 8049). Na primeira ocorre a aceleração do gás, na segunda ocorre interação com as gotas de água e na terceira o gás desacelera a fim de recuperar pressão (MAJID et al., 2012, p. 169). Na garganta o líquido é acelerado e atomizado, fenômeno resultante da transferência de quantidade de movimento entre este e a fase gasosa (GUERRA et al., 2012, p. 8049). A figura abaixo ilustra o esquema básico de um lavador Venturi:

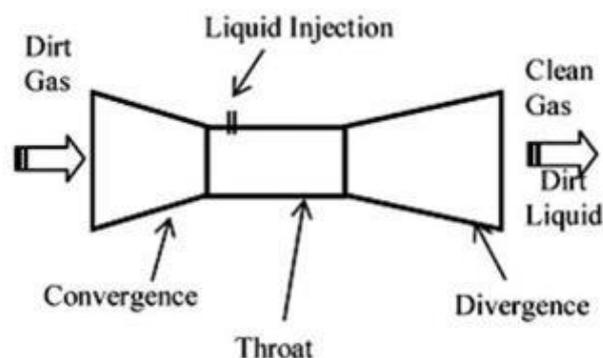


Figura 2 - Esquema de um Lavador Venturi (COSTA et al., 2003, p. 336)

Sua classificação é estabelecida através de como o líquido é inserido no sistema, havendo dessa forma dois tipos principais de lavador: Pease-Anthony e Wetted Approach (PAK & CHANG, 2006, p. 560; SUN & AZZOPARDI, 2003, p. 250). No Venturi do tipo Pease-Anthony a água é injetada na garganta, tanto na direção do gás como na direção radial, e no Venturi do tipo Wetted Approach a injeção de líquido ocorre imediatamente antes da seção convergente na forma de filme d'água (SUN & AZZOPARDI, 2003, p. 250). A vantagem do tipo Wetted é que a presença do filme evita acúmulo de sujeira na seção convergente (SUN & AZZOPARDI, 2003, p. 250), além da ocorrência de menor perda de carga (VIRKAR & SHARMA, 1975, p. 512). O lavador estudado neste trabalho é do tipo Pease-Anthony.

Estes são considerados um dos mais eficientes tipos de lavadores, devido à sua alta performance de remoção de poluentes somada ao seu baixo custo, estrutura relativamente simples e compacta (AHMADVAND & TALAIE, 2010, p. 423; VISWANATHAN, 1997, p. 4308; SILVA et al., 2008b, p. 424; SUN & AZZOPARDI, 2003, p. 250) e a ausência de partes internas móveis (VISWANATHAN, 1997, p. 4308). Sua simplicidade de construção torna seus custos iniciais de investimento menores do que filtros de ar eletrostáticos e sua eficiência na remoção de partículas aderentes os tornam mais adequados a este uso do que filtros de manga (SILVA et al., 2008b, p. 424).

O lavador Venturi, contudo, não se limita apenas a partículas aderentes. Eles possuem uma gama de possíveis aplicações e podem ser encontrados em muitos setores diferentes da indústria. Removem com até 98% de eficiência partículas de até 1 μm (SUN & AZZOPARDI apud JOHNSTONE et al., 1954). Sua capacidade de remover poeira de fibra o torna importante para a indústria têxtil onde tal particulado é muito prejudicial à saúde dos trabalhadores (SILVA et al., 2008a, p. 59). Também lidam bem com gases corrosivos (VISWANATHAN, 1997, p. 4308), com partículas finas, partículas tóxicas e com as já citadas partículas aderentes (SILVA et al., 2008b, p. 424). Além disso, são usados desde a década de 40 no abatimento de micropartículas geradas na combustão em usinas termoelétricas e em outros processos industriais, partículas por sua vez fatais aos pulmões e ao coração (PAK & CHANG, 2006, p. 560). Por fim, eles também podem atuar na remoção de partículas quentes ou explosivas (SUN & AZZOPARDI, 2003, p. 250). Também há relatos de uso deste tipo de lavador na indústria de papel e celulose (JONES, 1949, p. 2425), na indústria do aço (MORELAND et al., 2010, p. 1), na indústria de semicondutores (TSAI et al., 2005, p. 319) entre outros.

O modelamento do comportamento de lavadores Venturi industriais geralmente ocorre de forma semiempírica, pois técnicas abrangentes para seu dimensionamento ainda são escassas. Para fins industriais, é comum que o equipamento utilizado seja um lavador Venturi com um separador ciclônico acoplado a ele, que tem a função de aumentar a purificação do gás através do impacto deste contra a parede do mesmo. O modelo de equipamento objeto de estudo neste trabalho contém o ciclone acoplado, e este também foi estudado neste trabalho. Uma figura ilustrativa de um lavador Venturi com separador ciclônico acoplado pode ser visto a seguir:



Figura 3 - Venturi com separador ciclônico acoplado [2]

Outro tipo de lavador que também pertence à família do Venturi é o Ejector Venturi, mas ele não será abordado. Sua principal característica e diferença é que a corrente de ar que flui através dele é induzida, ou seja, ele não necessita de ventiladores em sua entrada (GAMISANS, 2001, p. 252).

Os lavadores Venturi vêm sendo estudados há mais de meio século e uma série de trabalhos sobre seus principais parâmetros está disponível na literatura, embora como já citado (SILVA et al., 2008a, p.59), a grande maioria deles aborde equipamentos em escala de laboratório e o foco deste trabalho é em um lavador em escala industrial.

2.2. Parâmetros de um lavador Venturi

Os lavadores Venturi possuem uma série de parâmetros que são com frequência alvos de investigações que têm o intuito de determinar como estes se relacionam com a eficiência do lavador. Entre estes parâmetros podemos citar a velocidade de entrada do gás, a velocidade do gás na garganta, a razão entre vazão de líquido e gás, o número de orifícios de entrada de água, a posição dos orifícios, o tamanho do lavador, a perda de carga, o tamanho e perfil da dispersão de gotas de líquido e a eficiência de remoção. Dentre todos, é dada notável importância aos três últimos e estes têm sido objetos constantes de estudos há décadas.

Perda de carga

Um dos parâmetros mais importantes no projeto de um lavador Venturi é a perda de carga. A perda de carga tem altas implicações econômicas (GUERRA et al., 2012, p. 8049) e isso ganha um peso ainda maior, já que o alto consumo de energia é visto como uma das maiores desvantagens deste tipo de lavador (VISWANATHAN, 1997, p. 4308).

Na literatura há uma lista de correlações possíveis para avaliar a perda de carga em um Venturi, sendo algumas experimentais e outras semiempíricas, derivadas de equações de balanço de quantidade de movimento (YUNG et al., 1977, p. 348). A equação de Calvert (SUN & AZZOPARDI apud CALVERT, 1970) foi o primeiro modelo de queda de pressão em um Venturi e é a de mais fácil aplicação, contudo ela superestima a perda de carga em lavadores industriais, pois usa como hipótese que todas as gotas de líquido se aceleram imediatamente à velocidade do gás na garganta, fato não consumado em um lavador industrial devido ao curto tempo de residência das gotículas nesta escala de lavador (YUNG et al., 1977, p. 348-349). Um novo modelo matemático derivado da equação de Calvert, que leva em conta que as gotículas não estão totalmente aceleradas na garganta, foi proposto por YUNG et al. (1977). A equação de Calvert tem a seguinte forma :

$$\Delta P = -\rho_L V g_0^2 \left(\frac{Q_L}{Q_G} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Esta equação representa a queda de pressão necessária para acelerar as gotículas à velocidade do gás. A equação modificada proposta por YUNG et al. (1977) pode avaliar a perda de carga no Venturi inteiro e tem a seguinte forma:

$$\Delta P = -\frac{2\rho_L v g_0^2}{conv} \left(\frac{Q_L}{Q_G} \right) \left(1 - \left(\frac{3 l_T c_d \rho_G}{16 d_{32} \rho_L} + 1 \right)^2 + \sqrt{\left(\left(\frac{3 l_T c_d \rho_G}{16 d_{32} \rho_L} + 1 \right)^4 - \left(\frac{3 l_T c_d \rho_G}{16 d_{32} \rho_L} + 1 \right)^2 \right)} \right) \quad \text{Equação 2}$$

O modelo matemático acima foi testado com dados experimentais disponíveis e observou-se boa aproximação, contudo o autor alerta que o modelo provavelmente vai subestimar a queda de pressão caso o atrito na parede e a recuperação de pressão na seção divergente tenham valores consideráveis, uma vez que o modelo ignora tais componentes (YUNG et al., 1977, p. 350).

A maior crítica de SUN & AZZOPARDI (2003) à equação de Calvert é de que esta não leva em conta a geometria do Venturi (SUN & AZZOPARDI, 2003, p. 251). Após Calvert, Boll (SUN & AZZOPARDI apud BOLL, 1973) desenvolveu uma equação diferencial que poderia ser integrada ao longo do comprimento do Venturi a fim de prever a perda de carga levando em conta o atrito na parede e a desaceleração das gotículas. O resultado é o seguinte:

$$-\frac{dP}{\rho_G} = V_G dV_G + \frac{Q_L \rho_L}{Q_G \rho_G} V_G dV_L + \left(\frac{Q \rho_L}{Q_L \rho_G} + 1 \right) \frac{f V_G^2}{D_d} dx \quad \text{Equação 3}$$

Onde x é a posição ao longo do eixo do Venturi e D_d é o diâmetro local das gotas na posição x .

SUN & AZZOPARDI (2003) elaboraram equações para o desenvolvimento da camada limite até a seção divergente em lavadores a altas pressões e validaram tal modelo com dados experimentais, obtendo boas aproximações para a perda de carga. Mais recentemente, SILVA et al. (2008a) estudou a perda de carga em um lavador em escala industrial. Verificou-se a correlação entre a queda de pressão em tais lavadores com as vazões de líquido e gás e com o método de inserção da fase líquida. Os dados experimentais obtidos foram testados com o modelo de predição da camada limite de CRUZ et al. (SILVA et al. apud CRUZ et al., 1997, p. 67-71) e observou-se boa correlação, embora o modelo se limite a altas vazões de gás.

Dispersão e tamanho de gotículas

Outro parâmetro importante no desempenho de um lavador Venturi já estudado por muitos autores é a dispersão de gotas de líquido e o tamanho das gotículas. Segundo AHMADVAND & TALAIE (2010, p. 423), o desempenho de um lavador é melhorado através de uma boa dispersão das gotas, o que garante um perfil para dispersão de gotas mais uniforme. Isso já havia sido constatado por FATHIKALAJAHI et al. (1995, p. 181), que afirmou que diversos parâmetros do lavador deveriam ser ajustados a fim de obter-se um perfil de dispersão de gotas mais uniforme possível. A importância no tamanho das gotas foi avaliada por ALONSO et al. (2011, p. 4901) que afirmou que este parâmetro influencia a perda de carga e a eficiência de lavagem no Venturi.

Em seu trabalho, FATHIKALAJAHI et al (1995) desenvolveu um modelo que prevê o perfil de dispersão de gotas em um Venturi e avaliou tal modelo através de dados experimentais disponíveis na literatura (FATHIKALAJAHI et al. apud Viswanathan et al., 1984). Após o teste, o modelo demonstrou boa adequação com os dados experimentais, que acusavam uma distribuição não uniforme ao longo da seção transversal do Venturi. No trabalho foi usada a equação de Boll (FATHIKALAJAHI et al. apud BOLL et al., 1974, p. 934) para calcular-se o diâmetro médio das gotas:

$$D_d = \frac{42200 + 5776 \left(\frac{L}{G} \right)^{1,932}}{V g_0^{1,602}} \quad \text{Equação 4}$$

Mais tarde, ALONSO et al. (2011) mediu em um Venturi em escala de laboratório o tamanho de gotículas utilizando uma técnica de difração a laser, com diferentes arranjos para

entrada d'água e diferentes vazões de líquido e de gás. Em seu trabalho uma variação da Equação 4 acima foi testada para os dados experimentais obtidos e demonstrou-se boa aproximação. Constatou ainda que a velocidade do gás exerce maior influência no tamanho das gotas do que a razão entre as vazões de líquido e gás e que o tamanho de gotas muda ao longo do Venturi, especialmente na garganta (ALONSO et al., 2011, p. 4909). Posteriormente, o tamanho de gotas foi estudado por COSTA et al. (2003) também utilizando uma técnica de difração a laser variando parâmetros como velocidade do gás e razão entre vazões de líquido e gás, concluindo que estas variáveis influenciam no tamanho das gotas. Avaliou seus resultados utilizando, dentre outras correções, a Equação 4. Adiante em 2009, SILVA et al. (2008b) realizou estudos do tamanho de gotículas em um lavador Venturi em escala industrial. Além de reforçar as conclusões anteriores acerca da importância dos fluxos de líquido e gás no tamanho das gotículas, o trabalho estabeleceu que dois mecanismos concorrentes quanto à formação de gotas ocorrem: coalescência, que é o fenômeno onde duas ou mais partículas se unem e formam uma partícula única, e quebra por turbulência (SILVA et al., 2008b, p. 431). O primeiro tem ocorrência favorecida a altas velocidades do gás ou das gotas (SILVA et al., 2008b, p. 428). Por fim, este trabalho compara os dados experimentais obtidos com diversas correlações clássicas da literatura, entre elas a Equação 4, e o resultado é que tais correlações não são adequadas para lavadores em escala industrial, subestimando os valores experimentais obtidos (SILVA et al., 2008b, p. 430). Isso reforça as afirmações de que mais estudos abordando lavadores em escala industrial precisam ser feitos. No estudo de SILVA et al. (2008b), os dados obtidos foram comparados com as três seguintes correlações clássicas para diâmetro das gotículas, sendo a Equação 5 uma variação da Equação 4:

$$d_{32} = \frac{4,22 \times 10^{-2} + 5,77 \times 10^{-3} \left(\frac{1000 Q_L}{Q_G} \right)^{1,922}}{U_r^{0,58}} \quad \text{Equação 5}$$

$$d_{32} = \left(\frac{15,4}{We^{0,58}} + \frac{3,5 \rho_G W_{LE}}{\rho_G W_G} \right) \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho_L g} \right)} \quad \text{Equação 6}$$

$$d_{32} = \frac{0,585}{U_r} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_L}} + 1,683 \times 10^{-3} \left(\frac{\mu}{\sqrt{\sigma \rho_L}} \right)^{0,45} \left(\frac{1000 Q_L}{Q_G} \right)^{1,5} \quad \text{Equação 7}$$

A Equação 5 é a equação de Boll (SILVA et al. apud BOLL et al., 1974), a Equação 6 é uma correlação de Azzopardi e Govan (SILVA et al. apud AZZOPARDI & GOVAN, 1984) e a Equação 7 é a correlação de Nukiyama e Tanasawa (SILVA et al. apud NUKIYAMA & TANASAWA, 1938). Com a inexistência de um modelo para cálculo de tamanho de gotas adequado a lavadores de escala industrial, as equações acima deverão ser usadas mais a frente em uma parte do trabalho para uma estimativa do tamanho de gotas.

Adiante em 2010, Ahmadvand & Talaie (2010) elaboraram um modelo matemático modificado a fim de simular a dispersão de gotas em um Venturi utilizando (CFD). Os resultados foram comparados com testes feitos em um Lavador Venturi em escala de laboratório e houve boa correlação. A abordagem computacional foi euleriana e o modelo de turbulência utilizado foi o k-ε, temas que serão abordados na seção 2.3, página 22.

Eficiência de coleta

Por fim, outro parâmetro de um lavador Venturi intensamente estudado ao longo das décadas é a eficiência de coleta. A eficiência de coleta é um parâmetro diretamente relacionado com a eficiência global do Venturi. O cenário ideal é ajustar os parâmetros a fim de se obter a maior eficiência de coleta para o menor custo de operação, causado em grande parte pela perda de carga.

CALVERT et al. (1972) estudou a eficiência de coleta de partículas em um Venturi em escala de laboratório. A equação de Calvert para coleta de partículas foi refinada neste trabalho e comparada com os dados dos experimentos realizados neste estudo, concluindo que a nova equação apresenta melhor correlação com tais dados. A equação de Calvert (Equação 8) e a equação de Calvert modificada (Equação 9) tem a seguinte forma (CALVERT et al., 1972, p. 530):

$$\frac{dC}{C} = \frac{Q_L}{Q_G} \frac{2D_p}{55\mu} \rho_L V_G \eta d \frac{V_L}{V_G} \quad \text{Equação 8}$$

$$\ln \frac{C_{outlet}}{C_{inlet}} = \left(\frac{4Q_L 2D_p \rho_L V_G}{55Q_G \mu} \right) \frac{1}{\omega} \left[-0,7 - \omega \frac{V_L}{V_G} + 1,4 \ln \frac{\omega \frac{V_L}{V_G} + 0,7}{0,7} + \frac{0,49}{0,7 + \omega \frac{V_L}{V_G}} \right] \quad \text{Equação 9}$$

Após Calvert, uma série de autores apresentaram outras equações para determinar a eficiência de coleta no lavador, mas todas elas eram apenas pequenas modificações da Equação 8 (YUNG et al., p. 456). YUNG et al. (1978) apresentaram uma forma modificada da Equação 8 que não possuísse constantes empíricas. Consideraram aplicar a equação somente à garganta do Venturi, sob a hipótese de que a maior parte da coleta de partículas ocorresse nessa região (YUNG et al., 1978, p. 456). Como já citado (YUNG et al., 1977, p. 348-349), na garganta de um lavador em escala industrial nem sequer as gotas estão completamente aceleradas à velocidade do gás dado o curto tempo de residência. Baseando-se nesta afirmação, é razoável afirmar que tal hipótese de que a maior parte da coleta de partículas ocorra na garganta não deva ser verdadeira para lavadores em escala industrial. Outras hipóteses da equação de YUNG et al. são fluxo unidimensional, partículas coletas por gotas de diâmetro médio D_d , ou seja, o modelo simplifica e desconsidera a distribuição de

tamanhos de gota; gotas não possuem velocidade radial na entrada da garganta, ou seja, o modelo não é aplicável se o lavador estudado tiver injeção de líquido radial, aceleração instantânea das gotas à velocidade do gás, entre outros. (YUNG et al, 1978, p. 457).

TALAIE et al. (1997) desenvolveu um modelo matemático tridimensional para prever a eficiência de remoção e comparou-o com alguns dados experimentais e com a abordagem unidimensional. Concluiu que a abordagem tridimensional promove melhor correlação com os dados do que a abordagem unidimensional. Mais tarde, ANANTHANARAYANAN & VISWANATHAN (1998) desenvolveram um modelo bidimensional para prever a eficiência de coleta. Concluiu que uma dispersão de líquido mais uniforme aumenta a eficiência de coleta, mas que isso ocorre para vazões volumétricas de gás mais altas. Estabeleceu também que parâmetros como diâmetro do orifício de entrada e o design geral do equipamento devem ser modelados a fim de promover dispersão de líquido mais uniforme possível, o que irá aumentar a eficiência de remoção. Recentemente, ALI et al. (2012) estudou a eficiência de remoção experimentalmente e teoricamente. Para tal, aplicou um modelo matemático que contém as seguintes hipóteses (ALI et al., 2012, p. 180): Gás e líquido fluem na mesma direção; gás flui na direção na força gravitacional, sentido contrário a ela; gotas são esféricas; todas as gotas têm o mesmo diâmetro; distribuição de gotas é uniforme; não há ocorrência de fenômenos evaporativos ou condensativos; o fenômeno da coalescência não ocorre. A eficiência de remoção foi calculada através da seguinte equação:

$$\eta = 1 - \frac{C_{outlet}}{C_{inlet}} = 1 - \exp\left(-\frac{3}{2} \frac{Q_L}{Q_G} \frac{x}{D_d} \frac{V_L}{V_G - V_L} \omega\right) \quad \text{Equação 10}$$

Além de verificar boa correspondência entre o modelo e os dados experimentais extraídos de um equipamento em escala de laboratório, ALI et al. concluiu também que a eficiência de remoção aumenta com o aumento da velocidade do gás na garganta e do fluxo de líquido.

2.3. Fluidodinâmica computacional

Pode-se definir a fluidodinâmica computacional como o conjunto de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais para análise qualitativa e quantitativa de fenômenos relacionados aos fenômenos de transporte de quantidade de movimento, energia e massa, com ainda possibilidade de reações químicas.

Muitas vezes no estudo de algum fenômeno complexo a utilização de medição experimental pode ser trabalhosa, cara e passível a erros. Uma alternativa à metodologia experimental é o uso de CFD, que utiliza apenas recursos computacionais.

Uma simulação em CFD tem como principais componentes a geometria do problema, a propriedade dos fluidos, os modelos de turbulência e, quando se aplicar, de escoamento multifásico, de radiação, químicos, etc., as condições iniciais e as condições de contorno.

O PHOENICS (Parabolic, Hyperbolic or Elliptic Numerical Integration Code Series) é um software desenvolvido pela CHAM (Concentration, Heat & Momentum Limited) na década de 80 para simulação em CFD. O PHOENICS foi desenvolvido em linguagem FORTRAN e isso lhe proporciona grande portabilidade entre sistemas operacionais. O PHOENICS está estruturado em três grandes programas: o pré-processador, o solver e o pós-processador. O pré-processador lê ou gera um tipo de arquivo chamado arquivo Q1. Este arquivo é então executado pelo Solver, que realiza a série de cálculos pertencentes aos modelos determinados e ativados no arquivo Q1. Em seguida, quando atinge o critério de parada, o Solver gera um arquivo RESULT e um arquivo PHI. O arquivo RESULT, também chamado de arquivo RES contém as informações numéricas da simulação e mostra como o SOLVER interpretou o arquivo Q1. O arquivo PHI pode ser lido no pós-processador, que é uma suíte gráfica interativa capaz de representar a geometria desenvolvida no arquivo Q1 com superfícies, vetores, etc. das variáveis resolvidas no Solver. A figura abaixo ilustra esquematicamente o funcionamento do PHOENICS:

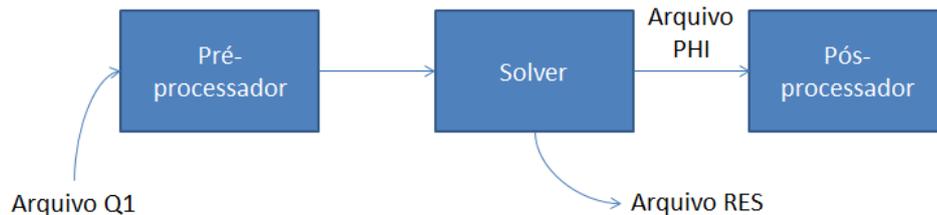


Figura 4 - Funcionamento esquemático do PHOENICS

O resultado de uma simulação CFD não pode e não deve ser assumido como uma perfeita representação da natureza. O primeiro fator de erros é a malha utilizada em um problema, que quanto mais refinada for, mais se aproximará da solução real do problema, mas custará caro quanto ao tempo computacional. Em segundo lugar, as propriedades dos fluidos e outras propriedades são geralmente assumidas constantes, mas isso pode não representar a realidade. Em terceiro, condições de contorno e condições iniciais podem não ser totalmente fiéis à realidade. Por último, os modelos utilizados, sejam eles de turbulência, escoamento multifásico, radiação ou reação química, podem conter parâmetros empíricos ou serem

modelos empíricos ou semiempíricos e por isso podem não representar a natureza com total fidelidade.

As equações resolvidas por CFD seguem a forma geral descrita a seguir (MALISKA, 2004):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial z}\right) + S^\phi$$

Equação 11

A tabela abaixo explica cada termo da equação acima: (MALISKA, 2004)

Tabela 1 - Explicação sobre os termos da Equação 11

| Termo da equação | Significado |
|---|------------------|
| $\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)$ | Termo temporal |
| $\frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi)$ | Termo convectivo |
| $\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial z}\right)$ | Termo difusivo |
| S^ϕ | Termo fonte |

Essa equação pode representar todas as equações de conservação através da modificação dos termos temporal, convectivo, difusivo e fonte e adaptando a variável ϕ para a variável desejada. A próxima tabela demonstra as expressões correspondentes aos termos das equações de conservação clássicas (MALISKA, 2004):

Tabela 2 - Expressões da Equação 11 relacionadas às equações de conservação clássicas

| Equação de conservação | ϕ | Γ^ϕ | S^ϕ |
|------------------------|--------|---------------|---|
| Continuidade | 1 | 0 | 0 |
| Memomento em x | u | μ | $B_x + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}\mu \nabla V\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial v}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu \frac{\partial w}{\partial x}\right) - \frac{\partial P}{\partial x}$ |

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------|---|
| Momento em y | v | μ | $B_y + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu \nabla v \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial y}$ |
| Momento em z | w | μ | $B_z + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu \nabla w \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial P}{\partial z}$ |
| Energia | T | $\frac{k}{C_p}$ | $\frac{1}{C_p} \frac{DP}{Dt} + \frac{\mu}{C_p} \Phi$ |
| Massa de um componente i | C | ρD | 0 |

Como pode ser observado na Tabela 1 acima as equações resolvidas pelo software CFD tem natureza diferencial e o computador não as resolverá neste formato. Ele utiliza técnicas de discretização do volume de controle, ou seja, divide o volume de controle em vários elementos menores e resolve as equações utilizando diferenças ao invés de usar o diferencial. A técnica de discretização mais utilizada é o Método dos Volumes Finitos, mas outras técnicas são possíveis, como o Método das Diferenças Finitas e o Método dos Elementos Finitos. A figura exemplifica uma malha discretizada pelo Método dos Volumes Finitos (MALISKA, 2004):

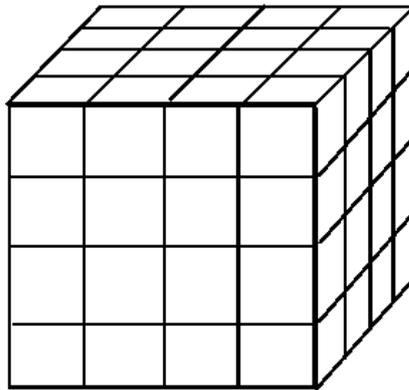


Figura 5 - Exemplo de discretização realizada no Método dos Volumes Finitos

Através da discretização e do uso do teorema da divergência é possível transformar os divergentes em integrais de área com fluxos normais às superfícies, ao invés de calcular integrais de volume, assim como ocorre com outras integrais volumétricas. Para calcular tais integrais, contudo, o Solver necessita de métodos numéricos adequados. Uma boa

aproximação dessas integrações dos valores reais que seriam calculados pela integração analítica é um dos aspectos mais importantes do método.

Para dado elemento discretizado do volume de controle com o Método dos Volumes Finitos, a solução das equações de conservação é calculada com as suas vizinhanças.

Podem-se utilizar elementos, ou células, de tamanho não uniforme no software PHOENICS através dos recursos Power-Law e Progressão Geométrica. A vantagem destas técnicas é ajustar maior número de células nas regiões de maior interesse no problema e deixar as regiões com menor interesse com menos células, a fim de se obter tempos computacionais melhores. É importante, contudo, na criação de malhas não uniformes que os elementos discretizados tenham tamanhos semelhantes às suas vizinhanças, ou seja, devem-se evitar mudanças bruscas do tamanho de célula.

Como já dito, os quatro principais fenômenos resolvidos pelo PHOENICS são turbulência, reações químicas, escoamentos multifásicos e radiação. Neste trabalho, serão relevantes os fenômenos de turbulência e escoamento multifásico. Dentre as várias opções fornecidas pelo PHOENICS, para turbulência foi utilizada a família de modelos k- ϵ e para o escoamento multifásico utilizou-se o IPSA (Inter-Phase Slip Algorithm). Mais informações sobre estes modelos serão descritas adiante.

Teste de malha

Em trabalhos envolvendo CFD é usual, após um modelamento bem sucedido, empregar um teste de convergência da malha, para verificar se o resultado final obtido está sofrendo algum efeito das imprecisões naturais das malhas (MALISKA, 2004). Simulações não são 100% realistas, ou seja, há erros associados a elas, por exemplo, por erros de modelagem, arredondamento, convergência ou discretização (MALISKA, 2004).

Quanto menor o tamanho das células da malha utilizada, mais o resultado se aproximará da realidade, mas maior será o tempo computacional (MALISKA, 2004). Por isso, usualmente roda-se o problema em uma malha esparsa e após obtenção dos resultados, realiza-se o teste de convergência de malha para verificar se os resultados obtidos com a primeira malha são confiáveis. Para isso, dobra-se o número de células e então se compara os resultados com aqueles obtidos com a primeira malha (MALISKA, 2004).

Critérios de convergência

Durante a execução do Solver, o programa exhibe uma tela contendo o status das variáveis e o status do erro. O programa adota o critério de parada como o aquele onde todas as

variáveis atingiram um erro menor que 0,01%. O valor do critério de parada pode ser alterado. A Figura 6 abaixo ilustra uma situação de convergência:

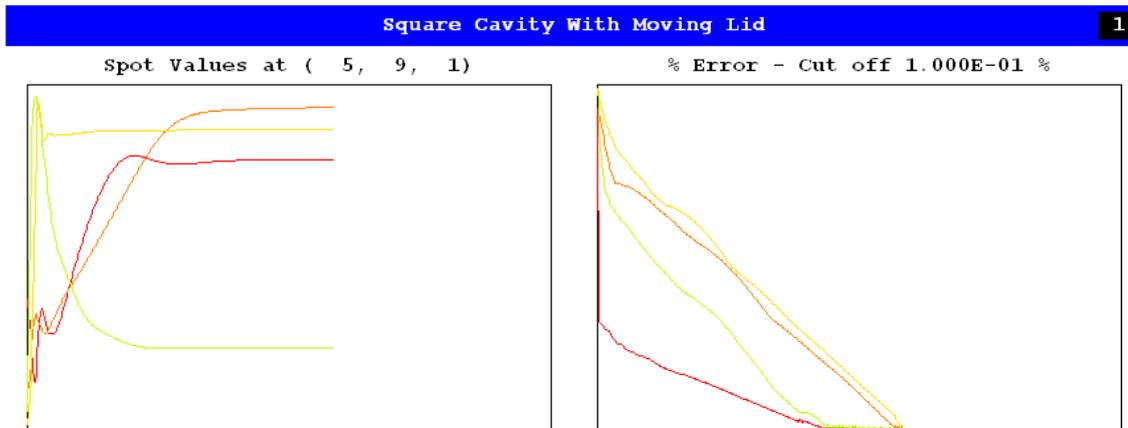


Figura 6 - Tela de execução do Solver com critério de parada atingido (POLIS)

Esta não é, contudo, a única forma de afirmar que houve convergência para as variáveis. Há situações onde os valores das variáveis oscilam e os cálculos não convergem tão rapidamente. Na Figura 7 abaixo, a convergência ocorre mais lentamente e por isso os erros não atingem o critério de parada em tempo hábil.

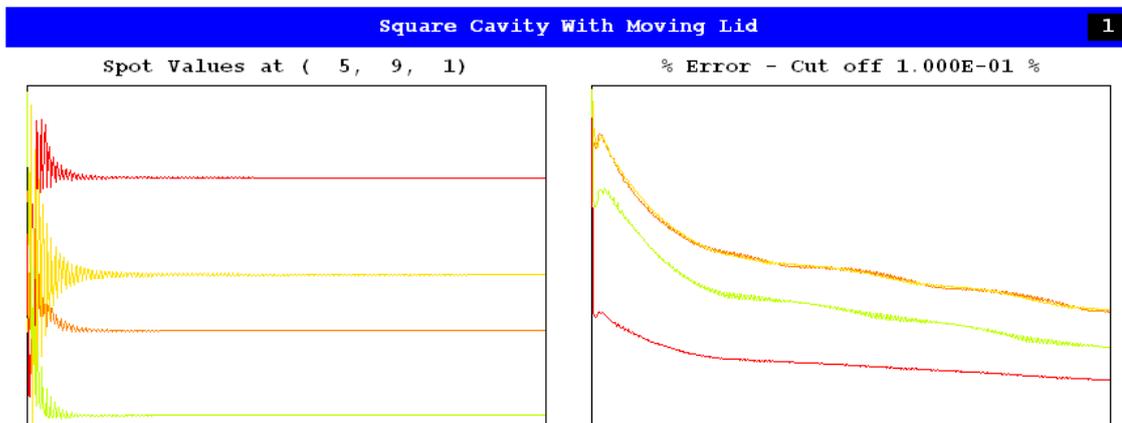


Figura 7 - Tela de execução do Solver onde critério de parada não foi atingido (POLIS)

Há outras situações onde as variáveis e os erros oscilam sem limites. Em tais situações, os resultados do cálculo não possuem valor, como na Figura 8 abaixo:

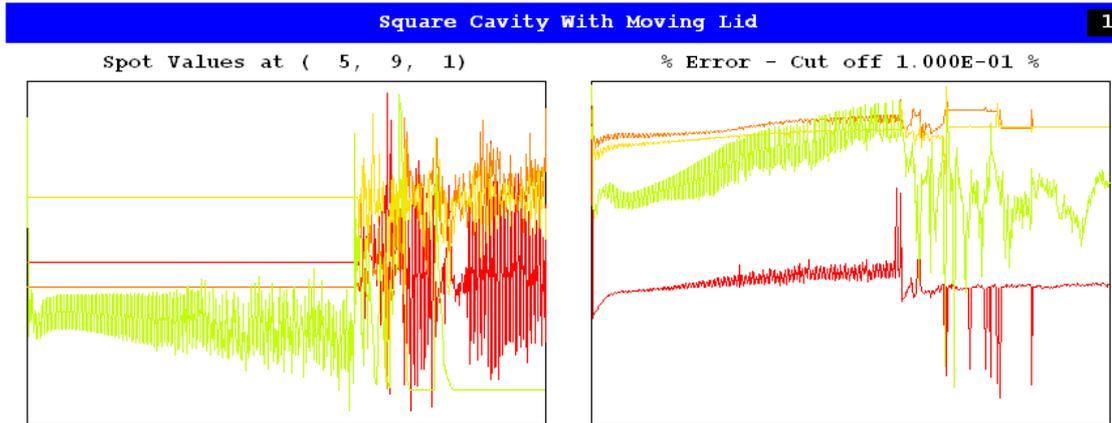


Figura 8 - Tela do Solver com situação de divergência (POLIS)

Para atingir convergência em um problema, algumas técnicas podem ser adotadas: as mais utilizadas é a limitação de variáveis, a reelaboração da malha e adoção de parâmetros de relaxação para as variáveis.

2.4. Modelos de turbulência k-ε

Muitos fenômenos de interesse da engenharia têm comportamento turbulento. Em fenômenos assim, os vetores de velocidade em um ponto estacionário variam em magnitude e direção a cada intervalo muito pequeno de tempo e simular tal variação demandaria muito esforço computacional além de não ser provavelmente o foco principal da simulação (POLIS). Além das variações que ocorrem no tempo, os vetores de velocidade diferem muito entre si em variações infinitesimais de espaço, o que novamente iria requerer mais tempo computacional, já que a malha necessária para interpretar tal comportamento teria que ser muito discriminada (POLIS). O escoamento turbulento pode então ser modelado como se estas variações fossem causadas por populações de redemoinhos de diferentes tamanhos e velocidades diferentes.

Utiliza-se o critério do número de Reynolds para determinar se um fenômeno é ou não turbulento. O número limite para o qual o transporte passará a ser turbulento depende não apenas dos parâmetros do número de Reynolds, mas também da geometria e tipo de escoamento estudado (POLIS). O número de Reynolds em um tubo é dado por:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \quad \text{Equação 12}$$

Onde u é a velocidade média do fluido e D é a longitude característica do fluxo, por exemplo o diâmetro para o fluxo no tubo.

Os modelos de turbulência interpretam tais redemoinhos de turbulência de forma que os efeitos em larga escala são considerados, ou seja, os detalhes do fenômeno não são simulados, mas sim o seu efeito geral, que são chamados de macro efeitos da mistura (POLIS).

O PHOENICS possui uma vasta biblioteca de modelos de turbulência que seguem a abordagem de macro efeitos (POLIS). Os modelos utilizados neste trabalho são modelos da família k-ε, a saber, k-ε e RNG k-ε.

O modelo k-ε

O modelo de turbulência k-ε foi desenvolvido por Harlow e Nakayama (POLIS apud HARLOW & NAKAYAMA, 1968) e é o modelo de turbulência de duas equações diferenciais mais utilizado (POLIS). O modelo foi e continua sendo amplamente testado. O modelo k-ε no PHOENICS é abreviado como KEMODL e contém variáveis empíricas (POLIS).

A forma padrão do modelo k-ε contempla as seguintes equações de transporte:

$$\rho \frac{\partial KE}{\partial t} + \rho \frac{\partial}{\partial x_i} \left[U_i KE - \nu \frac{\partial KE}{\partial x_i} \right] = \rho (A + B - EP) \quad \text{Equação 13}$$

$$\rho \frac{\partial EP}{\partial t} + \rho \frac{\partial}{\partial x_i} \left[U_i EP - \frac{\nu}{1,314} \frac{\partial EP}{\partial x_i} \right] = \rho \frac{EP}{KE} (1,44 A + B - 1,92 EP) \quad \text{Equação 14}$$

Onde A é a taxa de produção volumétrica de KE por tensão de cisalhamento e B é a taxa de produção volumétrica de KE por forças gravitacionais interagindo com gradientes de densidade (POLIS). O parâmetro KE é a energia cinética turbulenta e EP é a taxa de dissipação turbulenta. A grandeza KE é, portanto, uma medida da turbulência local, ou seja, uma medida qualitativa dos efeitos causados pelos redemoinhos de turbulência, estes que por sua vez causam os efeitos em escala infinitesimal da turbulência. A grandeza EP é uma medida da taxa na qual energia cinética turbulenta é convertida em energia térmica e vice-versa, ou seja, representa os pontos no espaço onde a turbulência é gerada (POLIS). Quando o modelo k-ε ou outro modelo derivado da família k-ε está ativado no software PHOENICS, o Solver também resolve e retorna os perfis das variáveis KE e EP no volume de controle.

O modelo k-ε padrão apresenta bom desempenho em escoamentos onde o número de Reynolds é alto (POLIS). Ele apresenta, contudo, uma série de limitações, a saber: compressões, rotações, redemoinhos, fluxos com curva, empuxo, gradientes de pressão adversos, entre outras (POLIS). Entre elas, a mais importante para nosso trabalho é a limitação em descrever adequadamente rotações e outros fenômenos descritos acima típicos para um fluido que passa por um ciclone. Este modelo foi, portanto, utilizado somente para simular os efeitos de turbulência nas simulações envolvendo o lavador Venturi.

O modelo RNG k-ε

Alguns modelos de duas a quatro equações diferenciais variantes do modelo k-ε são no geral apropriados em situações onde ocorra recirculação, efeitos elípticos ou efeitos de rotação. Os modelos de turbulência RNG k-ε e Chen-Kim k-ε são muito superiores ao modelo padrão k-ε em problemas onde ocorram estes fenômenos (POLIS; GUERRA et al., 2012).

Para as simulações envolvendo o equipamento completo da empresa Ecoplas[®] composto pelo lavador Venturi e pelo o ciclone acoplado a ele, é razoável a utilização de outro modelo de turbulência do que aquele utilizado nas simulações com o Venturi. O modelo escolhido foi o RNG k-ε.

O RNG k-ε é um modelo de turbulência de duas equações diferenciais desenvolvido por YAKHOT & ORSZAG (POLIS apud YAKHOT & ORSZAG, 1986) derivado do modelo k-ε baseado nas técnicas RNG (Grupo de renormalização) (POLIS).

RNG são técnicas matemáticas estatísticas que permitem interpretação de sistemas físicos quando estes são vistos em diferentes escalas de distância. A técnica é usada tipicamente nos campos da física quântica, onde as entidades apresentam comportamentos muito distintos quando observadas a distâncias muito curtas. Renormalização é a técnica de representar os componentes de um fenômeno em escalas muito pequenas com parâmetros físicos reais. O procedimento RNG aplicado aos modelos turbulentos emprega um componente que rege as variações que os vetores de velocidade sofrem em escala infinitesimal e tal componente ainda representa os efeitos observados na escala macroscópica (POLIS).

O procedimento RNG de YAKHOT & ORSZAG torna o modelo RNG k-ε adequado a números de Reynolds baixos e altos. Além do fator RNG, o modelo disponível no PHOENICS difere do modelo padrão k-ε em relação a algumas constantes do modelo tradicional que assumem outros valores, e pela equação da taxa de dissipação turbulenta EP ter um termo adicional incluído a ela (POLIS).

2.5. IPSA – Inter-Phase Slip Algorithm

O Inter-Phase Slip Algorithm, IPSA, inicialmente chamado de Inter-Phase Slip Analyser, foi desenvolvido por Brian Spalding (SPALDING, 1977) e emprega equações individuais de momento para cada fase (LI et al., 2002) e uma estratégia de correção de pressão que leva em conta a conservação do volume (PROSPERETTI & TRYGGVASON, 2007).

O IPSA contempla equações de diferenças finitas para fração volumétrica e para a velocidade dos componentes (SPALDING, 1977). O procedimento realiza chutes e correções dos campos de pressão, sendo que os cálculos das correções de pressão ocorrem para as duas equações de continuidade (SPALDING, 1977). O procedimento assume a forma para uma fase caso os termos referentes às concentrações de uma das fases de aproxime de zero (SPALDING, 1977). O algoritmo tem bom desempenho para situações onde a diferença entre as massas específicas é elevada (PROSPERETTI & TRYGGVASON apud DARWISH et al., 2001). O IPSA tem seguinte algoritmo: chute da pressão e solução das equações de momento para fases 1 e 2; resolução das equações de continuidade para as fases; cálculo do erro em cada ponto; obtenção do valor para correção da pressão através de equações específicas; repetição até convergência (SPALDING, 1977).

No PHOENICS, a ativação do modelo IPSA ativa novas opções nos elementos do tipo Inlet e Outlet, além de conter sua própria janela de opções. No Inlet, há a adição de campos independentes de vazão para as fases 1 e 2. A mudança mais crítica ocorre no Outlet, onde o usuário deve então inserir o valor de dois coeficientes: PH 1 e PH 2. Estes parâmetros regulam a área de saída permitida às fases 1 e 2 respectivamente, sendo tais parâmetros proporcionais à massa específica das fases. Exemplificando, caso o fluido 1 tenha massa específica igual a 1000 e o fluido 2 igual a 20, os parâmetros PH 1 e PH 2 devem assumir valores de 1000 e 20 caso deseje-se permitir a saída de ambas as fases. Valores como 500 e 20 implicaria retenção de 50% da fase 1 e nenhuma retenção para a fase 2, enquanto valores como 1000 e 0 implicam em nenhuma retenção para fase 1 e total retenção para fase 2, por exemplo (POLIS).

Na janela de opções própria do modelo IPSA no PHOENICS (“*Settings*”) o usuário pode determinar qual das fases arrasta a outra, além da fração volumétrica mínima necessária à fase que será arrastada para que ela seja de fato arrastada, o tamanho médio das microentidades criadas pelo arraste (bolhas, gotas, etc.) para as quais serão utilizadas as equações 5 a 7, a velocidade relativa mínima permitida às fases, entre outros (POLIS).

O IPSA será usado como modelo multifásico para as simulações envolvendo entrada de ar e entrada de água para lavagem.

3. METODOLOGIA

3.1. Software utilizado

A modelagem em CFD foi desenvolvida utilizando o PHOENICS versão 2010. O software é comercial e estava disponível no laboratório de informática da Escola Politécnica da USP (Universidade de São Paulo).

3.2. Especificações do equipamento e condições de contorno

Utilizaremos, como especificação do equipamento e condições de contorno, os mesmos valores utilizados nos equipamentos fabricados pela empresa Ecoplas®. Os dados contemplam valores de vazões de entrada, diâmetros de entrada e saída, ângulos das seções convergente e divergente para o caso do Venturi, tamanho do Venturi, tamanho da garganta, altura do Ciclone, entre outros. Os dados estão dispostos nas tabelas abaixo:

Tabela 3 - Especificações geométricas dos equipamentos

| Especificações geométricas do lavador Venturi | |
|---|------|
| Diâmetro da entrada do Venturi (mm) | 600 |
| Diâmetro da saída do Venturi (mm) | 600 |
| Diâmetro da garganta (mm) | 430 |
| Comprimento da garganta (mm) | 100 |
| Comprimento da seção convergente (mm) | 150 |
| Comprimento da seção divergente (mm) | 159 |
| Especificações geométricas do separador ciclônico | |
| Diâmetro do corpo do ciclone (mm) | 1750 |
| Diâmetro da saída do ciclone (mm) | 600 |
| Diâmetro do duto central do ciclone (mm) | 900 |
| Altura total do ciclone (mm) | 5500 |
| Altura da seção após o duto central (mm) | 3600 |
| Altura da entrada do tubo do Venturi no ciclone em relação ao centro do tubo (mm) | 900 |

Tabela 4 - Condições de operação do equipamento

| Condições de operação | |
|---|-------|
| Vazão de gases (m ³ /h) | 15000 |
| Vazão de líquido no Venturi (m ³ /h) | 18 |
| Pressão na saída do ciclone (atm) | 1 |
| Perda de carga no equipamento (Pa) | 800 |

As plantas dos projetos podem ser encontradas no item 7.1 do Anexo, Figura 33 e Figura 34, páginas 64 e 65.

Para entrada de água utilizamos as especificações dos bicos injetores que são usados pela empresa (UMICONTROL). As especificações se encontram na tabela abaixo:

Tabela 5 - Especificações dos bicos injetores

| No lavador Venturi | |
|--|---------------------------------------|
| Modelo do bico | UM-6/43 CF |
| Tipo de jato | Cone cheio, 60°, mesma direção do gás |
| Diâmetro (mm) | 28,6 |
| Altura do bico (cm) | 170 |
| No ciclone | |
| Número de bicos injetores | 30 |
| Vazão total de líquido (m ³ /h) | 20 |
| Diâmetro (mm) | 6 |
| Posição em relação à altura do ciclone (m) | 4,075 |

Os bicos injetores no ciclone não possuem um modelo específico.

3.3. Modelagem dos equipamentos e das condições de contorno

Os modelos dos equipamentos que foram utilizados no PHOENICS podem ser encontrados no item 7.2 do Anexo, Figura 35 e Figura 36, página 66.

A modelagem dos bicos injetores foi feita primeiramente supondo que o fluxo era unidirecional e paralelo ao escoamento do gás. Adiante, decidiu-se representar o fluxo de água implementando no Inlet 4 entradas de líquido que geram um jato que forma um ângulo de 60°, pois este modelo se aproxima mais da injeção em cone cheio do bico UM-6/43 CF.

Quanto aos bicos injetores do ciclone, decidiu-se representar no software CFD apenas 4 deles, como forma de estimativa primária quanto ao efeito que tais bicos causam. A direção do jato dos bicos foi considerada unidirecional em 45° em relação a normal. Os bicos estão divididos em dois pares e os pares estão dispostos de forma simétrica em relação ao centro do duto superior do ciclone.

Para modelagem em CFD devem-se especificar no Inlet as velocidades de entrada de determinado fluido. As velocidades foram calculadas da seguinte forma:

Velocidade de entrada de gás

A velocidade do fluido gasoso na entrada do Inlet foi determinada pela seguinte relação:

$$V_G = \frac{4 Q_G}{\pi (\text{diâmetro venturi})^2} = \frac{4}{\pi (0,6)^2} \frac{15000}{3600} = 14,74 \text{ m/s}$$

Velocidade de entrada de líquido no bico injetor do Venturi

A velocidade do líquido na entrada do Inlet foi determinada pela seguinte relação:

$$V_L = \frac{4 Q_L}{\pi (\text{diâmetro bico injetor})^2} = \frac{4}{\pi (0,0286)^2} \frac{18}{3600} = 7,78 \text{ m/s}$$

Modelagem da entrada de líquido no bico injetor do Venturi

Como dito, inicialmente a entrada de líquido foi suposta unidirecional e paralela ao gás. Para tal, a velocidade especificada no Inlet é a calculada acima. Com o modelamento com quatro entradas dispostas em losango, é necessário determinar as componentes do vetor velocidade (cujo módulo vale o valor calculado acima para a velocidade).

Os 4 Inlets foram dispostos dois a dois lado a lado e cada Inlet produzia um fluxo na direção de sua diagonal para fora do bico. Para fins de cálculo, considera-se que o sentido e direção de escoamento do ar são em z positivo. Este sentido e direção não são válidos para todas as simulações, mas em outros sistemas de coordenadas (por exemplo, quando a direção de escoamento de gás for em y positivo) os valores se mantêm iguais, bastando fazer uma mudança de coordenadas. Os valores das componentes do Inlet foram calculados utilizando relações de trigonometria. A demonstração a seguir vale para um Inlet genérico cujo fluxo ocorra em x e y positivos. Para os outros 3 Inlets, basta adaptar o sinal de x e y para corrigir o sentido do fluxo. O cálculo para o Inlet genérico está demonstrado a seguir:

$$V_{LX} = V_L \cos(\theta_{CONE}) \text{ sen}(45) = 2,75 \text{ m/s}$$

$$V_{LY} = V_L \cos(\theta_{CONE}) \cos(45) = 2,75 \text{ m/s}$$

$$V_{LZ} = V_L \text{ sen}(\theta_{CONE}) = 6,74 \text{ m/s}$$

Velocidade de entrada de líquido nos bicos injetores do ciclone

Os Inlets de água dos bicos injetores localizados no ciclone foram modelados seguindo a hipótese de que o jato oriundo de cada um deles é unidirecional a 45° da normal. A vazão de líquido de saída destes bicos injetores é tal que 30 bicos produzem a vazão total de líquido, conforme dados na Tabela 5. O cálculo das componentes de velocidade segue o mesmo método utilizado par ao cálculo das velocidades do bico injetor localizado no lavador. O jato forma um ângulo de 45° com a normal e com o eixo x. Como dito, o escoamento foi modelado em CFD supondo a existência de quatro bicos nessa região, dispostos dois a dois simetricamente em relação ao centro do tubo do ciclone. A velocidade em x para um bico de um par é oposta à velocidade em x para o outro bico do mesmo par. Abaixo os resultados dos cálculos para o bico injetor genérico cujo fluxo seja na direção x positiva:

$$V_L = \frac{4 Q_{LTOTAL}}{\pi (\text{diâmetro bico injetor})^2} = \frac{4}{\pi (0,006)^2} \frac{20}{3600} \frac{1}{30} = 6,55 \text{ m/s}$$

$$V_{LX} = V_L \text{sen}(45) = 4,63 \text{ m/s}$$

$$V_{LY} = 0 \text{ m/s}$$

$$V_{LZ} = V_L \text{cos}(45) = 4,63 \text{ m/s}$$

Resumo

A tabela abaixo resume as grandezas calculadas para as velocidades para a modelagem CFD:

Tabela 6 - Valores das velocidades para modelagem CFD

| Entrada de gás | | | |
|-----------------|----------|----------|-----------|
| $ V_G $ | x | y | z |
| 14,74 m/s | - | - | 14,74 m/s |
| Bico do lavador | | | |
| $ V_L $ | x | y | Z |
| 7,78 m/s | 2,75 m/s | 2,75 m/s | 6,74 m/s |
| Bico do ciclone | | | |
| $ V_L $ | x | y | z |
| 6,55 m/s | 4,63 m/s | - | 4,63 m/s |

Diâmetro médio das gotas

Como mencionado na sessão 2.5, a ativação do modelo bifásico IPSA ativa novos parâmetros no simulador, assim como possui uma janela exclusiva de opções onde se devem inserir parâmetros para o próprio modelo. Um dos parâmetros necessários é uma estimativa do diâmetro médio das gotas. Testou-se na primeira simulação envolvendo o IPSA alguns valores bem distintos para o diâmetro médio e não se verificou resultados muito discrepantes. Contudo, uma verdadeira boa estimativa para o diâmetro médio, aqui chamado de diâmetro médio de Sauter, pode ser feita através da equação 5:

$$d_{32} = \frac{4,22 \times 10^{-2} + 5,77 \times 10^{-3} \left(\frac{1000 Q_L}{Q_G} \right)^{1,922}}{U_r^{0,58}} \quad \text{Equação 5}$$

Os valores das incógnitas acima podem ser obtidos na Tabela 4. Para o valor de U_r , deve-se primeiro estimar a velocidade do gás na garganta e então calcular a velocidade relativa deste gás com o líquido a velocidade de saída do Inlet. A velocidade do gás na garganta pode ser estimada com a equação de continuidade:

$$Q_{G_{INLET}} = Q_{G_{GARGANTA}} \Leftrightarrow \frac{15000}{3600} = \frac{\pi (0,43)^2}{4} V_{G_{GARGANTA}} \Leftrightarrow V_{G_{GARGANTA}} = 28,7 \text{ m/s}$$

O resultado obtido para o diâmetro médio de Sauter é, portanto:

$$d_{32} = \frac{4,22 \times 10^{-2} + 5,77 \times 10^{-3} \left(\frac{1000 \times 0,005}{4,166667} \right)^{1,922}}{(28,7 - 7,78)^{0,58}} = 8 \text{ mm}$$

Na simulação envolvendo bicos injetores no lavador e bicos injetores no ciclone, não é possível inserir tamanhos diferentes para diâmetro médio de Sauter para as gotas formadas no Venturi e as gotas formadas no ciclone. O valor médio acima será usado como universal em tal simulação. É importante, contudo, citar que o diâmetro da gota não desempenha um papel importante no algoritmo do IPSA e por isso não deve influenciar significativamente o resultado.

3.4. Cronograma de simulações

Será realizada uma série de simulações com grau de complexidade crescente. As simulações foram nomeadas da seguinte forma: “simulação preliminar”, “simulação monofásica do lavador Venturi”, “simulação multifásica do lavador Venturi”, “simulação monofásica do lavador Venturi e parte do ciclone (até a metade de sua cota)”, “simulação monofásica do equipamento completo (lavador e o ciclone em sua totalidade)” e, por fim, “simulação multifásica do equipamento completo”.

Conforme o capítulo 2.4 - Modelos de turbulência k- ϵ e o capítulo 2.5 - IPSA – Inter-Phase Slip Algorithm, as simulações envolvendo o lavador Venturi com ar podem ser feitas utilizando o modelo de turbulência k- ϵ (no PHOENICS, KEMODL) e as simulações monofásicas envolvendo o lavador com o ciclone devem ser simuladas utilizando o modelo RNG k- ϵ (no PHOENICS, KERNG). As simulações envolvendo somente um fluido (ar) foram feitas com o modelo padrão de uma fase e as simulações envolvendo água tinham também o modelo bifásico IPSA ativado.

A “simulação preliminar” consiste de um tubo com diâmetro igual ao do início da seção convergente do Venturi que contenha um Inlet concêntrico de água com vazão e diâmetros iguais ao do bico e outro Inlet concêntrico de ar com vazão igual à vazão de entrada do Venturi. A simulação foi modelada em coordenadas cilíndricas e é bidimensional. A finalidade desta simulação é testar e validar parâmetros do modelo IPSA para escoamento multifásico.

A segunda simulação proposta, “simulação monofásica de um lavador Venturi” já contempla o modelo de lavador Venturi utilizado pela Ecoplas[®]. A simulação é tridimensional e em coordenadas cartesianas. O lavador foi simulado apenas com um Inlet com ar seguindo as condições de contorno determinadas pelas especificações de operação contidas na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5. A finalidade desta simulação é preparar a modelagem em termos de parâmetros de modelagem CFD, geometria e malha para a próxima simulação.

A terceira simulação proposta, “simulação multifásica de um lavador Venturi” contempla o fenômeno físico completo que ocorre dentro do lavador de gás, ou seja, contém uma entrada de ar e contém um bico injetor com água, todos seguindo as condições de contorno determinadas pelas especificações de operação. A simulação é tridimensional e em coordenadas cartesianas. Esta simulação gera informação para melhoria do processo.

A quarta simulação proposta, “simulação monofásica do lavador Venturi e parte do ciclone”, conta com o lavador Venturi e parte do ciclone acoplado a ele. A parte do ciclone acoplada corresponde a 1,9m de sua totalidade. O sistema contém uma fase, é tridimensional e em coordenadas cartesianas. O objetivo desta simulação é preparar a modelagem envolvendo o modelo RNG k- ϵ para as próximas simulações, modelo que é muito mais apropriado para escoamentos com rotações típicos em um ciclone.

A quinta simulação proposta, “simulação monofásica do equipamento completo” contém o equipamento completo fabricado pela empresa, ou seja, o lavador Venturi e o separador ciclônico acoplado a ele. Segue as condições de operação da Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, é

tridimensional e em coordenadas cartesianas. Esta simulação também tem o intuito de preparar a modelagem CFD para a última simulação..

A sexta e última simulação proposta, “simulação multifásica do equipamento completo” é a simulação mais completa e representa todos os fenômenos físicos envolvendo duas fases no equipamento completo produzido pela Ecoplas[®]. A simulação é tridimensional, em coordenadas cartesianas e é simulada com os modelos RNG k-ε e IPSA. Esta simulação pode fornecer informações muito importantes sobre o comportamento dos fluidos dentro do equipamento, assim como informações para melhoria do desempenho do processo.

A Tabela 7 abaixo resume as simulações e suas principais características:

Tabela 7 - Resumo das simulações realizadas

| Simulação | Dimensões | Coordenadas | Equipamento | Fases | Modelo |
|-----------|-----------|-------------|------------------------------------|-------|-------------------|
| 1 | 2D | Cilíndricas | Duto cilíndrico | 2 | k-ε / IPSA |
| 2 | 3D | Cartesianas | Lavador Venturi | 1 | k-ε |
| 3 | 3D | Cartesianas | Lavador Venturi | 2 | k-ε / IPSA |
| 4 | 3D | Cartesianas | Lavador Venturi e parte do ciclone | 1 | RNG k-ε |
| 5 | 3D | Cartesianas | Equipamento completo | 1 | RNG k-ε |
| 6 | 3D | Cartesianas | Equipamento completo | 2 | RNG k-ε / IPSA |

3.5. Premissas para modelagem CFD

Além das informações citadas na Tabela 7, deve-se assumir um conjunto de premissas para a modelagem CFD. O conjunto de premissas elaborado vale para todas as simulações feitas e são os seguintes:

- Estado estacionário
- Parede do tubo hidrodinamicamente lisa, ou seja, sem atrito, mas cujo vetor velocidade do fluido próximo a ela tende a zero.
- Força gravitacional constante e igual a 9,81 m/s
- Massa específica do ar constante e igual a 1 kg/m³
- Massa específica da água constante e igual a 1000 kg/m³
- Viscosidade da água constante e igual a 1,5 x 10⁻⁵ ft²/s
- Pressão atmosférica de 101325 Pa

- Não há troca térmica entre os fluidos durante o escoamento

3.6. Variáveis analisadas

Para este trabalho, os seguintes parâmetros foram analisados:

- Influência do bico injetor
- Queda de pressão no lavador Venturi
- Queda de pressão no equipamento completo (lavador Venturi e separador ciclônico)
- Velocidade na garganta do lavador Venturi
- Velocidade na saída do lavador Venturi
- Comportamento do gás na saída do separador ciclônico
- Dispersão da água no lavador
- Dispersão da água no separador ciclônico

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Simulação preliminar

Os resultados da simulação preliminar constam no Anexo, item 7.3.

Dela pode-se aferir que o modelo IPSA representou apropriadamente e de forma satisfatória o escoamento multifásico. Através da Figura 37 verifica-se que o modelo é capaz de representar a queda local de pressão proveniente da entrada do jato de água, onde uma espécie de vácuo causado pela entrada é criada. Através da mesma figura, verificamos comportamento semelhante e oposto no final do duto do escoamento, onde a saída de líquido gera um aumento de pressão nos arredores da saída.

Verifica-se ligeira queda de pressão dentro do tubo, conforme Figura 38.

Por fim, através da Figura 39 pode-se aferir a dispersão de líquido dentro do tubo. Verifica-se que a dispersão é causada principalmente por cisalhamento e esta é bastante sutil. Não se verifica dispersão de líquido causado por arraste, principalmente por causa do escoamento paralelo de líquido e ar. Por causa deste fato decidiu-se implementar nas simulações subsequentes um modelo de bico injetor com quatro saídas dispostas em losango, de forma que o cisalhamento pudesse ocorrer paralelamente com o arraste de líquido.

4.2. Simulação monofásica do lavador Venturi

A segunda simulação consiste de escoamento de ar no lavador Venturi fabricado e uso do modelo padrão de turbulência k- ϵ .

A simulação apresentou convergência para todas as suas variáveis e todos os erros atingiram o critério de parada de 0,01%, conforme pode ser verificado na Figura 9 abaixo. A presença da variável TEM1 é justificada através do método de inserção das propriedades do fluido ar: ao invés de definir manualmente as propriedades do fluido (como massa específica) optou-se por utilizar a biblioteca de componentes que o PHOENICS possui. Foi escolhido o fluido “Ar, tratado como ideal, a 25°C”. Como este fluido da biblioteca contém intrinsecamente um fator de temperatura ligado a ele, é necessário ativar as equações de energia para que o Solver possa interpretar o fluido. Isso não influencia os resultados do cálculo, pois como não há outros fatores de troca de energia no sistema e como o fluido está à mesma temperatura externa, a variável permanece constante durante todo o processo iterativo. Nas simulações seguintes optou-se por não usar fluidos pré-definidos da biblioteca, mas sim definir manualmente as propriedades dos mesmos.

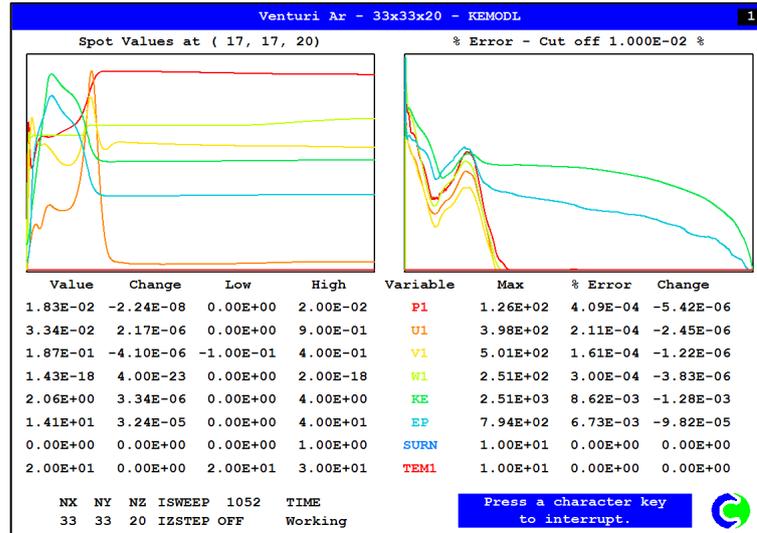


Figura 9 - Tela do Solver para a simulação monofásica do lavador Venturi

Os resultados para pressão e velocidade obtidos nesta simulação podem ser vistos na Figura 10 abaixo:

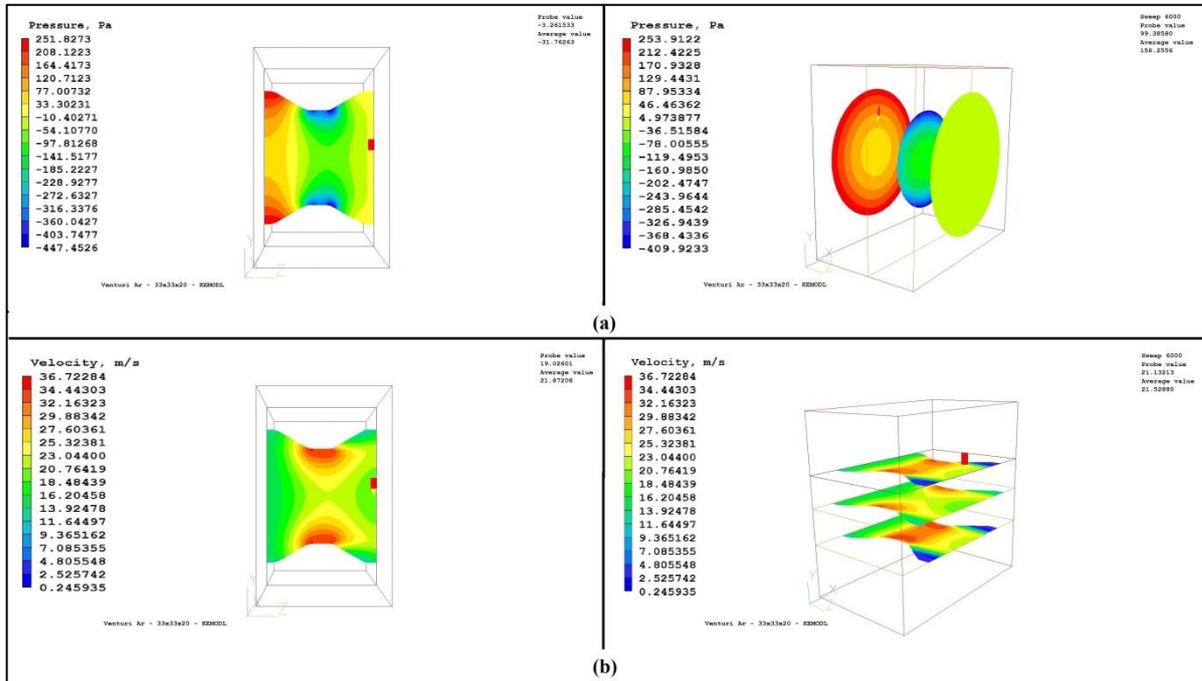


Figura 10 – Simulação monofásica do lavador Venturi, perfis de pressão (a) e velocidade (b)

Observa-se que na entrada do lavador as pressões são no geral maiores nas regiões mais afastadas do centro. Este aumento de pressão é causado pelo impacto do gás de entrada na parede da seção convergente. Analisando o perfil de velocidade no corte latitudinal (figura inferior esquerda) na garganta, observa-se que nas regiões mais afastadas do centro a

velocidade é maior. Este comportamento está associado à pressão maior na periferia do lavador na região convergente, já citada. A velocidade mais elevada na periferia da garganta causa, pelo princípio de Bernoulli, maior queda de pressão na mesma região, como pode ser aferido pelos perfis de pressão. Após a saída da garganta o fluido recupera parte da pressão e acelera. Observa-se que a recuperação de velocidade na seção divergente é maior nas regiões mais próximas do centro. Na região superior e inferior da seção divergente do lavador Venturi, observa-se velocidades reduzidas.

Pode-se estimar a perda de carga média no lavador e a perda de carga média entre a seção convergente e a seção divergente. Para a pressão, considera-se como valor de entrada o valor médio lido na escala do ponto mais próximo do centro. Para a garganta, considerar-se-á também o valor médio lido na escala do ponto central. O ΔP é:

$$\Delta P_{lavador} = P_{entrada} - P_{saída} = \left(\frac{88 + 46}{2} \right) - 0 = 67 - 0 = 67 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{garganta} = P_{entrada} - P_{garganta} = 67 - \left(\frac{-78 - 119}{2} \right) = 67 + 98 = 165 \text{ Pa}$$

Também é possível estimar visualmente a velocidade do fluido do centro da garganta e na região central da saída. Como velocidade na garganta, considera-se a velocidade no centro:

$$V_{G_{garganta}} = 21,5 \text{ m/s}$$

$$V_{G_{saída}} = 19,6 \text{ m/s}$$

4.3. Simulação multifásica do lavador Venturi

A série seguinte de simulações envolve o transporte multifásico que ocorre no lavador projetado pela empresa. Ao final, os resultados obtidos foram comparados com a correlação de Calvert da literatura (Equação 1, seção 2.2).

Na Figura 11 abaixo podemos avaliar a convergência da simulação:

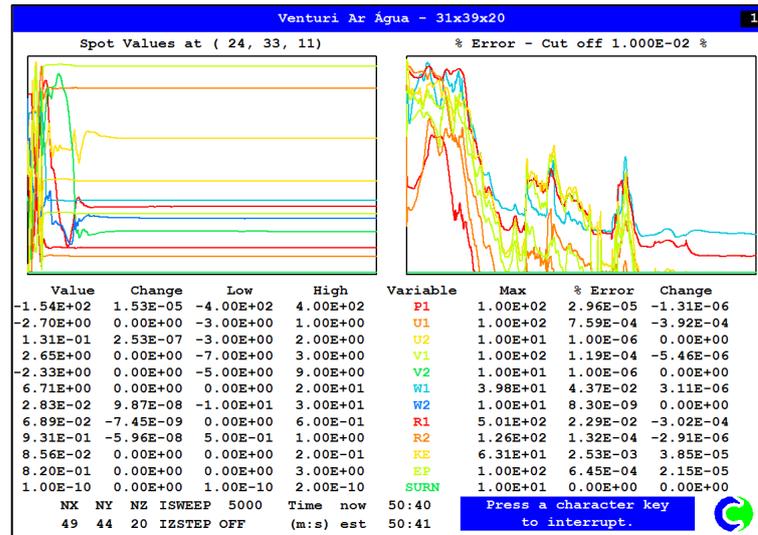


Figura 11 - Tela do Solver para a simulação multifásica do lavador Venturi

A simulação convergiu para a pressão com erro na ordem de 10^{-5} %, Para as variáveis das velocidades, a velocidade no eixo z da fase 1 (água) foi a que apresentou mais dificuldade de convergência e não podemos considerar que ela convergiu totalmente. Seu erro residual, contudo, é baixo e vale aproximadamente 0,04% ao final das iterações, além de se apresentar estável. Todas as outras variáveis referentes às velocidades convergiram. A fração volumétrica da fase 2 (ar) convergiu com erro de 10^{-4} %, mas a convergência total não foi atingida para a fração volumétrica da fase 1 (água). Seu erro, contudo, também se manteve estável e baixo, na ordem de 0,02% ao final do processo iterativo.

Os resultados obtidos na simulação para a pressão podem ser vistos na Figura 12, para velocidade na Figura 13 e para a fração volumétrica de líquido no lavador na Figura 14 abaixo:

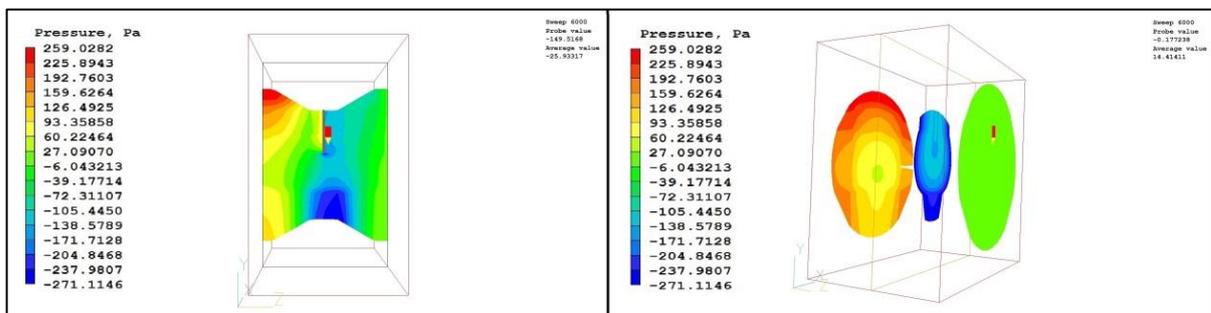


Figura 12 - Simulação multifásica do lavador Venturi, perfil de pressão

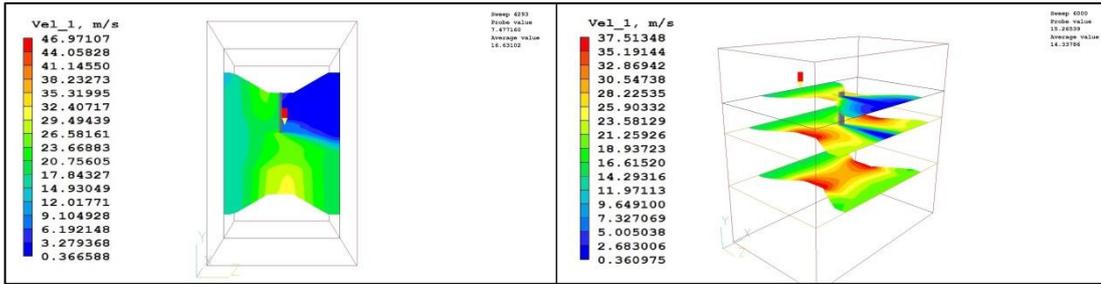


Figura 13 - Simulação multifásica do lavador Venturi, perfil de velocidade

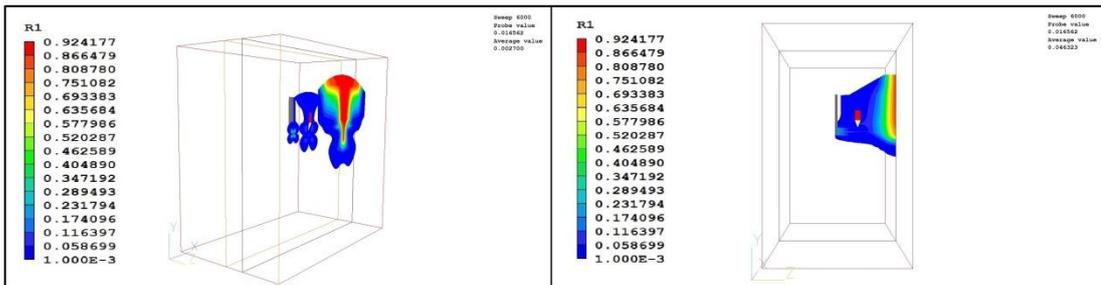


Figura 14 - Simulação multifásica do lavador Venturi, perfil da fração volumétrica de líquido

A pressão do sistema apresenta o mesmo comportamento observado na simulação anterior, ou seja, sofre elevada queda na garganta e é em parte recuperada na saída. Visualmente pode-se estimar a queda de pressão no sistema e na garganta. Os valores considerados para pressão nas seções transversais são iguais aos valores médios lidos na escala no ponto central:

$$\Delta P_{lavador} = P_{entrada} - P_{saída} = \left(\frac{93 + 60}{2} \right) - 0 = 76,5 - 0 = 76,5 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{garganta} = P_{entrada} - P_{garganta} = 76,5 - \left(\frac{-105 - 138}{2} \right) = 76,5 + 121,5 = 198 \text{ Pa}$$

Ou seja, a inserção do bico e a passagem de água aumentam a perda de carga total no lavador Venturi e a perda de carga que ocorre na garganta. Os valores correspondentes ao aumento estão na ordem dos 10 e 30 Pa respectivamente. Analisando ainda o perfil da esquerda da Figura 12, observamos que o impacto da corrente gasosa no bico causa naquela região um leve aumento de pressão (em amarelo). A queda de pressão na garganta na região não ocupada pelo bico é maior, pois a não existência do bico naquela região permite que o gás escoe sem barreiras e isso o permite acelerar, causando pelo princípio de Bernoulli uma queda de pressão naquela região.

A Figura 13 referente aos perfis de velocidade do líquido reforça a análise feita no parágrafo acima. Pode-se observar que na garganta as velocidades na região não ocupada pelo bico são maiores e que tais velocidades crescem conforme os cortes longitudinais se afastam

do bico. A presença do bico influencia bastante o escoamento e as velocidades se aproximam de zero na direção ocupada por ele, conforme pode ser visto na parte esquerda da Figura 13. Assim como fora observado na simulação anterior, na garganta as velocidades são maiores nas regiões periféricas, assim como as pressões também são menores. A parte da direita da Figura 13 e a parte da direita da Figura 12 ilustram bem este fenômeno.

Com a Figura 14 pode-se interpretar o perfil de fração volumétrica. Este fora inserido seguindo o modelo do bico injetor com quatro entradas em losango. Na parte superior, há uma região onde a fração volumétrica de líquido atinge a casa dos 90%, segundo leitura na escala. Esta região de elevação da fração volumétrica, contudo, não contém uma origem clara e por isso é considerada erro de representação do software, possivelmente para fechar algum balanço de massa e pode ter sido originado através da não convergência total desta variável, conforme discutido acima e demonstrado na Figura 11.

Por fim, o resultado obtido para queda de pressão na simulação foi comparado com a equação semiempírica de Calvert da literatura (Equação 1). O valor utilizado para o parâmetro V_{g0} abaixo (velocidade na garganta) foi obtido através da equação de continuidade, como feito anteriormente (seção 3.3):

$$Q_{G_{INLET}} = Q_{G_{GARGANTA}} \Leftrightarrow \frac{15000}{3600} = \frac{\pi (0,43)^2}{4} V_{G_{GARGANTA}} \Leftrightarrow V_{G_{GARGANTA}} = 28,7 \text{ m/s}$$

A equação de Calvert (Equação 1) tem a seguinte forma:

$$\Delta P = -\rho_L V_{g0}^2 \left(\frac{Q_L}{Q_G} \right)$$

O resultado é:

$$\Delta P = -\rho_L V_{g0}^2 \left(\frac{Q_L}{Q_G} \right) = -1000 \times (28,7)^2 \times \left(\frac{18}{15000} \right) = 988 \text{ Pa}$$

O resultado obtido apresenta um desvio de 92% em relação ao resultado obtido através de simulação. Contudo, o desvio é esperado, pois segundo a literatura e mencionado na seção 2.2, esta equação superestima a perda de carga em lavadores industrial, pois tem a hipótese de que o líquido se acelera imediatamente à velocidade do gás na garganta (YUNG et al., 1977, p. 348-349), além de não levar em conta nenhum fator geométrico do lavador.

4.4. Simulação monofásica do lavador Venturi e parte do ciclone

Após as simulações envolvendo o lavador Venturi, simulou-se o lavador com parte do separador ciclônico e uma fase (ar). Através desta simulação, testou-se a aplicação do modelo de turbulência RNG k-ε para a solução de problemas de escoamentos envolvendo rotações.

A Figura 15 representa a tela final do Solver com a qual é possível avaliar a convergência da simulação:

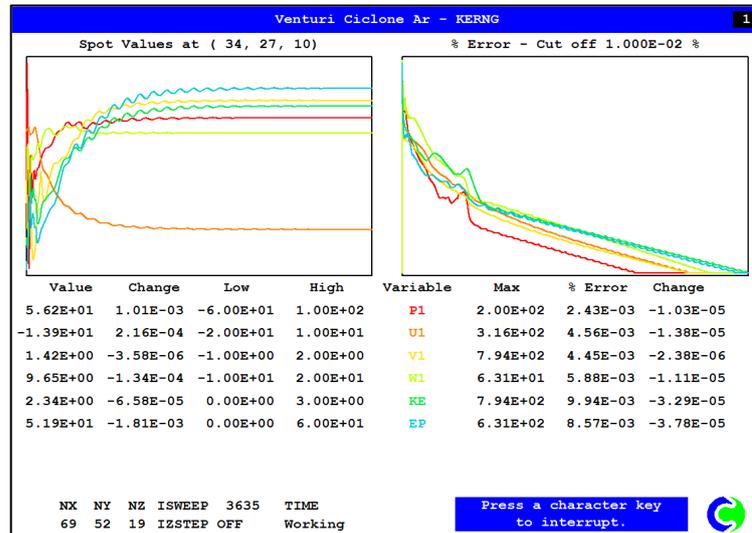


Figura 15 - Tela do Solver para a simulação monofásica do lavador Venturi e parte do ciclone

Pode-se observar que todas as variáveis convergiram e todos os erros residuais atingiram o critério de parada de 0,01%. O valor das variáveis e o erro residual apresentaram leve comportamento oscilatório.

Um dos objetivos desta simulação era verificar se o fluido respeitaria as barreiras impostas pelo equipamento (como por exemplo, o duto central) e também se o fluido desceria em movimento circular após a entrada no ciclone e até sua chegada ao duto central para, então, subir até a saída do separador.

Na simulação, o eixo z representa a normal gravitacional e a direção de escoamento do fluido para fora do ciclone. Se a componente z da velocidade do fluido for positiva ele estará fluindo para cima e se for negativa, para baixo.

Na Figura 16 abaixo estão representadas do lado esquerdo as componentes z positivas e do lado direito as componentes z negativas.

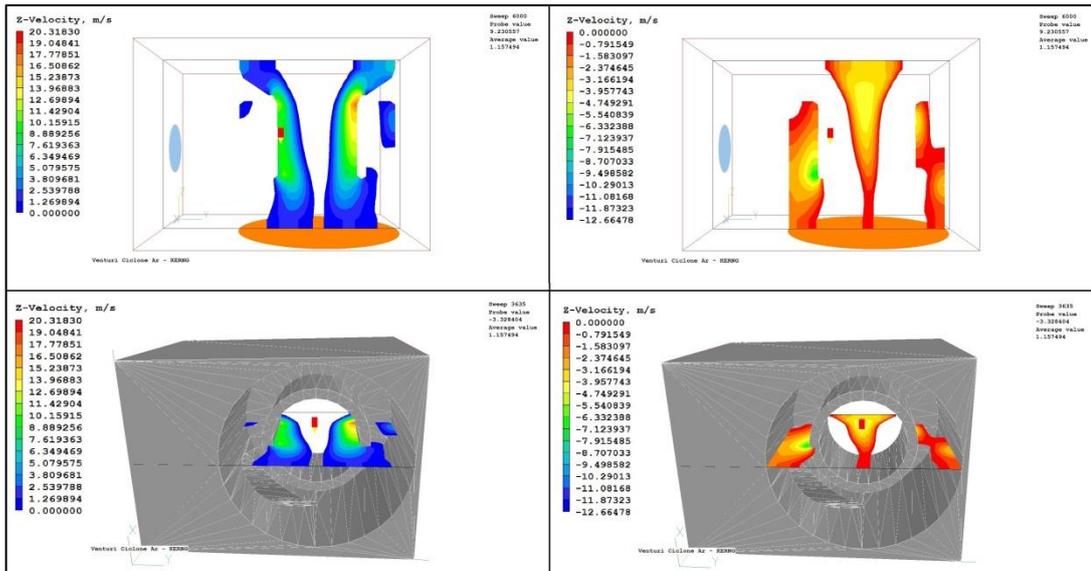


Figura 16 - Simulação monofásica do lavador e parte do ciclone, componentes z

As duas partes inferiores da Figura 16 ilustram tais componentes da velocidade com o equipamento revelado. Nestas figuras pode-se observar o duto central. Para que o escoamento simulado represente com fidelidade a realidade, é esperado que o fluido, após sua entrada no ciclone, desça até a entrada do duto central e então suba por ele para fora do equipamento. A Figura 16 permite que se conclua que tal o comportamento esperado foi simulado: As componentes da esquerda da Figura 16 contêm as velocidades positivas. Pode-se observar que dentro do duto central o fluido tem escoamento ascendente, no sentido de sair dele. As componentes da direita da Figura 16 contêm as velocidades negativas. Pode-se observar que na parte exterior do duto central o fluido faz movimento descendente até que este atinja o duto central.

O perfil da componente z exibido na Figura 16 permite ainda que outra conclusão seja tirada. É possível observar que na parte interna do duto há regiões onde a componente z da velocidade é negativa. Ou seja, ocorre a formação de outro ciclone, que é interior ao ciclone de saída do equipamento (este que por sua vez é formado no duto interno) com direção contrária a ele.

Ademais, é de interesse verificar se o fluido realiza o movimento ciclônico após sua saída do lavador Venturi, ou seja, se o modelo RNG k- ϵ foi capaz de reproduzir tal fenômeno adequadamente. A Figura 17 abaixo permite que seja concluído que tal movimento circular ocorre através da análise da direção dos vetores de velocidade representados na mesma:

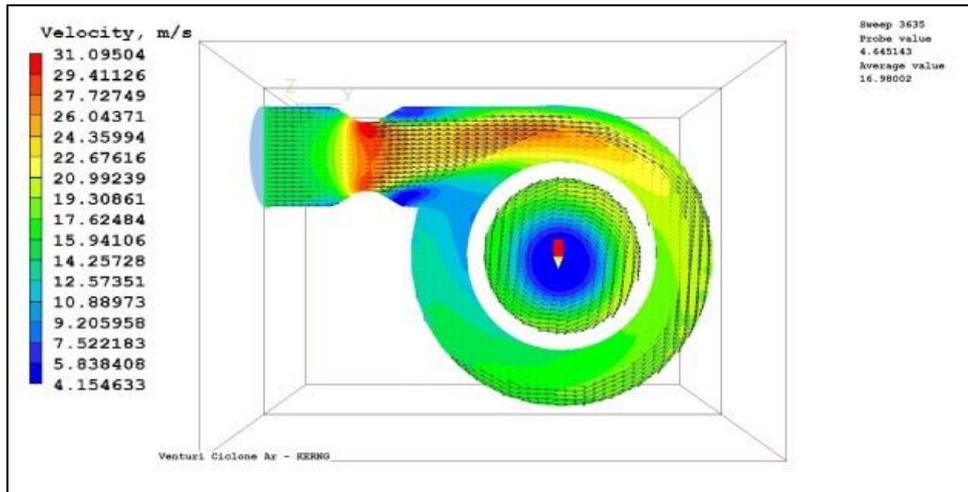


Figura 17 - Simulação monofásica do lavador e parte do ciclone, perfil e vetores de velocidade

Por fim é feita a análise do perfil de pressão no ciclone através da Figura 18:

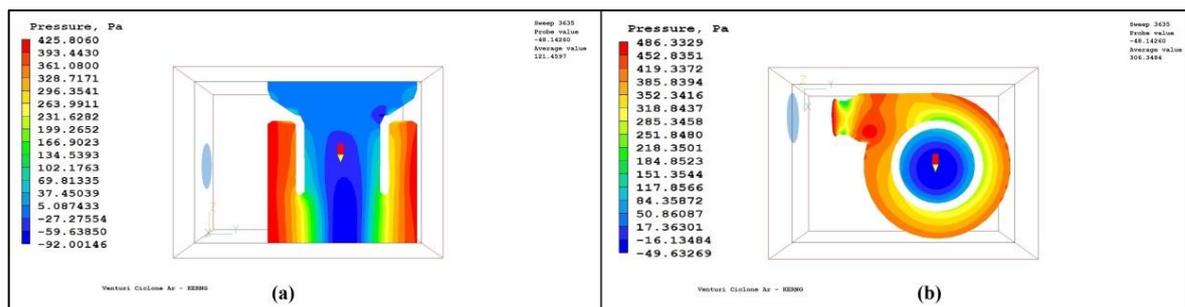


Figura 18 - Simulação monofásica do lavador Venturi e parte do ciclone, perfis de pressão

A escala da figura é tal, que parte do perfil de pressão em parte do lavador não é exibida. Considerando apenas o ciclone e a região de cota igual à cota de saída do lavador Venturi (parte (a) da Figura 18), a região que contém a pressão mais elevada se localiza na diagonal superior direita do perfil, na região da parede do ciclone que recebe o impacto do fluido que vem do lavador Venturi. A análise da figura ainda permite concluir que as pressões no duto externo do ciclone são mais elevadas do que no duto interno.

4.5. Simulação monofásica do equipamento completo

A presente simulação envolve, por fim, o equipamento completo fabricado pela empresa e aborda fenômenos envolvendo uma fase (ar) com o modelo de turbulência RNG k- ϵ . Através dessa simulação, pode-se aferir computacionalmente a perda de carga e, portanto, o custo de operação, do equipamento completo da empresa, assim como outras características

importantes, como pontos de maior e menor pressão e velocidade de escoamento, bem como o entendimento do comportamento do fluido dentro do equipamento.

A Figura 19 abaixo contém a tela final do Solver após a simulação:

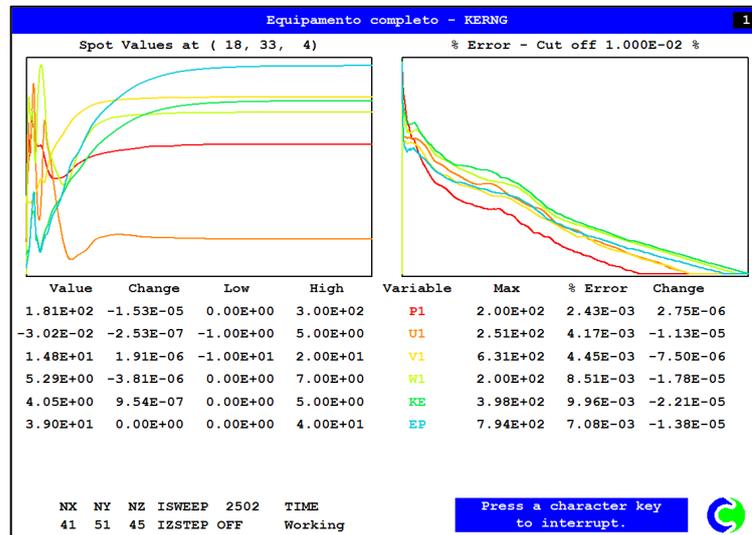


Figura 19 - Tela do Solver para a simulação monofásica do equipamento completo

Observa-se que houve convergência para todas as variáveis e que o Solver parou, pois todas atingiram o critério de parada de 0,01%. A convergência das variáveis no ponto de prova é suave, sem oscilações. Pode-se analisar a pressão dentro do equipamento através das figuras Figura 20 e Figura 21:

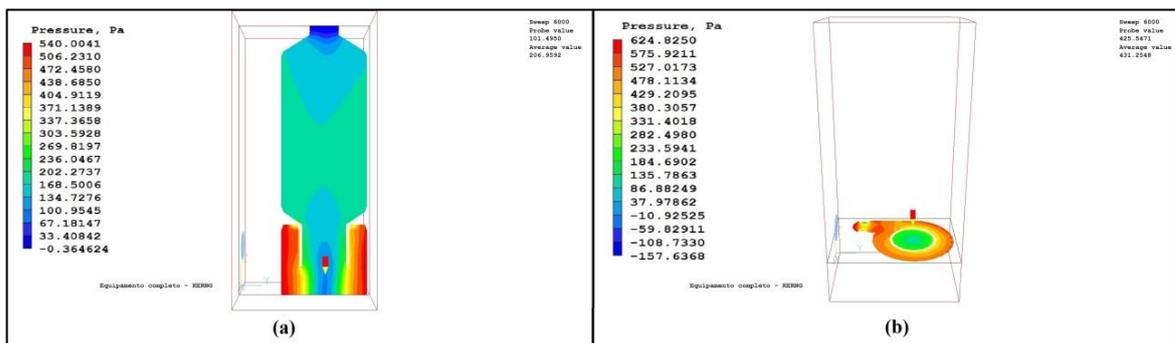


Figura 20 - Simulação monofásica do equipamento completo, perfis de pressão 1



Figura 21 - Simulação monofásica do equipamento completo, pressão com ênfase no lavador

A parte (a) da Figura 20 nos mostra que a queda de pressão na parte superior do duto é bastante moderada. Quanto à parte externa do duto inferior, as partes (a) e (b) da Figura 20 mostram que a pressão em tal região é muito maior do que na região interna do duto central e no duto superior do ciclone. A parte (b) da Figura 20 está na mesma cota da saída do lavador e por isso é possível observar, assim como foi feito no capítulo anterior 4.4, que a pressão é ligeiramente maior na parede do ciclone que recebe o impacto do gás de saída do lavador Venturi. Por fim, assim como fora feito no capítulo 4.4, observamos que no duto inferior externo a pressão é maior quanto maior o raio.

A Figura 21 contém um corte transversal ao lavador Venturi e nesta figura podemos verificar o perfil de pressão no lavador, assim como a pressão de entrada. Adotando como valor de entrada o valor médio da escala, cuja cor é representada na entrada, e assumindo que a pressão de saída do ciclone é a pressão ambiente (conforme fora definido como condição de contorno no arquivo Q1 e conforme pode ser visto na parte (a) da Figura 20), é possível estimar a perda de carga no equipamento completo da empresa:

$$\Delta P_{\text{equipamento}} = P_{\text{entrada}} - P_{\text{saída}} = \left(\frac{674,3 + 646,6}{2} \right) - 0 = 660,4 - 0 = 660,4 \text{ Pa}$$

As próximas figuras, Figura 22 e Figura 23, permitem a análise das velocidades dentro do equipamento:

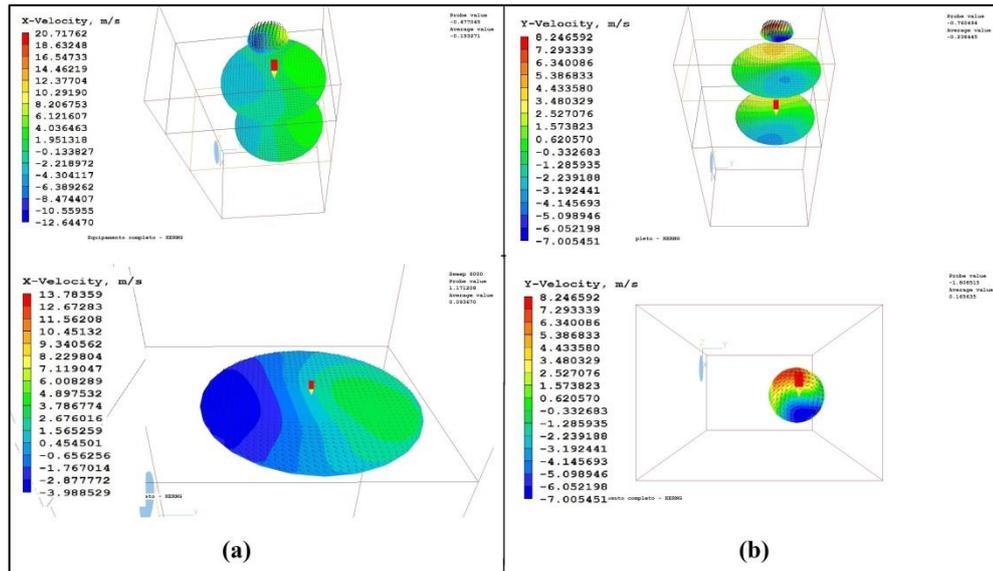


Figura 22 - Simulação monofásica do equipamento completo, velocidade em x (a) e y (b)

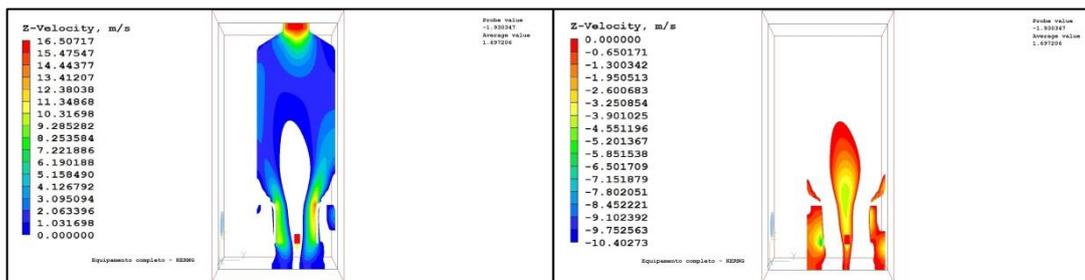


Figura 23 - Simulação monofásica do equipamento completo, componente z da velocidade

As partes superiores da Figura 22 contêm um corte transversal em diversas cotas na região do duto superior e representação as velocidades das componentes x e y. Através de sua análise, conclui-se que o ar continua em movimento ciclônico após sair do duto inferior. Através da escala é possível estimar visualmente a velocidade de rotação. A velocidade de rotação é aproximadamente de 3 a 5 m/s. A análise conjunta destas com a parte inferior de (b) da Figura 22 permite a conclusão de que o ar mantém o movimento ciclônico durante toda sua passagem pelo duto superior e sai do equipamento ainda em movimento circular..

A Figura 23 representa os intervalos positivo e negativo da componente z da velocidade. A análise desta figura permite novamente a verificação de que o fluido está seguindo corretamente a geometria de escoamento, ou seja, descendo pelo duto inferior externo, entrando no duto inferior interno e fluindo em movimento ascendente através deste e do duto superior. Assim como fora observado no capítulo anterior, ocorre a formação de um ciclone

interior ao ciclone do duto interno, que flui em direção contrária a ele. Nesta simulação, contudo, é possível observar onde o ciclone interior começa e termina.

A velocidade ascendente média do gás no duto superior do separador ciclônico é da ordem de 2 a 3 m/s, conforme estimativa visual. Ou seja, observa-se que no duto superior o gás ascende e realiza movimento circular quase às mesmas velocidades.

Por fim, a análise do perfil de KE segue abaixo:



Figura 24 - Simulação monofásica do equipamento completo, perfil de KE

A figura mostra os locais onde a energia cinética turbulenta é maior, ou seja, os locais de maior ocorrência dos turbilhões. Verificamos que a intensidade de turbulência do sistema é maior no duto interno inferior. A região apontada como de maior KE coincide com as regiões onde o ciclone ascendente encontra o ciclone interior que se forma dentro deste.

4.6. Simulação multifásica do equipamento completo

O último conjunto de simulações envolve o escoamento multifásico que ocorre dentro do equipamento completo da empresa. Além do bico injetor presente no lavador Venturi, optou-se por inserir quatro dos trinta bicos injetores presentes no duto superior do separador ciclônico. Foi relativamente difícil obter convergência satisfatória para esta simulação.

A maior dificuldade nesta simulação é a refinadíssima malha que ela exige para que o programa detecte a presença das múltiplas saídas dos bicos injetores e detecte o duto inferior interno, que possui uma parede bem fina. Essa maior discretização da malha implica, contudo, em células muito pequenas em certas regiões e maiores em outras (para não prejudicar muito

o tempo computacional) e nestes casos há maior dificuldade em fazer com que a pressão convirja.

Abaixo, na Figura 25 pode ser encontrado um memorial dos resultados obtidos do Solver para as várias tentativas de se obter convergência para esta simulação utilizando diversos parâmetros diferentes de relaxamento de variáveis.

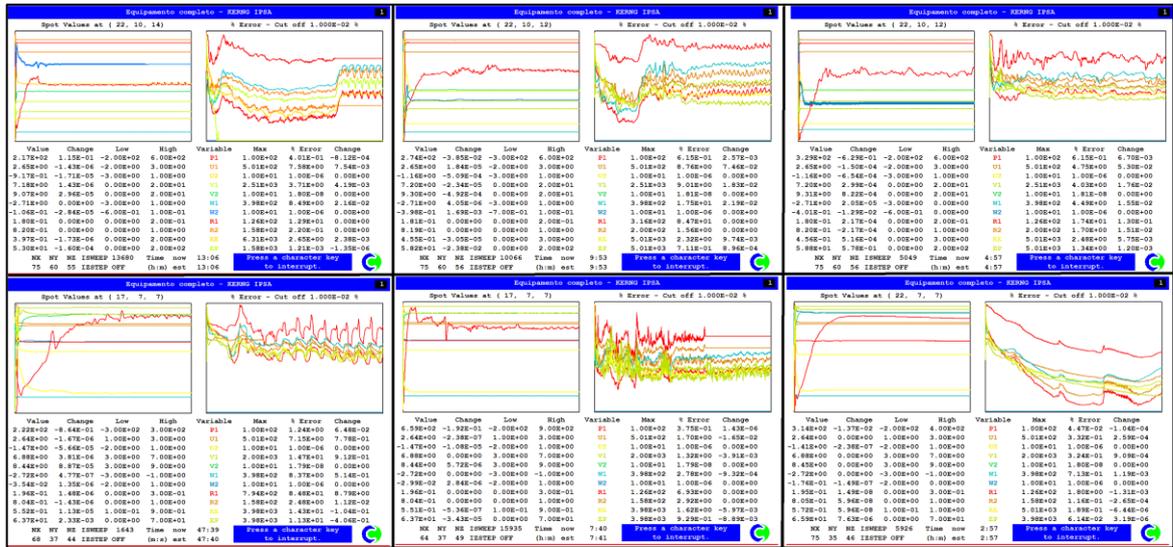


Figura 25 - Memorial de resultados obtidos do Solver para última simulação

Nas tentativas iniciais, observa-se que a variável pressão oscila bastante, e assim também se comportam os erros residuais para quase todas as variáveis, sem exceção. O último quadro da montagem acima mostra, contudo, a obtenção de um comportamento mais suavizado para a pressão, seguido de erros mais lineares e, durante boa parte do processo iterativo, decrescentes. Ao final do mesmo, contudo, os erros começaram novamente a aumentar.

Uma modelagem melhorada desta última tentativa pode ser vista na figura abaixo:

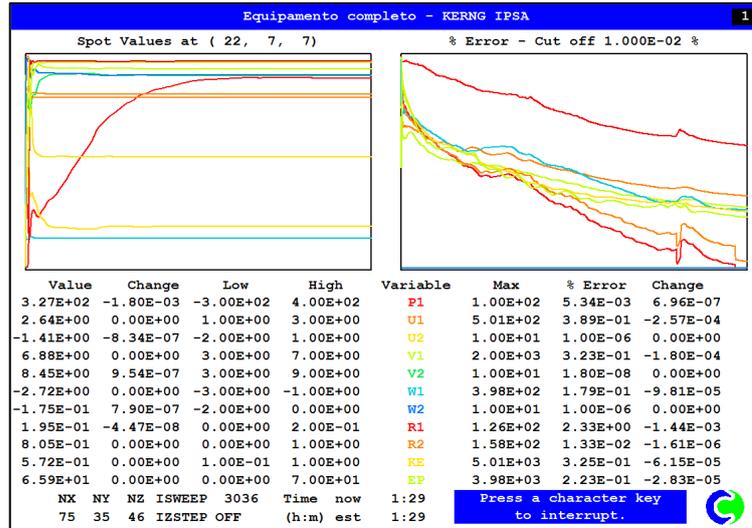


Figura 26 - Resultado do Solver para a última simulação

O erro residual mais importante, o da pressão, está na casa dos 0,001%. Os erros residuais para a velocidade da fase 2 (ar) estão na ordem de 10^{-6} % a 10^{-8} %. Os erros relativos às variáveis da fase 1 (água) estão na ordem de 0,1% e podem ser considerados bons, já que os valores absolutos de tais variáveis são muito baixos.

Após atingir a convergência do sistema, analisaram-se os perfis de pressão, velocidade e fração volumétrica de líquido.

A Figura 27 contém duas representações para o perfil de pressão.

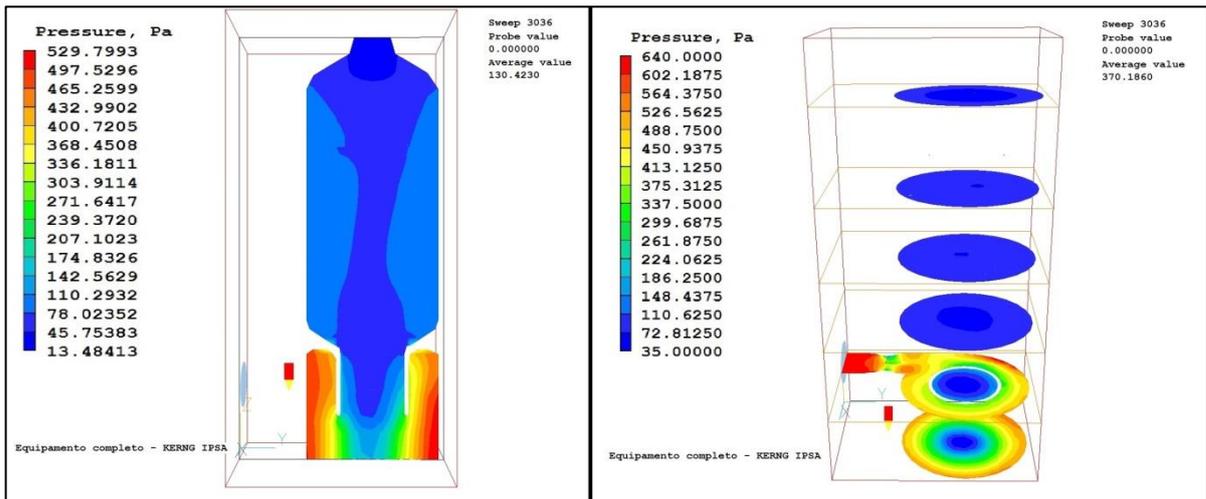


Figura 27 - Simulação multifásica com equipamento completo, perfil de pressão

O comportamento da pressão observado é bastante similar àquele observado na simulação monofásica envolvendo o equipamento completo, conforme Figura 20 e Figura 21. Observa-

se na representação com múltiplos cortes o pico de pressão na região da parede do ciclone que recebe o impacto do fluido que vem do lavador Venturi, conforme fora observado na simulação monofásica envolvendo parte do ciclone e na simulação envolvendo o equipamento completo e ar. Observa-se que a pressão é maior na periferia do corte e que a pressão no duto inferior interno é menor do que a pressão no duto externo. A queda de pressão observada no duto superior é modesta. A pressão na entrada do lavador Venturi é aproximadamente igual à pressão lida na simulação anterior (item 4.5) e está na faixa de 600 a 650 Pa. Pode-se concluir que a presença de líquido no sistema não afeta substancialmente a queda de pressão total do sistema. Para maiores conclusões deve-se, contudo, simular os 30 bicos injetores da parte superior do ciclone e observar a resposta da queda de pressão total do sistema.

A análise dos perfis de velocidade do sistema inicia-se com a Figura 28:

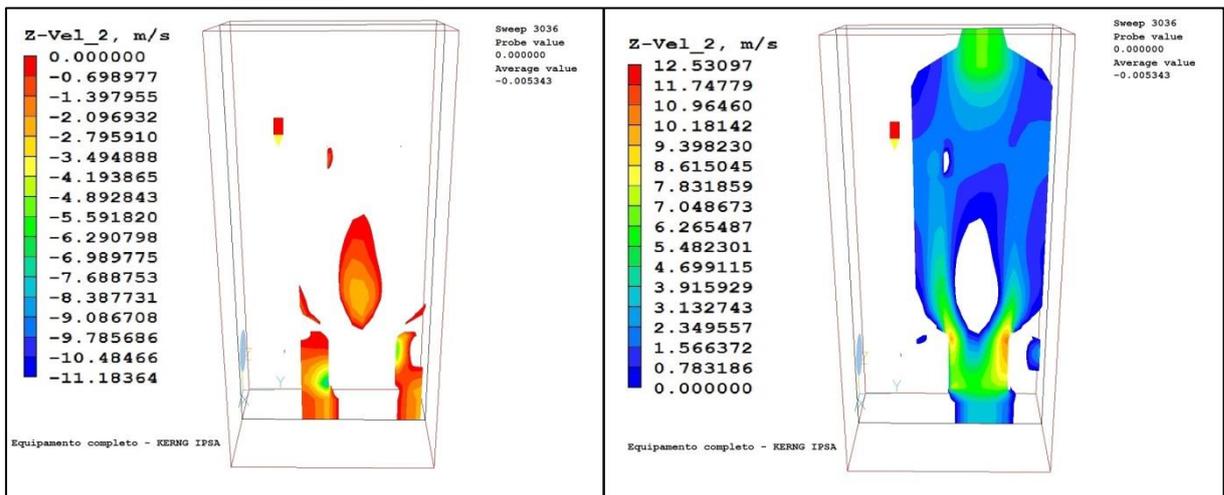


Figura 28 - Simulação multifásica do equipamento completo, velocidades no eixo z

O comportamento observado é semelhante àqueles que foram observados anteriormente na sessão 4.4 e 4.5. Observa-se que o fluido faz movimento descendente ao entrar no ciclone até sua chegada ao duto inferior interno, onde o fluido passa a ter movimento ascendente em direção à saída do sistema. Observa-se novamente a formação do ciclone interior ao ciclone ascendente, como fora observado nas sessões anteriores. A altura do ciclone interior nesta simulação é, contudo, menor do que a dos outros observados. A explicação é o atrito interno que ocorre entre líquido e gás, o que acaba freando o gás e fazendo com que o ciclone interior seja menor.

Na Figura 29 na próxima página, os vetores de velocidade e o perfil de velocidade em três regiões de cotas distintas de escoamento estão representados. Os vetores de velocidade em (a)

representam as altas velocidades de escoamento presentes na cota de saída do lavador Venturi. Nesta figura ainda é possível a verificação dos vetores de velocidade e conclui-se que os fluidos apresentam movimento circular no ciclone. Em (b) é possível verificar o perfil de velocidade em uma cota mais elevada, já na região do duto superior do separador ciclônico. Da mesma forma que fora observado na simulação monofásica do equipamento completo, observam-se velocidades mais amenas nesta região e movimento circular ascendente. Por fim, em (c), pode-se verificar o perfil de velocidade com vetores na cota relativa à saída do equipamento e novamente conclui-se, assim como fora concluído na simulação monofásica, que o gás deixa o equipamento em movimento circular.

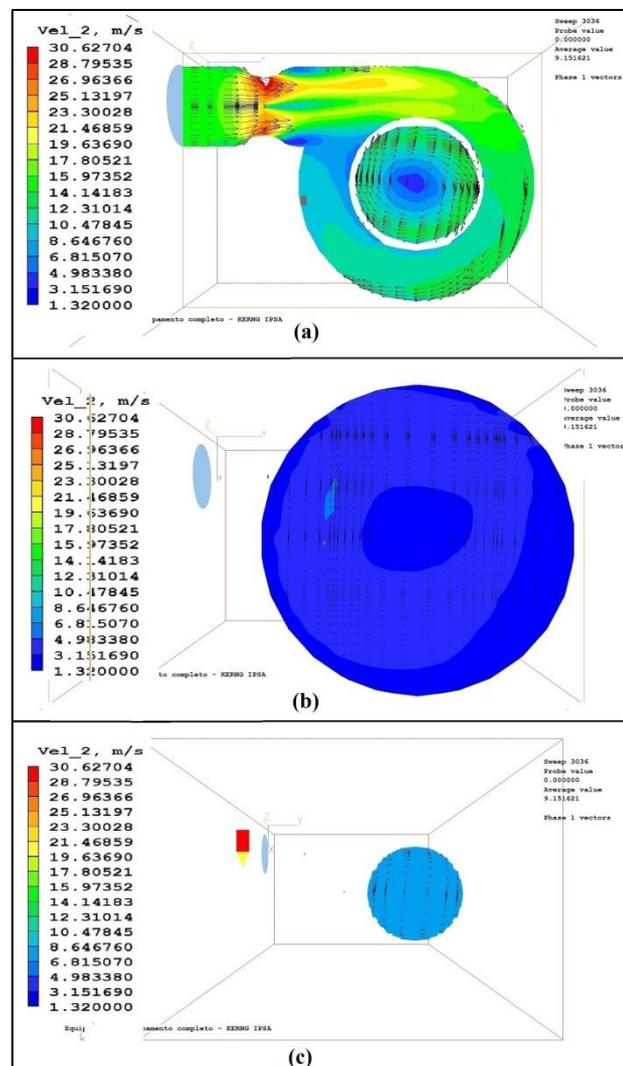


Figura 29 - Simulação multifásica do equipamento completo, vetores da velocidade

Abaixo na Figura 30 pode ser visto o perfil de fração volumétrica do líquido no equipamento da empresa em vários cortes transversais de diferentes cotas. A escala dos cortes foi ajustada para representar valores de fração volumétrica no intervalo de 0,001 a 0,028.

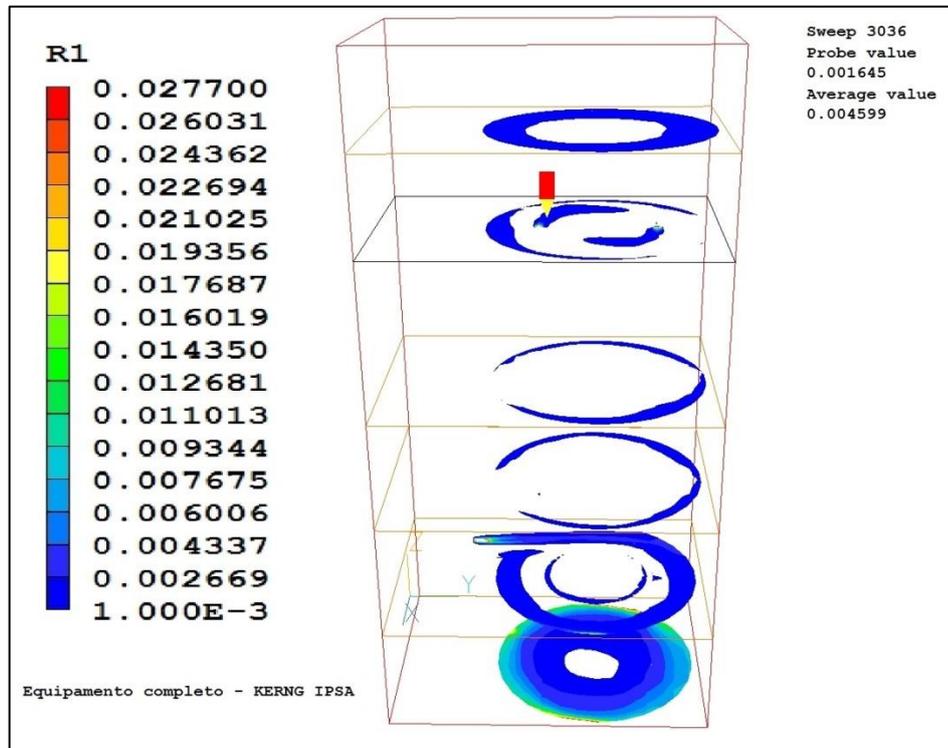


Figura 30 - Simulação multifásica do equipamento completo, perfil de fração volumétrica

O corte de menor cota representa a região do lavador onde ocorre a maior fração volumétrica de líquido, ou seja, a região onde o líquido se acumula. Nas bordas desta região verificam-se as maiores frações volumétricas de líquido, possuindo valores ao redor de 0,01. A representação desta região na simulação está de acordo com o que acontece na realidade. No separador da empresa ocorre acúmulo de água nesta região e a mesma é bombeada para fora do equipamento. Do ponto de vista físico, espera-se que o impacto da mistura de ar e gotículas na parede do ciclone, que ocorre após a entrada da mistura no ciclone e também durante a rotação, separe a fase líquida da fase gasosa e espera-se que esta acumule no fundo do equipamento.

No corte de cota diretamente acima da cota mais baixa podemos observar a região de entrada de líquido através do bico injetor do lavador Venturi e seu escoamento em direção ao ciclone. Nesta cota, observa-se maior fração volumétrica de líquido na entrada do bico injetor (sendo esta fração uma das maiores representadas na figura), conforme esperado. Observa-se também a tendência do líquido de se concentrar mais nas regiões periféricas do duto, graças à

presença do campo de forças centrífugo oriundo das características de escoamento. O mesmo comportamento é observado para o líquido que flui ascendentemente pelo duto interno, conforme pode ser visto no centro do corte, na região já ocupada pelo duto central. Pode-se concluir que parte do líquido oriundo do bico injetor do lavador Venturi é carregada ascendentemente em direção ao duto superior do ciclone e por fim à saída. Os dois cortes seguintes (terceiro e quarto cortes) apresentam o mesmo comportamento do líquido descrito anteriormente, com o campo de força centrífugo.

O corte seguinte (quinto corte) permite boa verificação dos efeitos dos bicos injetores superiores, já que este corte está a uma cota próxima à cota deles. Observa-se neste corte maior fração volumétrica de líquido na região periférica e pode-se afirmar que tal aumento de fração volumétrica é oriundo da saída de líquido através de tais bicos. Na região central deste corte pode-se observar que o perfil de fração volumétrica segue um formato circular. Pela Figura 29, que representa a rotação do ar que ocorre no duto superior, conclui-se que tal perfil circular da fração volumétrica segue a mesma direção do movimento de rotação apresentado pelo gás nessa região (conforme simulação monofásica do equipamento completo), o que permite a conclusão que nesta região o líquido está sendo carregado pelo gás.

Por fim, o último corte apresenta em sua periferia frações volumétricas de líquido maior e mais esparsa do que aquelas observadas nos outros cortes no duto superior. Este aumento na fração volumétrica de líquido é originado dos bicos injetores superiores e do carregamento do líquido pelo ar, que causa este acúmulo.

Em último lugar, pode-se analisar a dispersão de líquido dentro do equipamento. A Figura 31 contém um perfil de fração volumétrica do líquido em escala modificada:

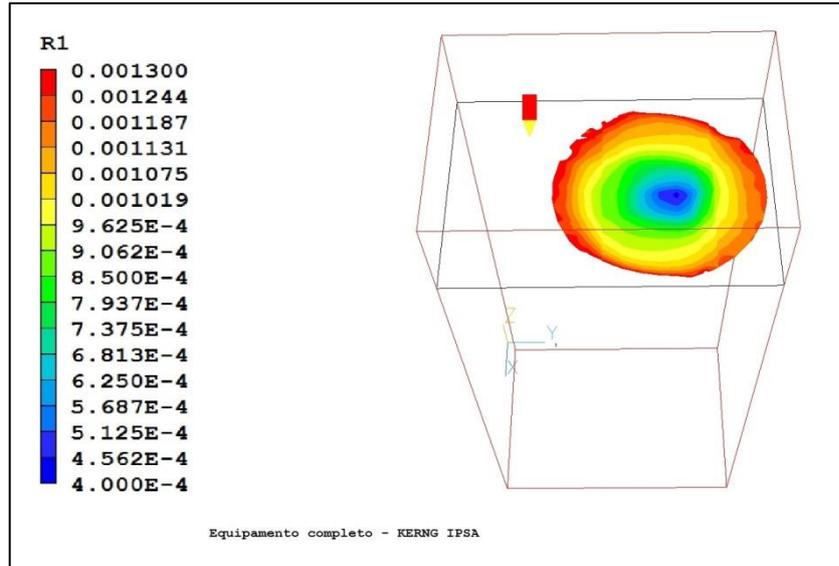


Figura 31 - Simulação multifásica do equipamento completo, perfil de fração volumétrica

A análise da figura acima permite concluir que a fração volumétrica do líquido dentro do separador ciclônico não é uniforme. Essa conclusão está de acordo com as hipóteses geralmente adotadas para estes tipos de lavadores. A Figura 32 abaixo representa os mesmos cortes da Figura 30, mas na mesma escala da Figura 31. Nesta figura é possível verificar a dispersão não uniforme de líquido em diversas cotas do equipamento:

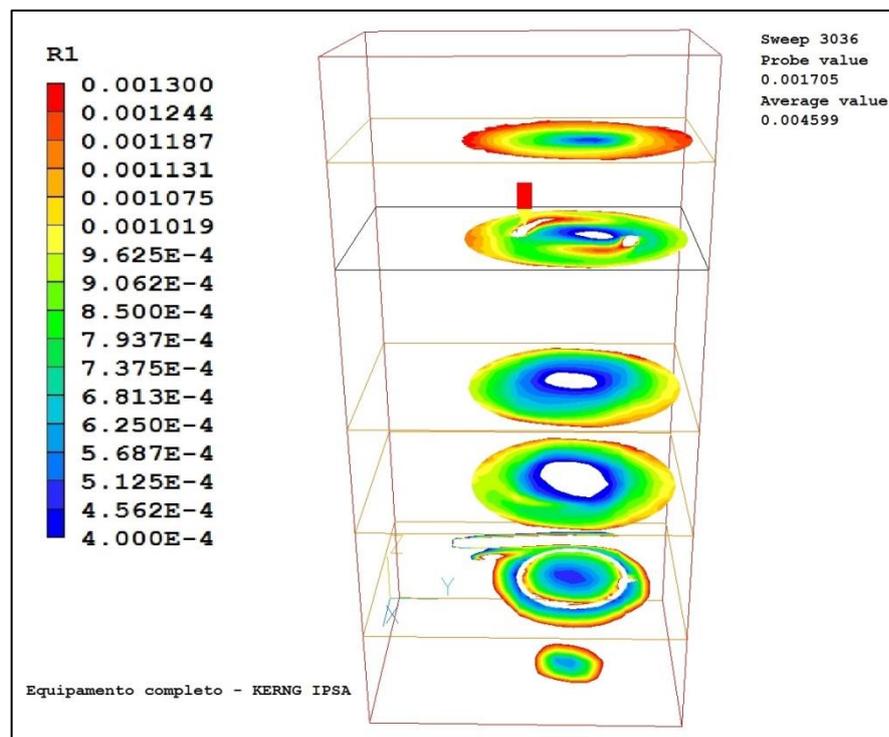


Figura 32 - Simulação multifásica do equipamento completo, fração volumétrica, escala 2

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões

Com o desenvolvimento deste trabalho, pode-se verificar a modelagem de fenômenos envolvendo escoamento multifásico com uso de CFD através do modelo IPSA. Verificou-se o desempenho do modelo de turbulência RNG $k-\varepsilon$ e concluiu-se que este desempenhou de forma bastante satisfatória o escoamento ciclônico.

Considerando as simulações envolvendo somente o lavador Venturi, concluiu-se que o escoamento no interior do lavador é afetado pela presença do bico injetor.

Considerando as simulações envolvendo o equipamento completo, concluiu-se que existe recirculação interna muito forte que afeta a distribuição da fase dispersa no interior do lavador. Concluiu-se também que a perda de carga no equipamento calculada por CFD é muito próxima da fornecida pelo fabricante. A modelagem computacional indicou uma perda de carga por volta de 640 Pa, enquanto o fabricante forneceu como valor da mesma 800 Pa.

5.2. Recomendações

Recomenda-se o ajuste das condições de entrada e saída. Por exemplo, no caso da alimentação deve-se utilizar uma modelagem mais precisa do bico injetor, já que a modelagem adotada de um bico com quatro saídas formando um losango não representa fielmente a realidade, que é um jato em formato de cone cheio. Deve-se também ajustar a saída da água através de um *outlet* na parte inferior do equipamento.

Recomenda-se teste de malha para as simulações finais, a fim de verificar-se se a malha presente está influenciando os resultados.

Por fim, recomenda-se o uso de um modelo multifásico mais sofisticado para simulação do escoamento. Pode-se adotar também uma abordagem lagrangeana para estudo do comportamento da fase dispersa dentro do equipamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMADVAND, F.; TALAIE, M.R., *CFD modeling of droplet dispersion in a Venturi scrubber*, Chemical Engineering Journal 160, Isfahan, Iran, 2010, 9p
- ALI, M.; YAN, C.; SUN, Z.; GU, H.; MEHBOOB, K., *Dust particle removal efficiency of a venture scrubber*, Annals of Nuclear Energy 54, Harbin, China, 2012, 6p
- ALONSO, D.F.; GONÇALVES, J.A.S.; AZZOPARDI, B.J.; COURY, J.R., *Drop size measurements in Venturi scrubbers*, Chemical Engineering Science 56, 2001, 11p
- ANANTHANARAYANAN, N.V.; VISWANATHAN, S., *Estimating Maximum Removal Efficiency in Venturi Scrubbers*, Environmental and Energy Engineering, Singapore, 1998, 12p
- CALVERT, S.; LUNDGREN, D.; MEHTA, S., *Venturi Scrubber Performance*, Journal of the Air Pollution Control Association, California, 1972, 4p
- COSTA, M.A.M.; HENRIQUE, P.R.; GONÇALVES, J.A.S.; COURY, J.R., *Droplet size in a rectangular Venturi Scrubber*, Brazilian Journal of Chemical Engineering, São Carlos, 2004, 9p
- FATHIKALAJAHL, J.; TALAIE, M.R.; TAHERI, M., *Theoretical Study of Liquid Droplet Dispersion in a Venturi Scrubber*, Journal of the Air & Waste Management Association, Iran, 1995, 5p
- GAMISANS, X.; SARRÀ, M.; LAFUENTE, F.J.; *Gas pollutants removal in a single- and two-stage ejector-venturi scrubber*, Journal of Hazardous Materials, Barcelona, 2001, 16p
- GUERRA, V.G.; BÉTTEGA, R.; GONÇALVES, J. A. S.; COURY, J. R., *Pressure Drop and Liquid Distribution in a Venturi Scrubber: Experimental Data and CFD Simulation*, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012, 12p
- JONES, W.P., *Development of the Venturi Scrubber*, New York, 1949, 4p
- LI, G.; FRANKEL, S.H.; BRAUN, J.E.; GROLL, E.A., *Application of CFD Models to two-phase flow in refrigerant distributors*, 2002, 10p

- MAJID, A.; CHANGQI, Y.; ZHONGNING, S.; JIANJUN, W.; HAIFENG, G., *CFD simulation of dust particle removal efficiency of a venture scrubber in CFX*, Nuclear Engineering and Design, Harbin, 2012, 9p
- MALISKA, C.R., *Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional*. Segunda Edição. Rio de Janeiro. LTC Editora. 2004.
- MORELAND, J.; WU, B.; ZHOU, C.Q., *Venturi Scrubber Analysis and Optimization with Computacional Fluid Dynamics and Virtual Reality*, Bordeaux, 2010, 5p
- PAK, S.I.; CHANG, K.S., *Performance estimation of a Venturi scrubber using a computational model for capturing dust particles with liquid spray*, Journal of Hazardous Materials B138, Daejeon, República da Coréia, 2006, 14p
- POLIS: PHOENICS On-Line Information System
- PROSPERETTI, A.; TRYGGVASON, G., *Computational Methods for Multiphase Flow*, Cambridge, 2007, 484p
- SILVA, A.M.; TEIXEIRA, J.C.F.; TEIXEIRA, S.F.C.F., *Experiments in a large-scale venturi scrubber Part I: Pressure drop*, Chemical Engineering and Processing 48, Minho, Portugal, 2008a, 9p
- SILVA, A. M.; TEIXEIRA, J.C.F.; TEIXEIRA, S.F.C.F., *Experiments in large scale venturi scrubber*, Chemical Engineering and Processing, Guimarães, 2008b, 7p
- SPALDING, B., *Numerical Computation of two-phase flows*, London, 1977, 11p
- SUN, H.; AZZOPARDI, B. J., *Modelling Gas-Liquid Flow in Venturi Scrubbers at High Pressure*, School of Chemical, Environmental and Mining Engineering, Nottingham, 2003, 7p
- TALAIE, M.R.; FATHIKALAJAHI, J.; TAHERI, M., *Mathematical Modeling of SO₂ Absorption in a Venturi Scrubber*, Journal of the Air & Waste Management Association, Iran, 1997
- TSAI, C.; LIN, C.; WANG, Y.; HUNAG, C.; LI, S.; WU, Z.; WANG, F., *An efficient Venturi Scrubber System to Remove Submicron Particles in Exhaust Gas*, Journal of the Air & Waste Management Association, 2005, 7p
- UMICONTROL, Site: <http://www.umicontrol.com.br/> - Consultado em 13/08/2014

VIRKAR, P. D.; SHARMA, M. M., *Mass Transfer in Venturi Scrubber*, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Bombay, 1975, 5p

VISWANATHAN, S., *Modeling of Venturi Scrubber Performance*, Ecotech Energy and Environmental Corporation, California, 1997, 10p

YUNG, S.; BARBARIKA, H.; CALVERT, S., *Pressure Loss in Venturi Scrubbers*, Journal of the Air Pollution Control Association, California, 1997, 7p

YUNG, S.; CALVERT, S.; BARBARIKA, H.F., *Venturi Scrubber Performance Model*, Environmental Science & Technology, San Diego, 1978, 4p

Figuras oriundas da Web:

[1] Figura 1 – <http://www.ecoplas.ind.br/institucional.php>, consultado em 10/08/2014 às 19:00

[2] Figura 3 – <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno10/mitigacion/Lavador%20Venturi-MP.html>, consultado em 09/08/2014 às 17:00)

7. ANEXOS

7.1. Planta de equipamentos

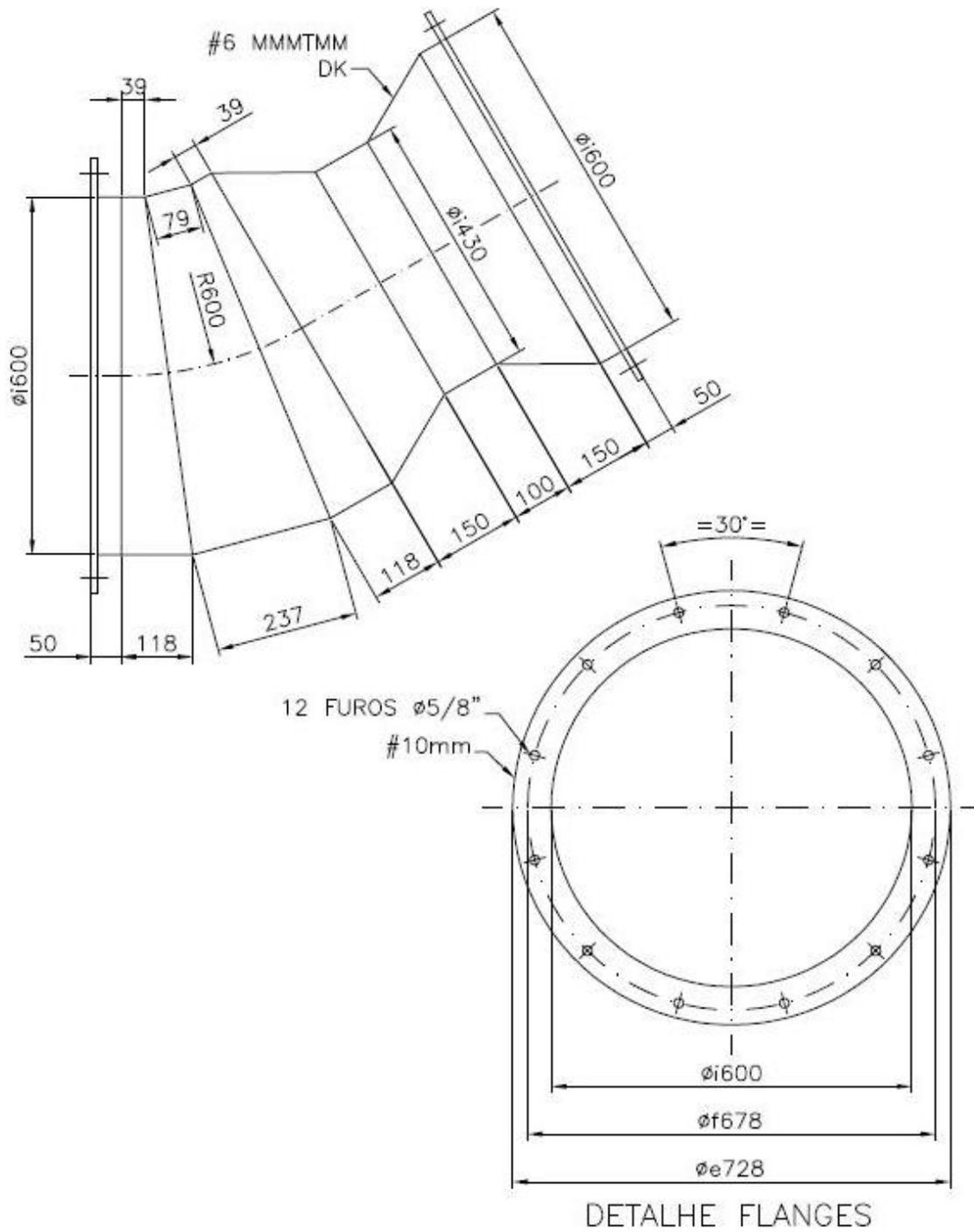


Figura 33 - Planta do lavador Venturi da Ecoplas

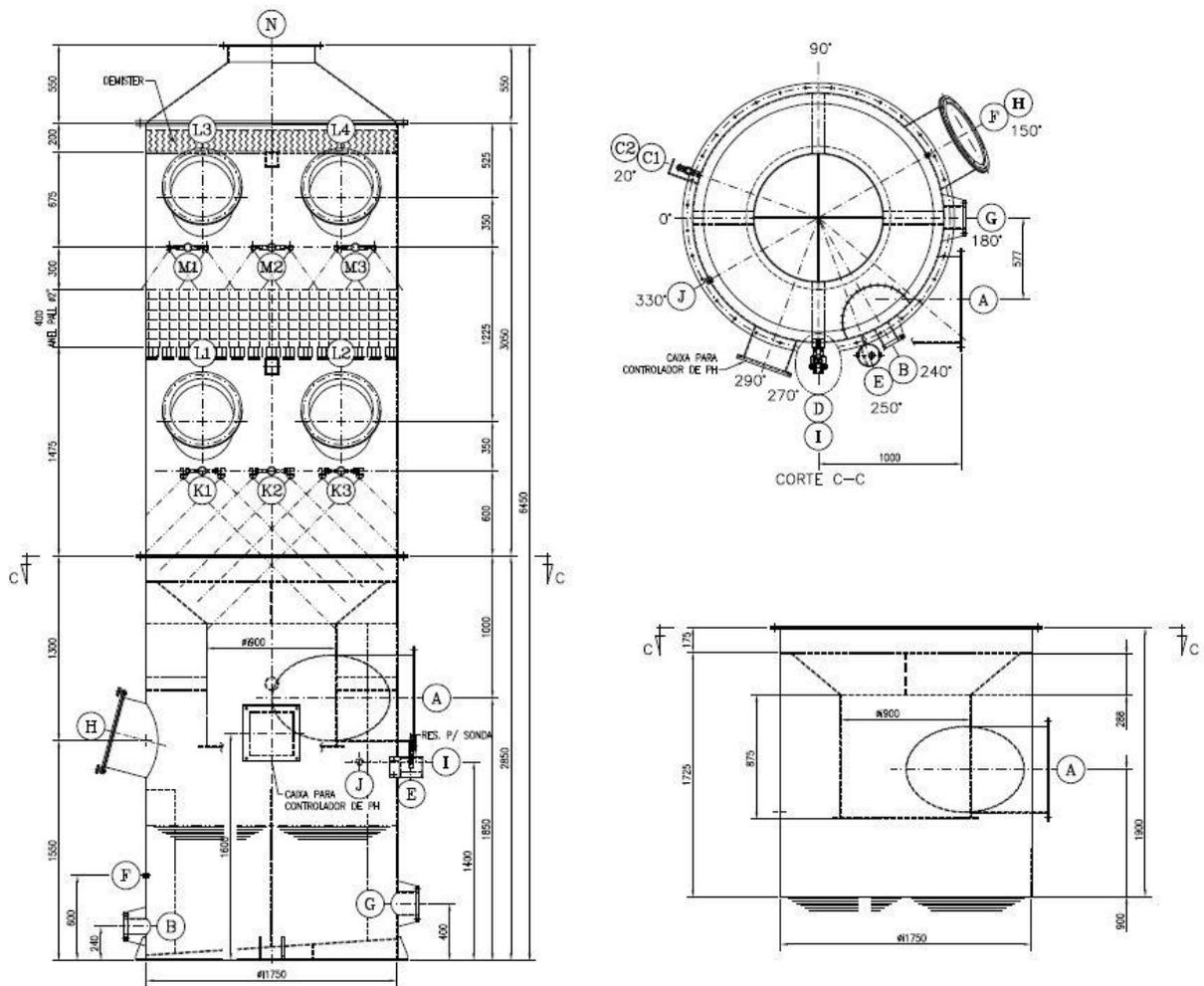


Figura 34 - Planta do ciclone da Ecoplas

7.2. Modelo dos equipamentos desenvolvidos no AutoCad

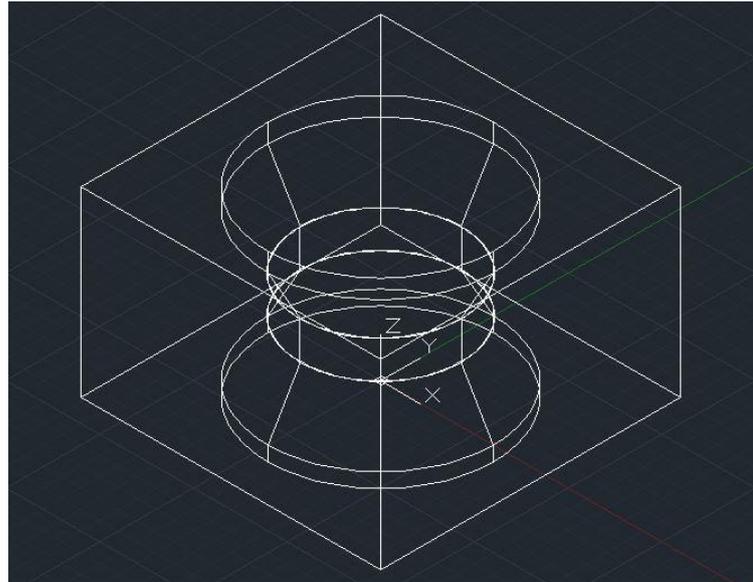


Figura 35 - Modelo do Venturi em CAD



Figura 36 - Modelo do equipamento completo em CAD

7.3. Resultados da simulação preliminar

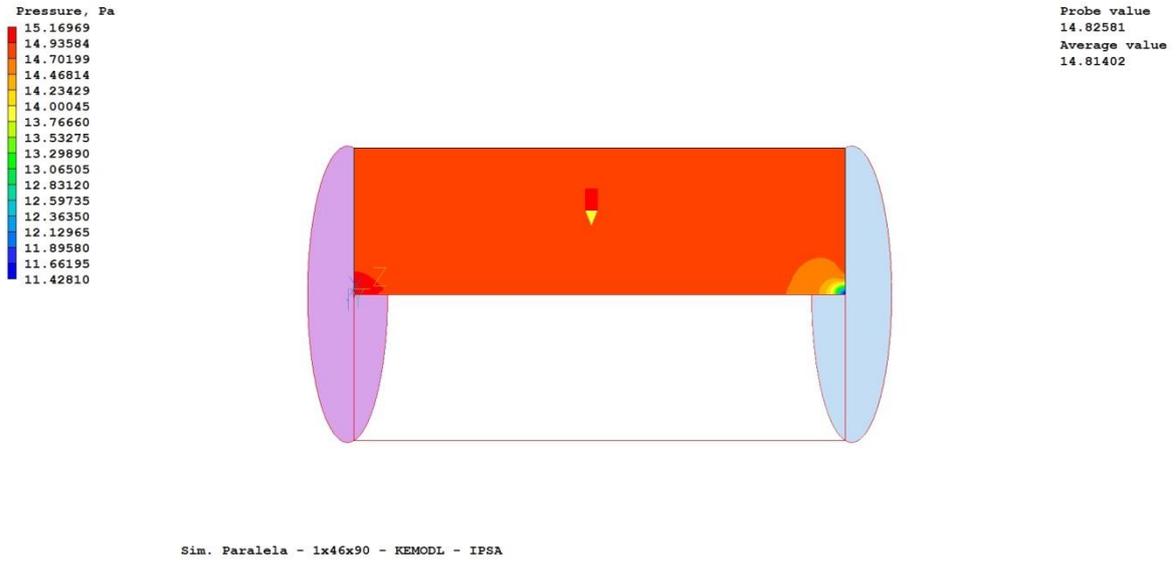


Figura 37 - Simulação preliminar, perfil de pressão, escala 1

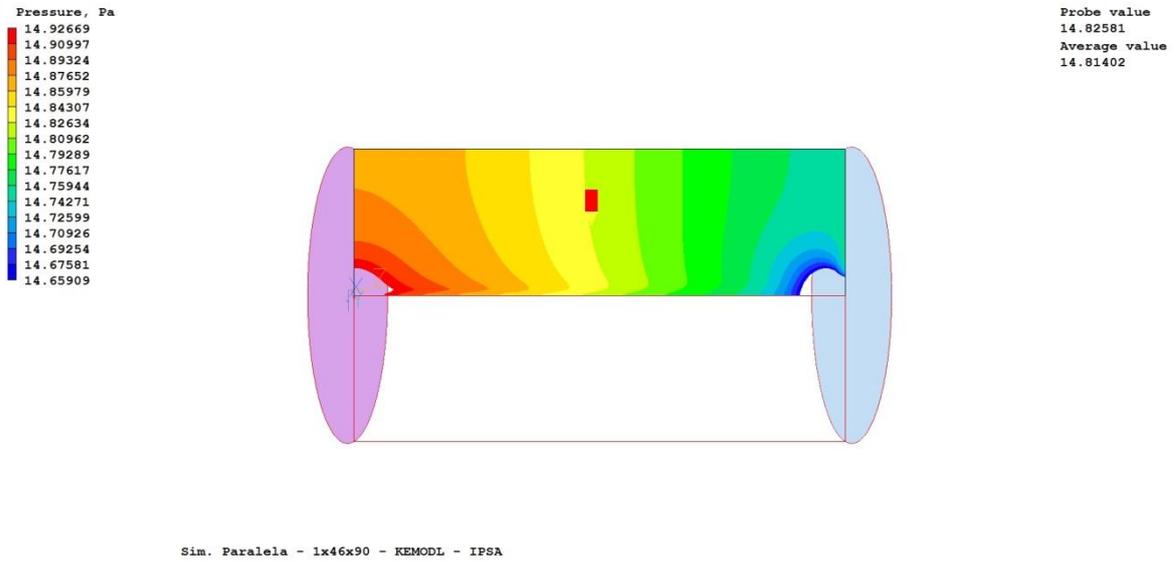


Figura 38 - Simulação preliminar, perfil de pressão, escala 2

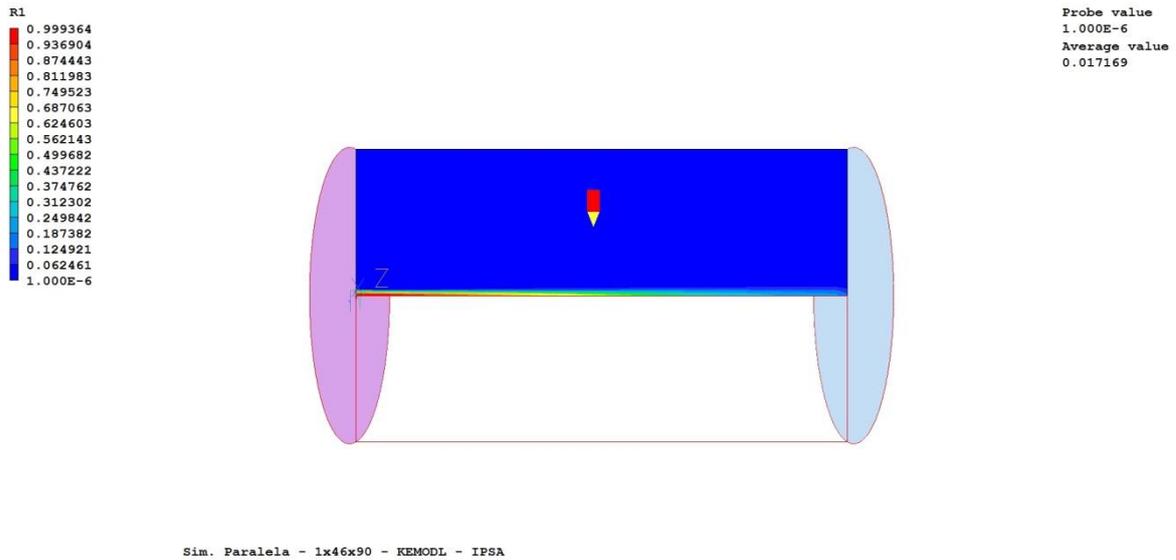


Figura 39 - Simulação preliminar, dispersão de líquido

7.4. Arquivo Q1 da última simulação

```

<html><head><title>Q1</title>
<link rel="stylesheet" type="text/css"
href="/phoenics/d_polis/polstyle.css">
</head><body><pre><strong>
TALK=T;RUN( 1, 1)

*****
  Q1 created by VDI menu, Version 2013, Date 10/01/13
CPVNAM=VDI;SPPNAM=Core
*****
IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
*****
  Group 1. Run Title
TEXT(Equipamento completo - KERNG IPSA      )
*****
  Group 2. Transience
STEADY = T
*****
  Groups 3, 4, 5 Grid Information
  * Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)
RSET(M,75,35,46)
*****
  Group 6. Body-Fitted coordinates
*****
  Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED
ONEPHS = F
  * Non-default variable names
NAME(147)=EPKE ;NAME(148)=DEN1
NAME(149)=EL1 ;NAME(150)=ENUT
  * Solved variables list
SOLVE(P1,U1,U2,V1,V2,W1,W2,R1)

```

```

SOLVE(R2)
  * Stored variables list
STORE(ENUT,EL1,DEN1,EPKE)
  * Additional solver options
SOLUTN(P1,Y,Y,Y,N,N,Y)
TURMOD(KERNG)

```

```

*****
Group 8. Terms & Devices
*****

```

```

Group 9. Properties
PRESS0 =1.01325E+05 ;TEMP0 =273.
RHO1 =1000.
ENUL =1.544E-05
CP1 =1005.
RHO2 =1.
CP2 =1.
DVO1DT =3.41E-03
PRT(KE)=0.7194 ;PRT(EP)=0.7194

```

```

*****
Group 10. Inter-Phase Transfer Processes

```

```

CFIPS = GRND8
RLOLIM =0.4 ;CMDOT =0.
CFIPA =0. ;CFIPB =8.0E-03
CFIPC =0. ;CFIPD =5.

```

```

*****
Group 11. Initialise Var/Porosity Fields

```

```

FIINIT(P1)=0. ;FIINIT(R1)=0.
FIINIT(R2)=1.

```

No PATCHes used for this Group

```

INIADD = F

```

```

*****
Group 12. Convection and diffusion adjustments

```

No PATCHes used for this Group

```

*****
Group 13. Boundary & Special Sources

```

```

PATCH(BUOYANCY, PHASEM, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1)
COVAL(BUOYANCY, U1, FIXFLU, GRND1)
COVAL(BUOYANCY, V1, FIXFLU, GRND1)
COVAL(BUOYANCY, W1, FIXFLU, GRND1)

```

```

BUOYA =0. ; BUOYB =0.
BUOYC =-9.81
EGWF = T

```

```

*****
Group 14. Downstream Pressure For PARAB

```

```

Group 15. Terminate Sweeps

```

```

LSWEEP = 14000
RESFAC =1.0E-04

```

```

*****
Group 16. Terminate Iterations

```

```

LITER(P1)=200 ;LITER(R1)=1
LITER(R2)=1

```

```

*****
Group 17. Relaxation
RELAX(P1 ,LINRLX,1. )
RELAX(W1 ,FALSDT,10. )
RELAX(KE ,FALSDT,0.5 )
RELAX(EP ,FALSDT,0.5 )
KELIN = 3
*****

Group 18. Limits
VARMAX(P1)=1.0E+04 ;VARMIN(P1)=-1.0E+04
VARMAX(U1)=500. ;VARMIN(U1)=-500.
VARMAX(U2)=500. ;VARMIN(U2)=-500.
VARMAX(V1)=500. ;VARMIN(V1)=-500.
VARMAX(V2)=500. ;VARMIN(V2)=-500.
VARMAX(W1)=500. ;VARMIN(W1)=-500.
VARMAX(W2)=500. ;VARMIN(W2)=-500.
VARMAX(R1)=1. ;VARMIN(R1)=1.0E-06
VARMAX(R2)=1. ;VARMIN(R2)=1.0E-06
*****

Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
GENK = T
CONWIZ = T
IENUTA = 1
*****

Group 20. Preliminary Printout
*****

Group 21. Print-out of Variables
*****

Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 22 ;IYMON = 7 ;IZMON = 7
NPRMON = 100000
NPRMNT = 1
TSTSWP = -1
*****

Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 100000
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
No PATCHes used for this Group
*****

Group 24. Dumps For Restarts

GVIEW(P,0.981283,0.013451,0.1921)
GVIEW(UP,-0.191892,-0.015364,0.981296)
GVIEW(WINDOW,MAX)
GVIEW(NEARPLANE,0.011)
GVIEW(VDIS,2.72685)
GVIEW(CENTRE,0.95,1.325,2.75)

> DOM, SIZE, 1.900000E+00, 2.650000E+00, 5.500000E+00
> DOM, MONIT, 4.111958E-01, 6.463636E-01, 8.862085E-01
> DOM, SCALE, 1.000000E+00, 1.000000E+00, 1.000000E+00
> GRID, RSET_X_1, 4,-1.500000E+00,G
> GRID, RSET_X_2, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_X_3, -12, 1.500000E+00,G
> GRID, RSET_X_4, -2, 1.200000E+00,G
> GRID, RSET_X_5, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_X_6, -2, 1.200000E+00,G

```

```

> GRID, RSET_X_7, -10, 1.500000E+00,G
> GRID, RSET_X_8, -2, 1.200000E+00,G
> GRID, RSET_X_9, -10, 1.500000E+00,G
> GRID, RSET_X_10, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_X_11, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_X_12, -10, 1.600000E+00,G
> GRID, RSET_X_13, -17, 1.200000E+00,G
> GRID, RSET_X_14, 2, 1.200000E+00,G
> GRID, RSET_Y_1, 5, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_2, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_3, -3, 1.300000E+00,G
> GRID, RSET_Y_4, 5,-1.400000E+00
> GRID, RSET_Y_5, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_6, -4, 1.300000E+00,G
> GRID, RSET_Y_7, -6, 1.500000E+00,G
> GRID, RSET_Y_8, -3, 1.700000E+00,G
> GRID, RSET_Y_9, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Y_10, 4, 1.600000E+00
> GRID, RSET_Y_11, 2, 1.200000E+00,G
> GRID, RSET_Z_1, 3, 5.000000E-01
> GRID, RSET_Z_2, 3,-1.600000E+00
> GRID, RSET_Z_3, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_4, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_5, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_6, 4, 1.300000E+00
> GRID, RSET_Z_7, -25, 1.150000E+00
> GRID, RSET_Z_8, 1, 1.000000E+00
> GRID, RSET_Z_9, 7,-6.000000E-01
> DOM, INI_AMB, YES
> DOM, INI_BUOY, YES

> OBJ, NAME, EQUIPAMENTO
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 1.900000E+00, 2.650000E+00, 5.500000E+00
> OBJ, GEOMETRY, equipamento_total_2.stl
> OBJ, VISIBLE, NO
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, ROUGH, 1.0E-06

> OBJ, NAME, GASINLET
> OBJ, POSITION, 1.000000E-01, 0.000000E+00, 6.000000E-01
> OBJ, SIZE, 6.000000E-01, 0.000000E+00, 6.000000E-01
> OBJ, GEOMETRY, cylinder
> OBJ, ROTATION24, 5
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, COLOR-MODE, USER
> OBJ, COLOR-VAL, 212
> OBJ, PRESSURE, P_AMBIENT
> OBJ, PRESSURE-2, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. ,0.
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,14.737 ,0.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.

> OBJ, NAME, OUTLETBAIXO
> OBJ, POSITION, 1.020000E-01, 8.500000E-01, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 1.750000E+00, 1.750000E+00, 0.000000E+00

```

```

> OBJ, GEOMETRY, cylinder
> OBJ, TYPE, PLATE
> OBJ, COLOR-MODE, USER
> OBJ, COLOR-VAL, 13

> OBJ, NAME, OUTLETCIMA
> OBJ, POSITION, 6.770000E-01, 1.425000E+00, AT_END
> OBJ, SIZE, 6.000000E-01, 6.000000E-01, 0.000000E+00
> OBJ, DOMCLIP, NO
> OBJ, GEOMETRY, cylinder
> OBJ, VISIBLE, NO
> OBJ, TYPE, OUTLET
> OBJ, COLOR-MODE, USER
> OBJ, COLOR-VAL, 7
> OBJ, PRESSURE, P_AMBIENT
> OBJ, COEFFICIENT, 1000.
> OBJ, VELOCITY, SAME , SAME , SAME
> OBJ, TEMPERATURE-2,0.
> OBJ, COEFFICIENT-2,1.
> OBJ, TURBULENCE, SAME , SAME

> OBJ, NAME, BICO2
> OBJ, POSITION, 9.667000E-01, 1.258900E+00, 4.065000E+00
> OBJ, SIZE, 1.060000E-02, 5.300000E-03, 1.000000E-02
> OBJ, DOMCLIP, NO
> OBJ, GEOMETRY, cube14
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, NAME, BICO3
> OBJ, POSITION, 9.667000E-01, 2.162500E+00, 4.065000E+00
> OBJ, SIZE, 1.060000E-02, 5.300000E-03, 1.000000E-02
> OBJ, DOMCLIP, NO
> OBJ, GEOMETRY, cube14
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, NAME, BICO2INLET1
> OBJ, POSITION, 9.667000E-01, 1.258900E+00, 4.065000E+00
> OBJ, SIZE, 5.300000E-03, 5.300000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cube3t
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, DENSITY, 1000.
> OBJ, PRESSURE-2, 0.
> OBJ, VELOCITY, -4.63 ,0. ,-4.63
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,0. ,0.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.

> OBJ, NAME, BICO3INLET1
> OBJ, POSITION, 9.667000E-01, 2.162500E+00, 4.065000E+00
> OBJ, SIZE, 5.300000E-03, 5.300000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cube3t
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, DENSITY, 1000.
> OBJ, PRESSURE-2, 0.
> OBJ, VELOCITY, -4.63 ,0. ,-4.63
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,0. ,0.

```

```

> OBJ, TURB-INTENS, 5.

> OBJ, NAME, BICO2INLET3
> OBJ, POSITION, 9.720000E-01, 1.258900E+00, 4.065000E+00
> OBJ, SIZE, 5.300000E-03, 5.300000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cube3t
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, DENSITY, 1000.
> OBJ, PRESSURE-2, 0.
> OBJ, VELOCITY, 4.63 ,0. ,-4.63
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,0. ,0.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.

> OBJ, NAME, BICO3INLET3
> OBJ, POSITION, 9.720000E-01, 2.162500E+00, 4.065000E+00
> OBJ, SIZE, 5.300000E-03, 5.300000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cube3t
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, DENSITY, 1000.
> OBJ, PRESSURE-2, 0.
> OBJ, VELOCITY, 4.63 ,0. ,-4.63
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,0. ,0.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.

> OBJ, NAME, BICO1
> OBJ, POSITION, 3.857000E-01, 6.000000E-01, 8.800000E-01
> OBJ, SIZE, 2.860000E-02, 1.000000E-02, 2.860000E-02
> OBJ, DOMCLIP, NO
> OBJ, GEOMETRY, cube14
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction

> OBJ, NAME, BICO1INLET1
> OBJ, POSITION, 3.857000E-01, 6.100000E-01, 8.800000E-01
> OBJ, SIZE, 1.241700E-02, 0.000000E+00, 1.241700E-02
> OBJ, GEOMETRY, cube3t
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, DENSITY, 1000.
> OBJ, PRESSURE-2, P_AMBIENT
> OBJ, VELOCITY, -2.751717 ,6.740292 ,-2.751717
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,0. ,0.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, OBJECT-SIDE, HIGH

> OBJ, NAME, BICO1INLET2
> OBJ, POSITION, 4.018830E-01, 6.100000E-01, 8.800000E-01
> OBJ, SIZE, 1.241700E-02, 0.000000E+00, 1.241700E-02
> OBJ, GEOMETRY, cube3t
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, DENSITY, 1000.
> OBJ, PRESSURE-2, P_AMBIENT
> OBJ, VELOCITY, 2.751717 ,6.740292 ,-2.751717
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,0. ,0.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, OBJECT-SIDE, HIGH

> OBJ, NAME, BICO1INLET3

```

```

> OBJ, POSITION, 3.857000E-01, 6.100000E-01, 8.961000E-01
> OBJ, SIZE, 1.241700E-02, 0.000000E+00, 1.241700E-02
> OBJ, GEOMETRY, cube3t
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, DENSITY, 1000.
> OBJ, PRESSURE-2, P_AMBIENT
> OBJ, VELOCITY, -2.751717 ,6.740292 ,2.751717
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,0. ,0.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, OBJECT-SIDE, HIGH

> OBJ, NAME, BICO1INLET4
> OBJ, POSITION, 4.018830E-01, 6.100000E-01, 8.961000E-01
> OBJ, SIZE, 1.241700E-02, 0.000000E+00, 1.241700E-02
> OBJ, GEOMETRY, cube3t
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, DENSITY, 1000.
> OBJ, PRESSURE-2, P_AMBIENT
> OBJ, VELOCITY, 2.751717 ,6.740292 ,2.751717
> OBJ, VELOCITY-2, 0. ,0. ,0.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, OBJECT-SIDE, HIGH
STOP
</strong></pre></body></html>

```

7.5. Arquivo RES da última simulação

```

-----
PHOENICS April 2013 - EARTH
(C) Copyright 2013
Concentration Heat and Momentum Limited
All rights reserved.
Address: Bakery House, 40 High Street
Wimbledon, London, SW19 5AU, England
tel: +44 (0) 20-8947-7651
fax: +44 (0) 20-8879-3497
e-mail: phoenics@cham.co.uk
web: www.cham.co.uk
-----

```

Code expiry date is the end : jan 2018

```

-----
Running with 64-bit Single Precision executable
Working directory: c:\phoenics\d_priv1
-----

```

Initial estimated storage requirement is 17551453
Information about material properties

Total number of SPEDATs is 44
 number of materials specified by SPEDATs is 1
 solprp = 100 porprp = 198 vacprp = 199
 !!!! The properties file is PROPS
 Properties being read from PROPS
 Properties have been read from PROPS

PRPS is stored with initial value=
 =-1.

Material properties used for phase 1 are
 density
 laminar viscosity
 turbulent viscosity
 mixing length
 thermal expansion coefficient
 specific heat

Material properties used for phase 2 are
 density
 thermal expansion coefficient
 specific heat
 inter-phase friction coeff.

>>> End of property-related data <<<

Number of F-array locations available is 17551453
 Number used before BFC allowance is 16196654
 Number used after BFC allowance is 16196654

>> Current turbulence model constants <<
 They may be changed by inserting in Q1
 SPEDAT(KECONST,name of constant,R,value)

CMU =0.539156 CD =0.156727
 CMUCD =0.0845
 C1E =1.42 C2E =1.68
 AK =0.41 EWAL =8.6

biggest cell volume divided by average is 20.43153 at:
 ix = 65 iy = 33 iz = 46
 xg =1.5645 yg =2.52028
 zg =5.27832

smallest cell volume divided by average is 1.7024286E-04 at:
 ix = 5 iy = 15 iz = 8
 xg =0.101 yg =1.26155
 zg =0.894258

ratio of smallest to biggest is 8.3323594E-06
 Number used after PARSOL allowance is 16220279

false-time relaxation for KE may be unwise.
 Try linrlx,0.5 instead.

false-time relaxation for EP may be unwise.
 Try linrlx,0.5 instead.

----- Recommended settings -----

CONWIZ=T activates settings based on
 refrho =1. refvel =10.
 reflen =1. reftemp =1000.
 rlxdu1 =0.5 rlxdv1 =0.5
 rlxdw1 =0.5
 Maximum change of U1 per sweep= 100.0000
 Maximum change of U2 per sweep= 100.0000
 Maximum change of V1 per sweep= 100.0000
 Maximum change of V2 per sweep= 100.0000
 Maximum change of W1 per sweep= 100.0000
 Maximum change of W2 per sweep= 100.0000
 Maximum change of R1 per sweep= 9.999998E-03
 Maximum change of R2 per sweep= 9.999998E-03
 Maximum change of KE per sweep= 0.1000000
 Maximum change of EP per sweep= 1000.000
 relaxation and min/max values left at
 defaults may have been changed

```
*****
*****
Group 1. Run Title and Number
*****
*****
```

TEXT(Equipamento completo - KERNG IPSA)

```
*****
*****
```

IRUNN = 1 ;LIBREF = 0

```
*****
```

Group 2. Time dependence

STEADY = T

```
*****
```

Group 3. X-Direction Grid Spacing

CARTES = T

NX = 75

XULAST =1.9

XFRAC(1)=0.021862 ;XFRAC(16)=0.199407

XFRAC(31)=0.351074 ;XFRAC(46)=0.514368

XFRAC(61)=0.732486

```
*****
```

Group 4. Y-Direction Grid Spacing

NY = 35

YVLAST =2.65

YFRAC(1)=0.045283 ;YFRAC(8)=0.29331

YFRAC(15)=0.477057 ;YFRAC(22)=0.650943

YFRAC(29)=0.818038

```
*****
```

Group 5. Z-Direction Grid Spacing

PARAB = F

NZ = 46

ZVLAST =5.5

ZFRAC(1)=0.062984 ;ZFRAC(10)=0.173939

ZFRAC(19)=0.330167 ;ZFRAC(28)=0.537586

ZFRAC(37)=0.724826 ;ZFRAC(46)=1.

```
*****
```

Group 6. Body-Fitted Coordinates

Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED

ONEPHS = F

EQUVEL = F

NAME(1)=P1 ;NAME(3)=U1

NAME(4)=U2 ;NAME(5)=V1

NAME(6)=V2 ;NAME(7)=W1

NAME(8)=W2 ;NAME(9)=R1

NAME(10)=R2 ;NAME(12)=KE

NAME(13)=EP ;NAME(146)=PRPS

NAME(147)=EPKE ;NAME(148)=DEN1

NAME(149)=EL1 ;NAME(150)=ENUT

* Y in SOLUTN argument list denotes:

* 1-stored 2-solved 3-whole-field

* 4-point-by-point 5-explicit 6-harmonic averaging

SOLUTN(P1,Y,Y,Y,N,N,Y)

SOLUTN(U1,Y,Y,Y,N,N,Y)

SOLUTN(U2,Y,Y,Y,N,N,Y)

SOLUTN(V1,Y,Y,Y,N,N,Y)

SOLUTN(V2,Y,Y,Y,N,N,Y)

SOLUTN(W1,Y,Y,Y,N,N,Y)

SOLUTN(W2,Y,Y,Y,N,N,Y)

SOLUTN(R1,Y,Y,N,N,N,Y)

SOLUTN(R2,Y,Y,N,N,N,Y)

SOLUTN(KE,Y,Y,N,N,N,N)

SOLUTN(EP,Y,Y,N,N,N,N)

SOLUTN(PRPS,Y,N,N,N,N,N)

SOLUTN(EPKE,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(DEN1,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(EL1,Y,N,N,N,N,Y)

SOLUTN(ENUT,Y,N,N,N,N,Y)

DEN1 = 148

VIST = 150

LEN1 = 149

PRPS = 146

Group 8. Terms & Devices

* Y in TERMS argument list denotes:

* 1-built-in source 2-convection 3-diffusion 4-transient

* 5-first phase variable 6-interphase transport

TERMS(P1,Y,Y,Y,N,Y,Y)

TERMS(U1,Y,Y,Y,N,Y,Y)

TERMS(U2,Y,Y,Y,N,N,Y)

TERMS(V1,Y,Y,Y,N,Y,Y)

TERMS(V2,Y,Y,Y,N,N,Y)

TERMS(W1,Y,Y,Y,N,Y,Y)

TERMS(W2,Y,Y,Y,N,N,Y)

TERMS(R1,Y,Y,Y,N,Y,Y)

TERMS(R2,Y,Y,Y,N,N,Y)

TERMS(KE,N,Y,Y,N,Y,N)

TERMS(EP,N,Y,Y,N,Y,N)

DIFCUT = 0.5 ;ZDIFAC = 1.

GALA = F ;ADDDIF = T

NEWENT = T

EQDVDP = F

ISOLX = -1 ;ISOLY = -1 ;ISOLZ = -1

Group 9. Properties used if PRPS is not
 stored, and where PRPS = -1.0 if it is!
 RHO1 =1000. ;TMP1 =0.
 EL1 = GRND4
 TSURR =0. ;TEMP0 =273.
 PRESS0 =1.01325E+05
 DVO1DT =3.41E-03 ;DRH1DP =0.
 EMISS =0. ;SCATT =0.
 RADIA =0. ;RADIB =0.
 EL1A =0. ;EL1B =0.
 EL1C =0.
 RHO2 =1. ;TMP2 =0.
 EL2 =0.
 DVO2DT =0. ;DRH2DP =0.
 ENUL =1.544E-05 ;ENUT = GRND3
 ENUTA =0. ;ENUTB =0.
 ENUTC =0.
 IENUTA = 1
 PHINT(U1)=-2.022E+04 ;PHINT(U2)=-2.022E+04
 PHINT(V1)=-2.022E+04 ;PHINT(V2)=-2.022E+04
 PHINT(W1)=-2.022E+04 ;PHINT(W2)=-2.022E+04
 PHINT(R1)=-2.022E+04 ;PHINT(R2)=-2.022E+04
 PRNDTL(U1)=1. ;PRNDTL(U2)=1.
 PRNDTL(V1)=1. ;PRNDTL(V2)=1.
 PRNDTL(W1)=1. ;PRNDTL(W2)=1.
 PRNDTL(R1)=1.0E+10 ;PRNDTL(R2)=1.0E+10
 PRNDTL(KE)=1. ;PRNDTL(EP)=1.
 PRT(U1)=1. ;PRT(U2)=1.
 PRT(V1)=1. ;PRT(V2)=1.
 PRT(W1)=1. ;PRT(W2)=1.
 PRT(R1)=1. ;PRT(R2)=1.
 PRT(KE)=0.7194 ;PRT(EP)=0.7194
 CP1 =1005. ;CP2 =1.

Group 10. Inter-Phase Transfer Processes

CFIPS = GRND8
 RLOLIM =0.4 ;CMDOT =0.
 CFIPA =0. ;CFIPB =1.0E-03
 CFIPC =0. ;CFIPD =5.
 CINT(P1)=1. ;CINT(U1)=1.
 CINT(U2)=1. ;CINT(V1)=1.
 CINT(V2)=1. ;CINT(W1)=1.
 CINT(W2)=1. ;CINT(R1)=1.
 CINT(R2)=1.
 PHINT(P1)=-2.022E+04 ;PHINT(U1)=-2.022E+04
 PHINT(U2)=-2.022E+04 ;PHINT(V1)=-2.022E+04
 PHINT(V2)=-2.022E+04 ;PHINT(W1)=-2.022E+04
 PHINT(W2)=-2.022E+04 ;PHINT(R1)=-2.022E+04
 PHINT(R2)=-2.022E+04

Group 11. Initial field variables (PHIs)

FIINIT(P1)=0. ;FIINIT(U1)=1.0E-10
 FIINIT(U2)=1.0E-10 ;FIINIT(V1)=1.0E-10
 FIINIT(V2)=1.0E-10 ;FIINIT(W1)=1.0E-10
 FIINIT(W2)=1.0E-10 ;FIINIT(R1)=0.
 FIINIT(R2)=1. ;FIINIT(KE)=0.

FIINIT(EP)=0. ;FIINIT(PRPS)=-1.
 FIINIT(EPKE)=1.0E-10 ;FIINIT(DEN1)=1000.
 FIINIT(EL1)=1.0E-10 ;FIINIT(ENUT)=1.0E-10

Parent VR object for this patch is: EQUIPAMENTO
 PATCH(OB1 ,INIVAL, 1, 75, 1, 35, 1, 46, 1, 1)
 INIT(OB1 ,PRPS,0. ,198.)

Parent VR object for this patch is: BICO2
 PATCH(OB5 ,INIVAL, 45, 46, 15, 15, 39, 39, 1, 1)
 INIT(OB5 ,PRPS,0. ,198.)

Parent VR object for this patch is: BICO3
 PATCH(OB6 ,INIVAL, 45, 46, 29, 29, 39, 39, 1, 1)
 INIT(OB6 ,PRPS,0. ,198.)

Parent VR object for this patch is: BICO1
 PATCH(OBB ,INIVAL, 18, 22, 6, 6, 7, 9, 1, 1)
 INIT(OBB ,PRPS,0. ,198.)

INIADD = F
 FSWEEP = 1
 NAMFI =CHAM

Group 12. Patchwise adjustment of terms
 Patches for this group are printed with those
 for Group 13.

Their names begin either with GP12 or &

Group 13. Boundary & Special Sources

Parent VR object for this patch is: GASINLET
 PATCH(OB2 ,SOUTH , 5, 34, 1, 1, 4, 13, 1, 1)
 COVAL(OB2 ,U2 ,0. ,0.)
 COVAL(OB2 ,V2 ,0. ,14.737)
 COVAL(OB2 ,W2 ,0. ,0.)
 COVAL(OB2 ,R2 , FIXFLU ,14.737)
 COVAL(OB2 ,KE ,0. ,0.)
 COVAL(OB2 ,EP ,0. ,0.)

Parent VR object for this patch is: OUTLETCIMA
 PATCH(OB4 ,HIGH , 33, 56, 20, 25, 46, 46, 1, 1)
 COVAL(OB4 ,U1 ,0. , SAME)
 COVAL(OB4 ,U2 ,0. ,0.)
 COVAL(OB4 ,V1 ,0. , SAME)
 COVAL(OB4 ,V2 ,0. ,0.)
 COVAL(OB4 ,W1 ,0. , SAME)
 COVAL(OB4 ,W2 ,0. ,0.)
 COVAL(OB4 ,R1 ,1000. ,0.)
 COVAL(OB4 ,R2 ,1. ,0.)
 COVAL(OB4 ,KE ,0. , SAME)
 COVAL(OB4 ,EP ,0. , SAME)

Parent VR object for this patch is: BICO2INLET1
 PATCH(OB7 ,HIGH , 45, 45, 15, 15, 38, 38, 1, 1)
 COVAL(OB7 ,U1 ,0. ,-4.63)
 COVAL(OB7 ,V1 ,0. ,0.)
 COVAL(OB7 ,W1 ,0. ,-4.63)

COVAL(OB7 ,R1 , FIXFLU ,4630.)
 COVAL(OB7 ,KE ,0. ,0.053592)
 COVAL(OB7 ,EP ,0. ,7.337527)

Parent VR object for this patch is: BICO3INLET1
 PATCH(OB8 ,HIGH , 45, 45, 29, 29, 38, 38, 1, 1)
 COVAL(OB8 ,U1 ,0. ,-4.63)
 COVAL(OB8 ,V1 ,0. ,0.)
 COVAL(OB8 ,W1 ,0. ,-4.63)
 COVAL(OB8 ,R1 , FIXFLU ,4630.)
 COVAL(OB8 ,KE ,0. ,0.053592)
 COVAL(OB8 ,EP ,0. ,7.337527)

Parent VR object for this patch is: BICO2INLET3
 PATCH(OB9 ,HIGH , 46, 46, 15, 15, 38, 38, 1, 1)
 COVAL(OB9 ,U1 ,0. ,4.63)
 COVAL(OB9 ,V1 ,0. ,0.)
 COVAL(OB9 ,W1 ,0. ,-4.63)
 COVAL(OB9 ,R1 , FIXFLU ,4630.)
 COVAL(OB9 ,KE ,0. ,0.053592)
 COVAL(OB9 ,EP ,0. ,7.337527)

Parent VR object for this patch is: BICO3INLET3
 PATCH(OBA ,HIGH , 46, 46, 29, 29, 38, 38, 1, 1)
 COVAL(OBA ,U1 ,0. ,4.63)
 COVAL(OBA ,V1 ,0. ,0.)
 COVAL(OBA ,W1 ,0. ,-4.63)
 COVAL(OBA ,R1 , FIXFLU ,4630.)
 COVAL(OBA ,KE ,0. ,0.053592)
 COVAL(OBA ,EP ,0. ,7.337527)

Parent VR object for this patch is: BICO1INLET1
 PATCH(OBC ,SOUTH , 18, 19, 7, 7, 7, 7, 1, 1)
 COVAL(OBC ,U1 ,0. ,-2.751717)
 COVAL(OBC ,V1 ,0. ,6.740292)
 COVAL(OBC ,W1 ,0. ,-2.751717)
 COVAL(OBC ,R1 , FIXFLU ,6740.291992)
 COVAL(OBC ,KE ,0. ,0.113579)
 COVAL(OBC ,EP ,0. ,9.662779)

Parent VR object for this patch is: BICO1INLET2
 PATCH(OBD ,SOUTH , 21, 22, 7, 7, 7, 7, 1, 1)
 COVAL(OBD ,U1 ,0. ,2.751717)
 COVAL(OBD ,V1 ,0. ,6.740292)
 COVAL(OBD ,W1 ,0. ,-2.751717)
 COVAL(OBD ,R1 , FIXFLU ,6740.291992)
 COVAL(OBD ,KE ,0. ,0.113579)
 COVAL(OBD ,EP ,0. ,9.662779)

Parent VR object for this patch is: BICO1INLET3
 PATCH(OBE ,SOUTH , 18, 19, 7, 7, 9, 9, 1, 1)
 COVAL(OBE ,U1 ,0. ,-2.751717)
 COVAL(OBE ,V1 ,0. ,6.740292)
 COVAL(OBE ,W1 ,0. ,2.751717)
 COVAL(OBE ,R1 , FIXFLU ,6740.291992)
 COVAL(OBE ,KE ,0. ,0.113579)
 COVAL(OBE ,EP ,0. ,9.662779)

Parent VR object for this patch is: BICO1INLET4
 PATCH(OBF ,SOUTH , 21, 22, 7, 7, 9, 9, 1, 1)
 COVAL(OBF ,U1 ,0. ,2.751717)
 COVAL(OBF ,V1 ,0. ,6.740292)
 COVAL(OBF ,W1 ,0. ,2.751717)
 COVAL(OBF ,R1 , FIXFLU ,6740.291992)
 COVAL(OBF ,KE ,0. ,0.113579)
 COVAL(OBF ,EP ,0. ,9.662779)

Parent VR object for this patch is: OUTLETBAIXO
 PATCH(OB3 ,LWALL , 6, 73, 10, 33, 1, 1, 1, 1)
 COVAL(OB3 ,U1 , GRND2 ,0.)
 COVAL(OB3 ,V1 , GRND2 ,0.)
 COVAL(OB3 ,KE , GRND2 , GRND2)
 COVAL(OB3 ,EP , GRND2 , GRND2)

PATCH(BUOYANCY,PHASEM, 1, 75, 1, 35, 1, 46, 1, 1)
 COVAL(BUOYANCY,U1 , FIXFLU , GRND1)
 COVAL(BUOYANCY,V1 , FIXFLU , GRND1)
 COVAL(BUOYANCY,W1 , FIXFLU , GRND1)

PATCH(KESOURCE,PHASEM, 1, 75, 1, 35, 1, 46, 1, 1)
 COVAL(KESOURCE,KE , GRND4 , GRND4)
 COVAL(KESOURCE,EP , GRND4 , GRND4)

PATCH(RNGMKE ,PHASEM, 1, 75, 1, 35, 1, 46, 1, 1)
 COVAL(RNGMKE ,EP , GRND4 , GRND4)

XCYCLE = F

EGWF = T

WALLCO = GRND2

BUOYA =0. ; BUOYB =0.

BUOYC =-9.81

Group 14. Downstream Pressure For PARAB

Group 15. Terminate Sweeps

LSWEEP = 14000 ;ISWC1 = 1

LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 = 1

ISWR1 = 1 ;ISWR2 = 10000

SELREF = T

RESFAC =1.0E-04

Group 16. Terminate Iterations

LITER(P1)=200 ;LITER(U1)=10

LITER(U2)=10 ;LITER(V1)=10

LITER(V2)=10 ;LITER(W1)=10

LITER(W2)=10 ;LITER(R1)=1

LITER(R2)=1 ;LITER(KE)=20

LITER(EP)=20

ENDIT(P1)=1.0E-03 ;ENDIT(U1)=1.0E-03

ENDIT(U2)=1.0E-03 ;ENDIT(V1)=1.0E-03

ENDIT(V2)=1.0E-03 ;ENDIT(W1)=1.0E-03

ENDIT(W2)=1.0E-03 ;ENDIT(R1)=1.0E-03

ENDIT(R2)=1.0E-03 ;ENDIT(KE)=1.0E-03

ENDIT(EP)=1.0E-03

Group 17. Relaxation

```

RELAX(P1,LINRLX,0.5)
RELAX(U1,LINRLX,0.5)
RELAX(U2,LINRLX,0.5)
RELAX(V1,LINRLX,0.5)
RELAX(V2,LINRLX,0.5)
RELAX(W1,LINRLX,0.5)
RELAX(W2,LINRLX,0.5)
RELAX(R1,LINRLX,0.4)
RELAX(R2,LINRLX,0.4)
RELAX(KE,FALSDT,0.5)
RELAX(EP,FALSDT,0.5)
RELAX(PRPS,LINRLX,1.)
RELAX(EPKE,LINRLX,1.)
RELAX(DEN1,LINRLX,0.5)
RELAX(EL1,LINRLX,1.)
RELAX(ENUT,LINRLX,0.5)
KELIN = 3
OVRRLX =0.
EXPERT = F ; NNORSL = F

```

```

*****

```

Group 18. Limits

```

VARMAX(P1)=1.0E+04 ;VARMIN(P1)=-1.0E+04
VARMAX(U1)=500. ;VARMIN(U1)=-500.
VARMAX(U2)=500. ;VARMIN(U2)=-500.
VARMAX(V1)=500. ;VARMIN(V1)=-500.
VARMAX(V2)=500. ;VARMIN(V2)=-500.
VARMAX(W1)=500. ;VARMIN(W1)=-500.
VARMAX(W2)=500. ;VARMIN(W2)=-500.
VARMAX(R1)=1. ;VARMIN(R1)=1.0E-06
VARMAX(R2)=1. ;VARMIN(R2)=1.0E-06
VARMAX(KE)=1.0E+10 ;VARMIN(KE)=1.0E-10
VARMAX(EP)=1.0E+10 ;VARMIN(EP)=1.0E-10
VARMAX(PRPS)=1.0E+10 ;VARMIN(PRPS)=-1.0E+10
VARMAX(EPKE)=1.0E+10 ;VARMIN(EPKE)=1.0E-10
VARMAX(DEN1)=1.0E+10 ;VARMIN(DEN1)=1.0E-06
VARMAX(EL1)=1.0E+10 ;VARMIN(EL1)=1.0E-10
VARMAX(ENUT)=1.0E+10 ;VARMIN(ENUT)=1.0E-10

```

```

*****

```

Group 19. Data transmitted to GROUND

```

GENK = T
CONWIZ = T
IENUTA = 1
GEN1 = 681
SPEDAT(SET,EQUIPAMENT,DATFILE,C,equipamento_total_2.stl)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB1,C,EQUIPAMENTO)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB1,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,EQUIPAMENT,MATERIAL,R,198.)
SPEDAT(SET,EQUIPAMENT,ROUGH,R,1.0E-06)
SPEDAT(SET,GASINLET,DATFILE,C,cylinder)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB2,C,GASINLET)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB2,C,INLET)
SPEDAT(SET,OUTLETBAIX,DATFILE,C,cylinder)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB3,C,OUTLETBAIXO)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB3,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OUTLETcima,DATFILE,C,cylinder)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB4,C,OUTLETcima)

```

```

SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB4,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,ARATIO,^OB4,R,1.)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5,C,BICO2)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,BICO2,MATERIAL,R,198.)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6,C,BICO3)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,BICO3,MATERIAL,R,198.)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7,C,BICO2INLET1)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7,C,INLET)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8,C,BICO3INLET1)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8,C,INLET)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB9,C,BICO2INLET3)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB9,C,INLET)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OBA,C,BICO3INLET3)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OBA,C,INLET)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OBB,C,BICO1)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OBB,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,BICO1,MATERIAL,R,198.)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OBC,C,BICO1INLET1)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OBC,C,INLET)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OBD,C,BICO1INLET2)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OBD,C,INLET)
SPEDAT(SET,BICO1INLET,DATFILE,C,cube3t)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OBE,C,BICO1INLET3)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OBE,C,INLET)
SPEDAT(SET,BICO1INLET,DATFILE,C,cube3t)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OBF,C,BICO1INLET4)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OBF,C,INLET)
SPEDAT(SET,FACETDAT,NUMOBJ,I,15)
SPEDAT(SET,MATERIAL,198,L,T)
*****

```

Group 20. Preliminary Printout

Group 21. Print-out of Variables

INIFLD = F ;SUBWGR = F

- * Y in OUTPUT argument list denotes:
- * 1-field 2-correction-eq. monitor 3-selective dumping
- * 4-whole-field residual 5-spot-value table 6-residual table

```

OUTPUT(P1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(U1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(U2,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(V1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(V2,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(W1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(W2,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(R1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(R2,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(KE,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(EP,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(PRPS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(EPKE,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(DEN1,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(EL1,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(ENUT,Y,N,Y,N,N,N)
*****

```

Group 22. Monitor Print-Out

```

IXMON = 22 ;IYMON = 7 ;IZMON = 7
NPRMON = 100000 ;NPRMNT = 1 ;TSTSWP = 10001
UWATCH = F ;USTEER = F
HIGHLO = F
*****
  Group 23.Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 14000 ;NUMCLS = 5
NXPRIN = 15 ;IXPRF = 1 ;IXPRL = 75
NYPRIN = 7 ;IYPRF = 1 ;IYPRL = 35
NZPRIN = 9 ;IZPRF = 1 ;IZPRL = 10000
XZPR = F ;YZPR = F
IPLTF = 1 ;IPLTL = 14000 ;NPLT = 700
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
ITABL = 3 ;IPROF = 1
ABSIZ =0.5 ;ORSIZ =0.4
NTZPRF = 1 ;NCOLPF = 50
ICHR = 2 ;NCOLCO = 45 ;NROWCO = 20
  No PATCHes yet used for this Group
*****
  Group 24. Dumps For Restarts
SAVE = T ;NOWIPE = F
NSAVE =CHAM

*** grid-geometry information ***
X-coordinates of the cell centres
  2.077E-02  3.738E-01  6.596E-01  9.746E-01  1.376E+00

Y-coordinates of the cell centres
  6.000E-02  7.300E-01  1.262E+00  1.654E+00  2.165E+00

Z-coordinates of the cell centres
  1.732E-01  9.326E-01  1.758E+00  2.893E+00  3.939E+00
  5.278E+00

X-coordinates of the (higher) cell faces
  4.154E-02  3.789E-01  6.670E-01  9.773E-01  1.392E+00

Y-coordinates of the (higher) cell faces
  1.200E-01  7.773E-01  1.264E+00  1.725E+00  2.168E+00

Z-coordinates of the (higher) cell faces
  3.464E-01  9.567E-01  1.816E+00  2.957E+00  3.987E+00
  5.500E+00

Total number of F-array elements used is          16234392
--- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---

*****
*** Start of sweep 1677
*****

*****
Sources and sinks
!! Zero nett sources are not printed !!!

  Nett Sources have units of mass_per_unit_time * variable
  Average values have units of the variable

```

Typically the units of the sources are:

U1,V1,W1 - Force - Newtons

R1 - Mass - kg/s

TEM1 - Energy - Watts

Nett source of U1 at patch named: OB1 (EQUIPAMENTO) = -1.489609E+00
 Nett source of U1 at patch named: OB5 (BICO2) = 5.829669E-06
 Nett source of U1 at patch named: OB6 (BICO3) = -2.936760E-06
 Nett source of U1 at patch named: OBB (BICO1) = 1.503933E-06
 Nett source of U1 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = 1.254415E-01
 Nett source of U1 at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = -6.021599E-01
 Nett source of U1 at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = -6.021778E-01
 Nett source of U1 at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = 6.021470E-01
 Nett source of U1 at patch named: OBA (BICO3INLET3) = 6.021650E-01
 Nett source of U1 at patch named: OBC (BICO1INLET1) = -2.859624E+00
 Nett source of U1 at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 2.859585E+00
 Nett source of U1 at patch named: OBE (BICO1INLET3) = -2.859679E+00
 Nett source of U1 at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 2.859673E+00
 Nett source of U1 at patch named: OB3 (OUTLETBAIXO) = -3.613131E-04
 pos. sum=7.049019 neg. sum=-8.413614
 nett sum=-1.364595

Nett source of U2 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = 4.817069E-02
 pos. sum=0.048171 neg. sum=0.
 nett sum=0.048171

Nett source of V1 at patch named: OB1 (EQUIPAMENTO) = -5.908725E-01
 Nett source of V1 at patch named: OB5 (BICO2) = 3.066926E-07
 Nett source of V1 at patch named: OB6 (BICO3) = -2.710937E-07
 Nett source of V1 at patch named: OBB (BICO1) = -1.200336E-04
 Nett source of V1 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -5.323284E-01
 Nett source of V1 at patch named: OBC (BICO1INLET1) = 7.004608E+00
 Nett source of V1 at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 7.004513E+00
 Nett source of V1 at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 7.004744E+00
 Nett source of V1 at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 7.004729E+00
 Nett source of V1 at patch named: OB3 (OUTLETBAIXO) = 2.142921E-02
 pos. sum=28.040022 neg. sum=-1.123321
 nett sum=26.9167

Nett source of V2 at patch named: OB2 (GASINLET) = 6.119895E+01
 Nett source of V2 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -7.414850E-01
 pos. sum=61.198948 neg. sum=-0.741485
 nett sum=60.457462

Nett source of W1 at patch named: OB1 (EQUIPAMENTO) = -1.057100E+00
 Nett source of W1 at patch named: OB5 (BICO2) = -3.439451E-05
 Nett source of W1 at patch named: OB6 (BICO3) = -1.798732E-06
 Nett source of W1 at patch named: OBB (BICO1) = 1.100255E-03
 Nett source of W1 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -1.166387E+01
 Nett source of W1 at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = -6.021599E-01
 Nett source of W1 at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = -6.021778E-01
 Nett source of W1 at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = -6.021470E-01
 Nett source of W1 at patch named: OBA (BICO3INLET3) = -6.021650E-01
 Nett source of W1 at patch named: OBC (BICO1INLET1) = -2.859624E+00
 Nett source of W1 at patch named: OBD (BICO1INLET2) = -2.859585E+00
 Nett source of W1 at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 2.859679E+00

Nett source of W1 at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 2.859674E+00
 Nett source of W1 at patch named: BUOYANCY = -7.786575E+01
 pos. sum=5.720453 neg. sum=-98.714615
 nett sum=-92.994164

Nett source of W2 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -2.324024E+01
 pos. sum=0. neg. sum=-23.240238
 nett sum=-23.240238

Nett source of R1 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -2.182761E+00 (Mass
 Out -2.182761E+00 In 0.000000E+00)
 Nett source of R1 at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = 1.300561E-01
 Nett source of R1 at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = 1.300600E-01
 Nett source of R1 at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = 1.300534E-01
 Nett source of R1 at patch named: OBA (BICO3INLET3) = 1.300572E-01
 Nett source of R1 at patch named: OBC (BICO1INLET1) = 1.039214E+00
 Nett source of R1 at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 1.039200E+00
 Nett source of R1 at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 1.039234E+00
 Nett source of R1 at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 1.039232E+00
 pos. sum=4.677108 neg. sum=-2.182761
 nett sum=2.494346

Nett source of R2 at patch named: OB2 (GASINLET) = 4.152741E+00
 Nett source of R2 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -4.153128E+00 (Mass
 Out -4.153128E+00 In 0.000000E+00)
 pos. sum=4.152741 neg. sum=-4.153128
 nett sum=-3.862381E-04

Nett source of KE at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -7.605631E-01 (Ave Out
 3.487314E-01 In 0.000000E+00)
 Nett source of KE at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = 6.970002E-03 (Average
 5.359226E-02)
 Nett source of KE at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = 6.970210E-03 (Average
 5.359226E-02)
 Nett source of KE at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = 6.969853E-03 (Average
 5.359226E-02)
 Nett source of KE at patch named: OBA (BICO3INLET3) = 6.970061E-03 (Average
 5.359226E-02)
 Nett source of KE at patch named: OBC (BICO1INLET1) = 1.180327E-01 (Average
 1.135788E-01)
 Nett source of KE at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 1.180311E-01 (Average
 1.135788E-01)
 Nett source of KE at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 1.180350E-01 (Average
 1.135788E-01)
 Nett source of KE at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 1.180348E-01 (Average
 1.135788E-01)
 Nett source of KE at patch named: KESOURCE = -6.740853E+01
 pos. sum=0.500014 neg. sum=-68.169098
 nett sum=-67.669083

Nett source of EP at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -4.292679E+00 (Ave Out
 1.968161E+00 In 0.000000E+00)
 Nett source of EP at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = 9.542903E-01 (Average
 7.337527E+00)
 Nett source of EP at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = 9.543188E-01 (Average
 7.337527E+00)

Nett source of EP at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = 9.542700E-01 (Average
 7.337527E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBA (BICO3INLET3) = 9.542984E-01 (Average
 7.337527E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBC (BICO1INLET1) = 1.004170E+01 (Average
 9.662779E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 1.004156E+01 (Average
 9.662780E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 1.004189E+01 (Average
 9.662780E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 1.004187E+01 (Average
 9.662780E+00)
 Nett source of EP at patch named: KESOURCE = -3.914543E+03
 Nett source of EP at patch named: RNGMKE = 1.788488E+03
 pos. sum=1832.471802 neg. sum=-3918.835693
 nett sum=-2086.36377

Transfer rate of U1 from bulk to interface = 0.000E+00
 Transfer rate of U2 from bulk to interface = 0.000E+00
 Transfer rate of V1 from bulk to interface = 0.000E+00
 Transfer rate of V2 from bulk to interface = 0.000E+00
 Transfer rate of W1 from bulk to interface = 0.000E+00
 Transfer rate of W2 from bulk to interface = 0.000E+00
 Transfer rate of R1 from bulk to interface = 0.000E+00
 Transfer rate of R2 from bulk to interface = 0.000E+00
 On sweep 2416 DTFALS for P1 changed from -5.000000E-01 to -1.000000E+00
 On sweep 2416 DTFALS for KE changed from 5.000000E-01 to 1.000000E+00
 On sweep 2416 DTFALS for EP changed from 5.000000E-01 to 1.000000E+00
 On sweep 2442 DTFALS for KE changed from 1.000000E+00 to 5.000000E-01
 On sweep 2442 DTFALS for EP changed from 1.000000E+00 to 5.000000E-01
 On sweep 2453 DTFALS for P1 changed from -1.000000E+00 to -5.000000E-01
 On sweep 2932 DTFALS for P1 changed from -5.000000E-01 to -1.000000E+00

 *** Start of sweep 3036

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 9, ISWEEP= 3036, ISTEP= 1

Field Values of P1

| | | | | | |
|--------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= 35 | none | none | none | none | none |
| IY= 28 | none | 4.927E+02 | 3.108E+02 | 1.521E+02 | 3.729E+02 |
| IY= 21 | none | 3.889E+02 | 1.124E+02 | 5.964E+01 | 1.549E+02 |
| IY= 14 | none | 4.420E+02 | 4.405E+02 | 3.988E+02 | 4.036E+02 |
| IY= 7 | none | 3.579E+02 | none | none | none |
| IX= 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of U1

| | | | | | |
|--------|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= 35 | none | none | none | none | none |
| IY= 28 | none | 4.861E+00 | 9.466E+00 | 1.026E+01 | 8.561E+00 |
| IY= 21 | none | -2.050E+00 | -5.971E+00 | -4.860E+00 | none |
| IY= 14 | none | -1.937E+00 | -4.811E+00 | -5.730E+00 | -7.923E+00 |
| IY= 7 | none | -2.565E+00 | none | none | none |
| IX= 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of U2

| | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|
| IY= 35 | none | none | none | none | none |
|--------|------|------|------|------|------|

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 28 | none | 6.531E+00 | 1.011E+01 | 1.024E+01 | 8.128E+00 |
| IY= | 21 | none | -1.513E+00 | -5.437E+00 | -4.891E+00 | none |
| IY= | 14 | none | -2.146E+00 | -4.590E+00 | -6.084E+00 | -8.245E+00 |
| IY= | 7 | none | -5.505E-01 | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of V1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 34 | none | none | none | none | none |
| IY= | 27 | none | 1.659E+01 | 9.367E+00 | 1.600E+00 | -7.498E+00 |
| IY= | 20 | none | 1.730E+01 | 7.767E+00 | -1.656E+00 | 0.0 |
| IY= | 13 | none | 1.436E+01 | 5.053E+00 | -3.914E-01 | -6.623E+00 |
| IY= | 6 | none | 2.257E+01 | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of V2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 34 | none | none | none | none | none |
| IY= | 27 | none | 1.568E+01 | 8.803E+00 | 8.365E-01 | -7.775E+00 |
| IY= | 20 | none | 1.778E+01 | 8.171E+00 | -1.295E+00 | 0.0 |
| IY= | 13 | none | 1.481E+01 | 5.499E+00 | -1.921E-02 | -6.106E+00 |
| IY= | 6 | none | 2.408E+01 | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W1

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | -5.490E-01 | -3.651E+00 | 9.121E+00 | -1.978E+00 |
| IY= | 21 | none | -5.693E-01 | 6.867E+00 | 4.724E+00 | 7.620E+00 |
| IY= | 14 | none | 5.708E-02 | -2.614E+00 | -3.103E+00 | -1.982E+00 |
| IY= | 7 | none | 2.367E+00 | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W2

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | -2.918E-01 | -3.588E+00 | 9.359E+00 | -2.034E+00 |
| IY= | 21 | none | -9.009E-01 | 6.990E+00 | 4.668E+00 | 7.722E+00 |
| IY= | 14 | none | -3.431E-01 | -2.759E+00 | -3.238E+00 | -2.059E+00 |
| IY= | 7 | none | 2.002E-01 | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 3.588E-03 | 5.994E-04 | 9.658E-04 | 6.235E-04 |
| IY= | 21 | none | 3.214E-03 | 7.492E-04 | 5.614E-04 | 1.666E-03 |
| IY= | 14 | none | 2.289E-03 | 7.653E-04 | 3.614E-04 | 8.015E-04 |
| IY= | 7 | none | 4.185E-02 | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 9.964E-01 | 9.994E-01 | 9.990E-01 | 9.994E-01 |
| IY= | 21 | none | 9.968E-01 | 9.993E-01 | 9.994E-01 | 9.983E-01 |
| IY= | 14 | none | 9.977E-01 | 9.992E-01 | 9.996E-01 | 9.992E-01 |
| IY= | 7 | none | 9.582E-01 | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of KE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.386E+00 | 1.089E+00 | 1.335E+00 | 9.363E-01 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 21 | none | 1.505E+00 | 1.060E+00 | 9.719E-01 | 8.072E-01 |
| IY= | 14 | none | 1.880E+00 | 7.876E-01 | 5.062E-01 | 6.502E-01 |
| IY= | 7 | none | 2.516E+00 | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of EP

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 2.941E+01 | 3.003E+01 | 1.879E+02 | 1.623E+01 |
| IY= | 21 | none | 5.012E+01 | 2.446E+01 | 2.097E+01 | 2.754E+01 |
| IY= | 14 | none | 4.712E+01 | 1.440E+01 | 2.946E+01 | 9.601E+00 |
| IY= | 7 | none | 2.159E+02 | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of PRPS

| | | | | | | |
|-----|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| IY= | 35 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IY= | 28 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 21 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 14 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 7 | blockage | pil prop | blockage | blockage | blockage |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of EPKE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 2.122E+01 | 2.757E+01 | 1.407E+02 | 1.734E+01 |
| IY= | 21 | none | 3.330E+01 | 2.307E+01 | 2.157E+01 | 3.413E+01 |
| IY= | 14 | none | 2.507E+01 | 1.829E+01 | 5.820E+01 | 1.477E+01 |
| IY= | 7 | none | 8.583E+01 | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of DEN1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 21 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 14 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 7 | none | 1.000E+03 | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of EL1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 8.696E-03 | 5.931E-03 | 1.288E-03 | 8.747E-03 |
| IY= | 21 | none | 5.775E-03 | 6.996E-03 | 7.162E-03 | 4.126E-03 |
| IY= | 14 | none | 8.573E-03 | 7.607E-03 | 1.916E-03 | 8.559E-03 |
| IY= | 7 | none | 2.896E-03 | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of ENUT

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 5.520E-03 | 3.337E-03 | 8.023E-04 | 4.564E-03 |
| IY= | 21 | none | 3.820E-03 | 3.884E-03 | 3.807E-03 | 1.999E-03 |
| IY= | 14 | none | 6.337E-03 | 3.640E-03 | 7.350E-04 | 3.721E-03 |
| IY= | 7 | none | 2.477E-03 | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 18, ISWEEP= 3036, ISTEP= 1

Field Values of P1

| | | | | | | |
|-----|----|------|------|------|------|------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
|-----|----|------|------|------|------|------|

| | | | | | |
|--------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= 28 | none | 9.379E+01 | 8.134E+01 | 7.459E+01 | 8.114E+01 |
| IY= 21 | none | 8.546E+01 | 6.892E+01 | 6.793E+01 | 7.928E+01 |
| IY= 14 | none | 9.469E+01 | 8.292E+01 | 8.057E+01 | 8.981E+01 |
| IY= 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of U1

| | | | | | |
|--------|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= 35 | none | none | none | none | none |
| IY= 28 | none | 2.004E+00 | 1.619E+00 | 4.798E+00 | 3.653E+00 |
| IY= 21 | none | -2.212E+00 | -3.186E+00 | -1.383E+00 | -1.888E-01 |
| IY= 14 | none | -1.216E+00 | -4.494E+00 | -4.833E+00 | -3.032E+00 |
| IY= 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of U2

| | | | | | |
|--------|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= 35 | none | none | none | none | none |
| IY= 28 | none | 2.186E+00 | 1.640E+00 | 4.787E+00 | 3.608E+00 |
| IY= 21 | none | -2.030E+00 | -3.168E+00 | -1.395E+00 | -1.720E-01 |
| IY= 14 | none | -1.075E+00 | -4.439E+00 | -4.877E+00 | -3.083E+00 |
| IY= 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of V1

| | | | | | |
|--------|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= 34 | none | none | none | none | none |
| IY= 27 | none | 1.957E+00 | 4.212E+00 | 2.895E+00 | -2.409E+00 |
| IY= 20 | none | 3.393E+00 | 6.669E-01 | -1.570E+00 | -5.673E+00 |
| IY= 13 | none | 2.511E+00 | 1.029E+00 | -2.949E+00 | -9.461E-01 |
| IY= 6 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of V2

| | | | | | |
|--------|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= 34 | none | none | none | none | none |
| IY= 27 | none | 1.861E+00 | 4.098E+00 | 2.746E+00 | -2.502E+00 |
| IY= 20 | none | 3.496E+00 | 6.475E-01 | -1.531E+00 | -5.525E+00 |
| IY= 13 | none | 2.719E+00 | 1.184E+00 | -2.811E+00 | -8.260E-01 |
| IY= 6 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W1

| | | | | | |
|--------|------|------------|-----------|------------|------------|
| IY= 35 | none | none | none | none | none |
| IY= 28 | none | -5.392E-01 | 5.531E+00 | 7.667E+00 | 4.135E+00 |
| IY= 21 | none | 2.438E+00 | 1.276E+00 | -5.113E-01 | 9.439E+00 |
| IY= 14 | none | -6.884E-01 | 4.285E+00 | 6.790E+00 | -2.632E-01 |
| IY= 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W2

| | | | | | |
|--------|------|------------|-----------|------------|------------|
| IY= 35 | none | none | none | none | none |
| IY= 28 | none | -4.728E-01 | 5.459E+00 | 7.623E+00 | 4.079E+00 |
| IY= 21 | none | 2.415E+00 | 1.275E+00 | -4.827E-01 | 9.463E+00 |
| IY= 14 | none | -5.985E-01 | 4.223E+00 | 6.759E+00 | -1.998E-01 |
| IY= 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R1

| | | | | | |
|--------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= 35 | none | none | none | none | none |
| IY= 28 | none | 1.803E-03 | 8.001E-04 | 7.003E-04 | 9.717E-04 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 21 | none | 8.536E-04 | 4.930E-04 | 3.902E-04 | 1.075E-03 |
| IY= | 14 | none | 1.498E-03 | 9.437E-04 | 7.852E-04 | 1.179E-03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 9.982E-01 | 9.992E-01 | 9.993E-01 | 9.990E-01 |
| IY= | 21 | none | 9.991E-01 | 9.995E-01 | 9.996E-01 | 9.989E-01 |
| IY= | 14 | none | 9.985E-01 | 9.991E-01 | 9.992E-01 | 9.988E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of KE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 7.410E-02 | 1.969E-01 | 3.740E-01 | 2.103E-01 |
| IY= | 21 | none | 1.171E-01 | 4.018E-01 | 4.965E-01 | 2.765E-01 |
| IY= | 14 | none | 8.912E-02 | 1.896E-01 | 2.733E-01 | 1.094E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EP

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 2.802E-01 | 1.974E+00 | 8.731E+00 | 1.654E+00 |
| IY= | 21 | none | 3.799E-01 | 5.500E+00 | 8.298E+00 | 2.781E+00 |
| IY= | 14 | none | 6.108E-01 | 1.353E+00 | 2.793E+00 | 5.147E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of PRPS

| | | | | | | |
|-----|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| IY= | 35 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IY= | 28 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 21 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 14 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 7 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EPKE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 3.782E+00 | 1.003E+01 | 2.335E+01 | 7.867E+00 |
| IY= | 21 | none | 3.244E+00 | 1.369E+01 | 1.672E+01 | 1.006E+01 |
| IY= | 14 | none | 6.853E+00 | 7.136E+00 | 1.022E+01 | 4.706E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of DEN1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 21 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 14 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EL1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.128E-02 | 6.938E-03 | 4.105E-03 | 9.135E-03 |
| IY= | 21 | none | 1.653E-02 | 7.256E-03 | 6.607E-03 | 8.194E-03 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 14 | none | 6.827E-03 | 9.564E-03 | 8.018E-03 | 1.102E-02 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of ENUT

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.656E-03 | 1.660E-03 | 1.353E-03 | 2.258E-03 |
| IY= | 21 | none | 3.051E-03 | 2.480E-03 | 2.510E-03 | 2.323E-03 |
| IY= | 14 | none | 1.099E-03 | 2.246E-03 | 2.260E-03 | 1.964E-03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 27, ISWEEP= 3036, ISTEP= 1

Field Values of P1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 9.334E+01 | 8.807E+01 | 8.667E+01 | 9.263E+01 |
| IY= | 21 | none | 9.136E+01 | 8.062E+01 | 7.458E+01 | 8.986E+01 |
| IY= | 14 | none | 9.577E+01 | 9.104E+01 | 8.887E+01 | 9.469E+01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of U1

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.616E+00 | 2.315E+00 | 2.800E+00 | 1.365E+00 |
| IY= | 21 | none | -1.066E+00 | -1.617E+00 | -2.001E+00 | -1.201E+00 |
| IY= | 14 | none | -1.936E+00 | -2.970E+00 | -3.410E+00 | -1.887E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of U2

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.722E+00 | 2.373E+00 | 2.780E+00 | 1.286E+00 |
| IY= | 21 | none | -9.538E-01 | -1.494E+00 | -2.072E+00 | -1.311E+00 |
| IY= | 14 | none | -1.868E+00 | -2.920E+00 | -3.443E+00 | -1.960E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of V1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 34 | none | none | none | none | none |
| IY= | 27 | none | 2.797E+00 | 1.748E+00 | -5.494E-01 | -1.930E+00 |
| IY= | 20 | none | 3.247E+00 | 2.923E+00 | -1.094E+00 | -2.726E+00 |
| IY= | 13 | none | 2.065E+00 | 1.581E+00 | -2.176E-01 | -2.0 |
| IY= | 6 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of V2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 34 | none | none | none | none | none |
| IY= | 27 | none | 2.736E+00 | 1.672E+00 | -6.542E-01 | -1.961E+00 |
| IY= | 20 | none | 3.295E+00 | 3.016E+00 | -9.736E-01 | -2.672E+00 |
| IY= | 13 | none | 2.146E+00 | 1.700E+00 | -8.798E-02 | -1.941E+00 |
| IY= | 6 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of W1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.359E+00 | 2.284E+00 | 2.435E+00 | 1.830E+00 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 21 | none | 2.949E+00 | 5.825E-01 | 9.445E-02 | 2.888E+00 |
| IY= | 14 | none | 1.729E+00 | 3.486E+00 | 2.991E+00 | 2.929E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.408E+00 | 2.341E+00 | 2.503E+00 | 1.922E+00 |
| IY= | 21 | none | 2.994E+00 | 6.030E-01 | 9.493E-02 | 2.937E+00 |
| IY= | 14 | none | 1.793E+00 | 3.528E+00 | 3.030E+00 | 2.989E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 8.897E-04 | 6.104E-04 | 6.083E-04 | 8.687E-04 |
| IY= | 21 | none | 7.031E-04 | 4.596E-04 | 3.974E-04 | 6.118E-04 |
| IY= | 14 | none | 9.660E-04 | 7.239E-04 | 6.142E-04 | 7.004E-04 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 9.991E-01 | 9.994E-01 | 9.994E-01 | 9.991E-01 |
| IY= | 21 | none | 9.993E-01 | 9.995E-01 | 9.996E-01 | 9.994E-01 |
| IY= | 14 | none | 9.990E-01 | 9.993E-01 | 9.994E-01 | 9.993E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of KE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 7.539E-02 | 7.061E-02 | 6.617E-02 | 5.330E-02 |
| IY= | 21 | none | 8.571E-02 | 8.100E-02 | 7.763E-02 | 6.772E-02 |
| IY= | 14 | none | 7.862E-02 | 7.606E-02 | 7.565E-02 | 6.812E-02 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EP

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 3.807E-01 | 3.225E-01 | 2.841E-01 | 2.251E-01 |
| IY= | 21 | none | 5.688E-01 | 4.797E-01 | 4.440E-01 | 3.754E-01 |
| IY= | 14 | none | 4.698E-01 | 3.512E-01 | 3.408E-01 | 3.008E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of PRPS

| | | | | | | |
|-----|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| IY= | 35 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IY= | 28 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 21 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 14 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 7 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EPKE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 5.050E+00 | 4.568E+00 | 4.293E+00 | 4.224E+00 |
| IY= | 21 | none | 6.637E+00 | 5.923E+00 | 5.720E+00 | 5.544E+00 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 14 | none | 5.976E+00 | 4.618E+00 | 4.504E+00 | 4.417E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of DEN1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 21 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 14 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of EL1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 8.522E-03 | 9.117E-03 | 9.391E-03 | 8.566E-03 |
| IY= | 21 | none | 6.914E-03 | 7.531E-03 | 7.634E-03 | 7.357E-03 |
| IY= | 14 | none | 7.354E-03 | 9.361E-03 | 9.570E-03 | 9.262E-03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of ENUT

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.262E-03 | 1.306E-03 | 1.302E-03 | 1.066E-03 |
| IY= | 21 | none | 1.091E-03 | 1.156E-03 | 1.147E-03 | 1.032E-03 |
| IY= | 14 | none | 1.112E-03 | 1.392E-03 | 1.419E-03 | 1.303E-03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 36, ISWEEP= 3036, ISTEP= 1

Field Values of P1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 8.709E+01 | 8.109E+01 | 7.956E+01 | 8.280E+01 |
| IY= | 21 | none | 8.584E+01 | 7.960E+01 | 7.689E+01 | 8.226E+01 |
| IY= | 14 | none | 8.862E+01 | 8.512E+01 | 8.568E+01 | 8.569E+01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of U1

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.292E+00 | 2.199E+00 | 2.175E+00 | 2.021E+00 |
| IY= | 21 | none | -1.258E+00 | -1.791E+00 | -2.193E+00 | -9.154E-01 |
| IY= | 14 | none | -1.708E+00 | -2.181E+00 | -2.049E+00 | -1.518E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of U2

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.374E+00 | 2.288E+00 | 2.187E+00 | 1.979E+00 |
| IY= | 21 | none | -1.177E+00 | -1.708E+00 | -2.222E+00 | -9.758E-01 |
| IY= | 14 | none | -1.662E+00 | -2.140E+00 | -2.007E+00 | -1.546E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of V1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 34 | none | none | none | none | none |
| IY= | 27 | none | 2.450E+00 | 2.156E+00 | -2.384E-01 | -1.153E+00 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 20 | none | 2.127E+00 | 1.845E+00 | -3.562E-01 | -1.551E+00 |
| IY= | 13 | none | 1.581E+00 | 6.760E-01 | -2.105E-01 | -9.296E-01 |
| IY= | 6 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of V2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 34 | none | none | none | none | none |
| IY= | 27 | none | 2.403E+00 | 2.076E+00 | -3.631E-01 | -1.212E+00 |
| IY= | 20 | none | 2.172E+00 | 1.927E+00 | -2.569E-01 | -1.502E+00 |
| IY= | 13 | none | 1.630E+00 | 7.542E-01 | -2.047E-01 | -8.814E-01 |
| IY= | 6 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.852E+00 | 1.783E+00 | 9.900E-01 | 1.605E+00 |
| IY= | 21 | none | 1.584E+00 | 1.637E+00 | 2.185E+00 | 2.012E+00 |
| IY= | 14 | none | 2.290E+00 | 2.416E+00 | 2.136E+00 | 1.735E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.936E+00 | 1.850E+00 | 1.555E+00 | 1.777E+00 |
| IY= | 21 | none | 1.707E+00 | 1.743E+00 | 2.258E+00 | 2.108E+00 |
| IY= | 14 | none | 2.398E+00 | 2.560E+00 | 2.511E+00 | 1.834E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 8.584E-04 | 6.555E-04 | 6.048E-04 | 1.079E-03 |
| IY= | 21 | none | 1.135E-03 | 8.616E-04 | 5.435E-04 | 7.941E-04 |
| IY= | 14 | none | 8.913E-04 | 1.045E-03 | 9.136E-04 | 9.038E-04 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 9.991E-01 | 9.993E-01 | 9.994E-01 | 9.989E-01 |
| IY= | 21 | none | 9.989E-01 | 9.991E-01 | 9.995E-01 | 9.992E-01 |
| IY= | 14 | none | 9.991E-01 | 9.990E-01 | 9.991E-01 | 9.991E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of KE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 7.007E-02 | 6.741E-02 | 7.199E-02 | 7.113E-02 |
| IY= | 21 | none | 7.413E-02 | 6.531E-02 | 6.053E-02 | 5.631E-02 |
| IY= | 14 | none | 7.900E-02 | 6.999E-02 | 5.753E-02 | 4.539E-02 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EP

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 3.228E-01 | 2.616E-01 | 8.514E-01 | 2.895E-01 |
| IY= | 21 | none | 4.466E-01 | 3.414E-01 | 3.039E-01 | 2.369E-01 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 14 | none | 4.898E-01 | 3.990E-01 | 9.801E-01 | 1.652E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of PRPS

| | | | | | | |
|-----|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| IY= | 35 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IY= | 28 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 21 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 14 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 7 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of EPKE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 4.607E+00 | 3.882E+00 | 1.183E+01 | 4.070E+00 |
| IY= | 21 | none | 6.025E+00 | 5.228E+00 | 5.020E+00 | 4.207E+00 |
| IY= | 14 | none | 6.201E+00 | 5.701E+00 | 1.703E+01 | 3.640E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of DEN1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 21 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 14 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of EL1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 9.005E-03 | 1.048E-02 | 3.556E-03 | 1.027E-02 |
| IY= | 21 | none | 7.083E-03 | 7.662E-03 | 7.682E-03 | 8.841E-03 |
| IY= | 14 | none | 7.105E-03 | 7.274E-03 | 2.206E-03 | 9.173E-03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of ENUT

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.285E-03 | 1.468E-03 | 5.143E-04 | 1.477E-03 |
| IY= | 21 | none | 1.040E-03 | 1.056E-03 | 1.019E-03 | 1.131E-03 |
| IY= | 14 | none | 1.077E-03 | 1.038E-03 | 2.853E-04 | 1.054E-03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Flow field at ITHYD= 1, IZ= 45, ISWEEP= 3036, ISTEP= 1

Field Values of P1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 7.810E+01 | 7.108E+01 | 6.378E+01 | 7.112E+01 |
| IY= | 21 | none | 7.480E+01 | 6.363E+01 | 4.922E+01 | 6.485E+01 |
| IY= | 14 | none | 7.833E+01 | 7.323E+01 | 6.892E+01 | 7.428E+01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | 16 | 31 | 46 | 61 | |

Field Values of U1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.700E+00 | 2.842E+00 | 3.502E+00 | 1.688E+00 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 21 | none | 2.362E-01 | -4.055E-01 | -2.790E+00 | -2.239E+00 |
| IY= | 14 | none | -1.037E+00 | -1.813E+00 | -2.996E+00 | -2.517E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of U2

| | | | | | | |
|-----|----|------|------------|------------|------------|------------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.806E+00 | 2.951E+00 | 3.527E+00 | 1.586E+00 |
| IY= | 21 | none | 3.364E-01 | -2.664E-01 | -2.750E+00 | -2.403E+00 |
| IY= | 14 | none | -9.673E-01 | -1.747E+00 | -2.982E+00 | -2.607E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of V1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 34 | none | none | none | none | none |
| IY= | 27 | none | 1.425E+00 | 1.079E+00 | -6.361E-01 | -2.771E+00 |
| IY= | 20 | none | 2.436E+00 | 3.188E+00 | 1.149E+00 | -2.250E+00 |
| IY= | 13 | none | 1.609E+00 | 1.927E+00 | 8.030E-01 | -1.266E+00 |
| IY= | 6 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of V2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|------------|------------|
| IY= | 34 | none | none | none | none | none |
| IY= | 27 | none | 1.361E+00 | 9.652E-01 | -8.322E-01 | -2.869E+00 |
| IY= | 20 | none | 2.475E+00 | 3.279E+00 | 1.333E+00 | -2.140E+00 |
| IY= | 13 | none | 1.670E+00 | 2.038E+00 | 9.511E-01 | -1.183E+00 |
| IY= | 6 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | none | 1.645E+00 | 2.366E+00 | 9.237E-01 |
| IY= | 21 | none | 8.486E-01 | 3.298E+00 | 6.104E+00 | 2.273E+00 |
| IY= | 14 | none | none | 9.079E-01 | 1.672E+00 | 6.740E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of W2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | none | 1.849E+00 | 2.583E+00 | 1.109E+00 |
| IY= | 21 | none | 1.090E+00 | 3.591E+00 | 6.374E+00 | 2.484E+00 |
| IY= | 14 | none | none | 1.091E+00 | 1.861E+00 | 8.618E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.277E-03 | 1.136E-03 | 1.005E-03 | 1.149E-03 |
| IY= | 21 | none | 1.230E-03 | 9.673E-04 | 7.078E-04 | 1.008E-03 |
| IY= | 14 | none | 1.269E-03 | 1.165E-03 | 1.024E-03 | 1.136E-03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of R2

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 9.987E-01 | 9.989E-01 | 9.990E-01 | 9.989E-01 |
| IY= | 21 | none | 9.988E-01 | 9.990E-01 | 9.993E-01 | 9.990E-01 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 14 | none | 9.987E-01 | 9.988E-01 | 9.990E-01 | 9.989E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of KE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 3.992E-02 | 9.470E-02 | 1.280E-01 | 8.790E-02 |
| IY= | 21 | none | 5.788E-02 | 1.458E-01 | 1.784E-01 | 1.291E-01 |
| IY= | 14 | none | 3.281E-02 | 7.417E-02 | 1.074E-01 | 6.688E-02 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EP

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 3.485E-02 | 2.426E-01 | 3.600E-01 | 2.054E-01 |
| IY= | 21 | none | 1.125E-01 | 4.728E-01 | 7.246E-01 | 3.715E-01 |
| IY= | 14 | none | 2.949E-02 | 1.715E-01 | 2.902E-01 | 1.145E-01 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of PRPS

| | | | | | | |
|-----|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| IY= | 35 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IY= | 28 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 21 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 14 | blockage | pil prop | pil prop | pil prop | pil prop |
| IY= | 7 | blockage | blockage | blockage | blockage | blockage |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EPKE

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 8.735E-01 | 2.562E+00 | 2.812E+00 | 2.337E+00 |
| IY= | 21 | none | 1.944E+00 | 3.243E+00 | 4.061E+00 | 2.879E+00 |
| IY= | 14 | none | 8.981E-01 | 2.312E+00 | 2.702E+00 | 1.712E+00 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of DEN1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 21 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 14 | none | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 | 1.000E+03 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of EL1

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 3.587E-02 | 1.883E-02 | 1.994E-02 | 1.988E-02 |
| IY= | 21 | none | 1.940E-02 | 1.845E-02 | 1.630E-02 | 1.956E-02 |
| IY= | 14 | none | 3.159E-02 | 1.847E-02 | 1.901E-02 | 2.367E-02 |
| IY= | 7 | none | none | none | none | none |
| IX= | 1 | | 16 | 31 | 46 | 61 |

Field Values of ENUT

| | | | | | | |
|-----|----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IY= | 35 | none | none | none | none | none |
| IY= | 28 | none | 3.864E-03 | 3.124E-03 | 3.847E-03 | 3.178E-03 |
| IY= | 21 | none | 2.516E-03 | 3.799E-03 | 3.713E-03 | 3.788E-03 |
| IY= | 14 | none | 3.086E-03 | 2.711E-03 | 3.358E-03 | 3.301E-03 |

IY= 7 none none none none none
IX= 1 16 31 46 61

Whole-field residuals before solution at sweep 3036
with resref values determined by EARTH
& resfac=1.0E-04

| variable | resref | (res sum)/resref | (res sum) |
|----------|-----------|------------------|-----------|
| P1 | 1.051E+02 | 5.344E-05 | 5.619E-03 |
| U1 | 7.640E+02 | 3.887E-03 | 2.970E+00 |
| U2 | 3.572E+03 | 1.000E-08 | 3.572E-05 |
| V1 | 7.640E+02 | 3.233E-03 | 2.470E+00 |
| V2 | 3.572E+03 | 1.797E-10 | 6.420E-07 |
| W1 | 7.640E+02 | 1.787E-03 | 1.365E+00 |
| W2 | 3.572E+03 | 1.000E-08 | 3.572E-05 |
| R1 | 5.899E+01 | 2.329E-02 | 1.374E+00 |
| R2 | 5.846E+01 | 1.330E-04 | 7.773E-03 |
| KE | 1.503E+02 | 3.252E-03 | 4.889E-01 |
| EP | 6.836E+03 | 2.230E-03 | 1.525E+01 |

Sources and sinks

!! Zero nett sources are not printed !!!

Nett Sources have units of mass_per_unit_time * variable
Average values have units of the variable

Typically the units of the sources are:

U1,V1,W1 - Force - Newtons
R1 - Mass - kg/s
TEM1 - Energy - Watts

Nett source of U1 at patch named: OB1 (EQUIPAMENTO) = -1.295828E+00
Nett source of U1 at patch named: OB5 (BICO2) = 7.760360E-06
Nett source of U1 at patch named: OB6 (BICO3) = -6.009580E-06
Nett source of U1 at patch named: OBB (BICO1) = 1.501129E-06
Nett source of U1 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -1.988979E-01
Nett source of U1 at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = -6.021599E-01
Nett source of U1 at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = -6.021778E-01
Nett source of U1 at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = 6.021470E-01
Nett source of U1 at patch named: OBA (BICO3INLET3) = 6.021650E-01
Nett source of U1 at patch named: OBC (BICO1INLET1) = -2.859624E+00
Nett source of U1 at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 2.859585E+00
Nett source of U1 at patch named: OBE (BICO1INLET3) = -2.859679E+00
Nett source of U1 at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 2.859673E+00
Nett source of U1 at patch named: OB3 (OUTLETBAIXO) = 5.542448E-05
pos. sum=6.923635 neg. sum=-8.418372
nett sum=-1.494738

Nett source of U2 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = 2.202991E-02
pos. sum=0.02203 neg. sum=0.
nett sum=0.02203

Nett source of V1 at patch named: OB1 (EQUIPAMENTO) = -8.267162E-01
Nett source of V1 at patch named: OB5 (BICO2) = -7.628490E-07
Nett source of V1 at patch named: OB6 (BICO3) = -9.190424E-08
Nett source of V1 at patch named: OBB (BICO1) = -1.200191E-04

Nett source of V1 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -8.610274E-01
 Nett source of V1 at patch named: OBC (BICO1INLET1) = 7.004608E+00
 Nett source of V1 at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 7.004513E+00
 Nett source of V1 at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 7.004744E+00
 Nett source of V1 at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 7.004729E+00
 Nett source of V1 at patch named: OB3 (OUTLETBAIXO) = 3.556006E-02
 pos. sum=28.054153 neg. sum=-1.687865
 nett sum=26.366289

Nett source of V2 at patch named: OB2 (GASINLET) = 6.119895E+01
 Nett source of V2 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -6.985259E-01
 pos. sum=61.198948 neg. sum=-0.698526
 nett sum=60.500423

Nett source of W1 at patch named: OB1 (EQUIPAMENTO) = -5.873945E-01
 Nett source of W1 at patch named: OB5 (BICO2) = -7.025596E-05
 Nett source of W1 at patch named: OB6 (BICO3) = -2.732171E-05
 Nett source of W1 at patch named: OBB (BICO1) = 1.100257E-03
 Nett source of W1 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -1.862436E+01
 Nett source of W1 at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = -6.021599E-01
 Nett source of W1 at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = -6.021778E-01
 Nett source of W1 at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = -6.021470E-01
 Nett source of W1 at patch named: OBA (BICO3INLET3) = -6.021650E-01
 Nett source of W1 at patch named: OBC (BICO1INLET1) = -2.859624E+00
 Nett source of W1 at patch named: OBD (BICO1INLET2) = -2.859585E+00
 Nett source of W1 at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 2.859679E+00
 Nett source of W1 at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 2.859674E+00
 Nett source of W1 at patch named: BUOYANCY = -1.132908E+02
 pos. sum=5.720453 neg. sum=-140.630463
 nett sum=-134.910004

Nett source of W2 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -2.487235E+01
 pos. sum=0. neg. sum=-24.872347
 nett sum=-24.872347

Nett source of R1 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -3.328921E+00 (Mass
 Out -3.328921E+00 In 0.000000E+00)
 Nett source of R1 at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = 1.300561E-01
 Nett source of R1 at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = 1.300600E-01
 Nett source of R1 at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = 1.300534E-01
 Nett source of R1 at patch named: OBA (BICO3INLET3) = 1.300572E-01
 Nett source of R1 at patch named: OBC (BICO1INLET1) = 1.039214E+00
 Nett source of R1 at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 1.039200E+00
 Nett source of R1 at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 1.039234E+00
 Nett source of R1 at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 1.039232E+00
 pos. sum=4.677108 neg. sum=-3.328921
 nett sum=1.348187

Nett source of R2 at patch named: OB2 (GASINLET) = 4.152741E+00
 Nett source of R2 at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -4.153881E+00 (Mass
 Out -4.153881E+00 In 0.000000E+00)
 pos. sum=4.152741 neg. sum=-4.153881
 nett sum=-1.139164E-03

Nett source of KE at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -1.058460E+00 (Ave Out
 3.180050E-01 In 0.000000E+00)

Nett source of KE at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = 6.970002E-03 (Average
 5.359226E-02)
 Nett source of KE at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = 6.970210E-03 (Average
 5.359226E-02)
 Nett source of KE at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = 6.969853E-03 (Average
 5.359226E-02)
 Nett source of KE at patch named: OBA (BICO3INLET3) = 6.970061E-03 (Average
 5.359226E-02)
 Nett source of KE at patch named: OBC (BICO1INLET1) = 1.180327E-01 (Average
 1.135788E-01)
 Nett source of KE at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 1.180311E-01 (Average
 1.135788E-01)
 Nett source of KE at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 1.180350E-01 (Average
 1.135788E-01)
 Nett source of KE at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 1.180348E-01 (Average
 1.135788E-01)
 Nett source of KE at patch named: KESOURCE = -6.984767E+01
 pos. sum=0.500014 neg. sum=-70.906128
 nett sum=-70.406113

Nett source of EP at patch named: OB4 (OUTLETCIMA) = -5.675482E+00 (Ave Out
 1.705127E+00 In 0.000000E+00)
 Nett source of EP at patch named: OB7 (BICO2INLET1) = 9.542903E-01 (Average
 7.337527E+00)
 Nett source of EP at patch named: OB8 (BICO3INLET1) = 9.543188E-01 (Average
 7.337527E+00)
 Nett source of EP at patch named: OB9 (BICO2INLET3) = 9.542700E-01 (Average
 7.337527E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBA (BICO3INLET3) = 9.542984E-01 (Average
 7.337527E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBC (BICO1INLET1) = 1.004170E+01 (Average
 9.662779E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBD (BICO1INLET2) = 1.004156E+01 (Average
 9.662780E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBE (BICO1INLET3) = 1.004189E+01 (Average
 9.662780E+00)
 Nett source of EP at patch named: OBF (BICO1INLET4) = 1.004187E+01 (Average
 9.662780E+00)
 Nett source of EP at patch named: KESOURCE = -3.939906E+03
 Nett source of EP at patch named: RNGMKE = 1.810813E+03
 pos. sum=1854.797363 neg. sum=-3945.581055
 nett sum=-2090.783691

Transfer rate of U1 from bulk to interface = -3.275E+00
 Transfer rate of U2 from bulk to interface = 3.275E+00
 Transfer rate of V1 from bulk to interface = 6.140E+01
 Transfer rate of V2 from bulk to interface = -6.140E+01
 Transfer rate of W1 from bulk to interface = -1.292E+02
 Transfer rate of W2 from bulk to interface = 1.292E+02
 Transfer rate of R1 from bulk to interface = 0.000E+00
 Transfer rate of R2 from bulk to interface = 0.000E+00

spot values vs sweep or iteration number
 IXMON= 22 IYMON= 7 IZMON= 7 TIMESTEP= 1

Tabulation of abscissa and ordinates...

| ISWP | P1 | U1 | U2 | V1 | V2 |
|------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| 1 | 0.0000E+00 | 1.3759E+00 | 9.9941E-11 | 3.3692E+00 | 3.0161E+00 |
| 701 | 1.8714E+02 | 2.6431E+00 | -1.4188E+00 | 6.8809E+00 | 8.4652E+00 |
| 1401 | 3.1296E+02 | 2.6432E+00 | -1.4174E+00 | 6.8807E+00 | 8.4586E+00 |
| 2101 | 3.2867E+02 | 2.6433E+00 | -1.4132E+00 | 6.8806E+00 | 8.4539E+00 |
| 2801 | 3.2808E+02 | 2.6433E+00 | -1.4127E+00 | 6.8806E+00 | 8.4531E+00 |

| ISWP | W1 | W2 | R1 | R2 | KE |
|------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1 | -1.3756E+00 | -1.2957E+00 | 1.2004E-06 | 1.0000E+00 | 1.1310E-01 |
| 701 | -2.7191E+00 | -1.8212E-01 | 1.9520E-01 | 8.0480E-01 | 5.7314E-01 |
| 1401 | -2.7192E+00 | -1.7331E-01 | 1.9526E-01 | 8.0474E-01 | 5.7164E-01 |
| 2101 | -2.7192E+00 | -1.7407E-01 | 1.9525E-01 | 8.0475E-01 | 5.7171E-01 |
| 2801 | -2.7192E+00 | -1.7450E-01 | 1.9525E-01 | 8.0475E-01 | 5.7175E-01 |

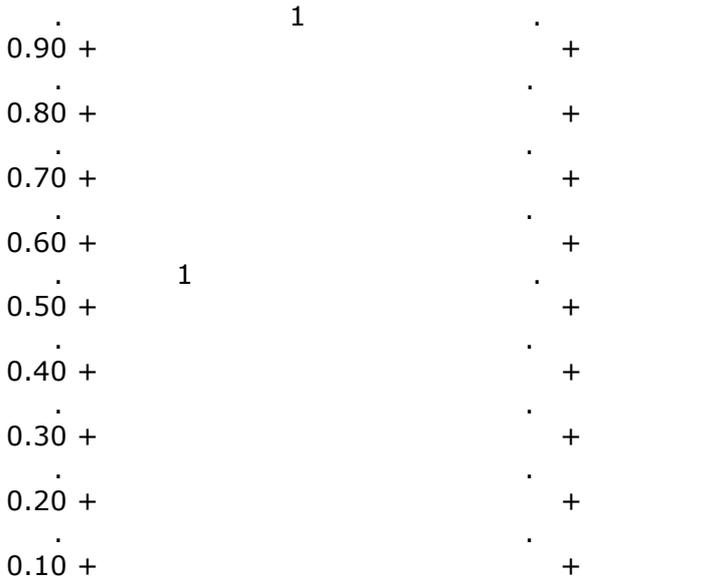
| ISWP | EP |
|------|------------|
| 1 | 9.6224E+00 |
| 701 | 6.5980E+01 |
| 1401 | 6.5853E+01 |
| 2101 | 6.5868E+01 |
| 2801 | 6.5871E+01 |

Variable 1 = P1 2 = U1 3 = U2 4 = V1 5 = V2
 Minval= 0.000E+00 1.376E+00 -1.419E+00 3.369E+00 3.016E+00
 Maxval= 3.287E+02 2.643E+00 9.994E-11 6.881E+00 8.465E+00
 Cellav= 2.314E+02 2.390E+00 -1.132E+00 6.178E+00 7.369E+00

Variable 6 = W1 7 = W2 8 = R1 9 = R2 10 = KE
 Minval= -2.719E+00 -1.296E+00 1.200E-06 8.047E-01 1.131E-01
 Maxval= -1.376E+00 -1.733E-01 1.953E-01 1.000E+00 5.731E-01
 Cellav= -2.450E+00 -3.999E-01 1.562E-01 8.438E-01 4.803E-01

Variable 11 = EP
 Minval= 9.622E+00
 Maxval= 6.598E+01
 Cellav= 5.464E+01

1.00 9....+....+..0.+....+....0....+....+..0.+....+....0



0.00 0....+....+..9.+....+....9....+....+..9.+....+....9
 0 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1.0

the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 2.80E+03

residuals vs sweep or iteration number

Tabulation of abscissa and ordinates...

| ISWP | P1 | U1 | U2 | V1 | V2 |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 1.1000E+00 | 1.8261E+00 | 1.0000E-08 | 1.0000E+00 | 1.7974E-10 |
| 701 | 5.3351E-03 | 4.0720E-02 | 1.0000E-08 | 3.7310E-02 | 1.7974E-10 |
| 1401 | 1.5947E-03 | 1.5020E-02 | 1.0000E-08 | 1.5164E-02 | 1.7974E-10 |
| 2101 | 2.9540E-04 | 6.9640E-03 | 1.0000E-08 | 5.9406E-03 | 1.7974E-10 |
| 2801 | 1.2934E-04 | 4.4126E-03 | 1.0000E-08 | 3.6488E-03 | 1.7974E-10 |

| ISWP | W1 | W2 | R1 | R2 | KE |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 3.4570E-01 | 1.0000E-08 | 1.0000E+00 | 1.0000E+00 | 1.0000E+00 |
| 701 | 3.8325E-02 | 1.0000E-08 | 2.6982E-01 | 7.7322E-03 | 6.7560E-02 |
| 1401 | 1.5635E-02 | 1.0000E-08 | 1.0527E-01 | 2.9254E-03 | 1.3114E-02 |
| 2101 | 3.5485E-03 | 1.0000E-08 | 4.0870E-02 | 6.2106E-04 | 5.9979E-03 |
| 2801 | 1.9277E-03 | 1.0000E-08 | 2.6693E-02 | 2.9692E-04 | 3.8554E-03 |

| ISWP | EP |
|------|------------|
| 1 | 1.0000E+00 |
| 701 | 5.4559E-02 |
| 1401 | 1.0001E-02 |
| 2101 | 4.1685E-03 |
| 2801 | 2.5860E-03 |

Variable 1 = P1 2 = U1 3 = U2 4 = V1 5 = V2

Minval= -8.953E+00 -5.423E+00 -1.842E+01 -5.613E+00 -2.244E+01

Maxval= 9.531E-02 6.022E-01 -1.842E+01 5.960E-07 -2.244E+01

Variable 6 = W1 7 = W2 8 = R1 9 = R2 10 = KE

Minval= -6.251E+00 -1.842E+01 -3.623E+00 -8.122E+00 -5.558E+00

Maxval= -1.062E+00 -1.842E+01 0.000E+00 0.000E+00 1.192E-07

Variable 11 = EP

Minval= -5.958E+00

Maxval= 0.000E+00

1.00 0....+....+....+....+....+....+....+....+....+....+

```

.
0.90 +
.
0.80 +
.
0.70 +
.
0.60 +      8
      6
.
0.50 +      0
.
0.40 +      9      8
      2
.
0.30 +          9
          0
.
0.20 +          0
.
0.10 +          0
.
0.00 7....+....+..7.+....+....7....+....+..7.+....+....0
      0 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1.0

```

the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 2.80E+03

```
*****  
SATLIT RUN NUMBER = 1 ; LIBRARY REF.= 0  
Run started at 10:41:18 on Monday, 18 August 2014  
Run completed at 12:11:31 on Monday, 18 August 2014  
CPU time of run 5374 s  
This includes 5179 seconds of user time and 195 seconds of system time.  
TIME/(VARIABLES*CELLS*TSTEPS*SWEEPS*ITS) = 1.333E-06  
*****
```