

2019

# Introdução ao Ansys CFX

Prof. Cristiano Vitorino da Silva, Doutor em  
Engenharia Mecânica – UFRGS, Área de  
Fenômenos de Transporte, Coordenador de  
Área das Engenharias e Ciência da  
Computação – DECC URI – Campus de  
Erechim  
1/1/2019

URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim  
Engenharia Mecânica

GEAPI - Grupo de Engenharia Aplicada a Processos Industriais  
LABSIM - Laboratório de Simulação Numérica

# Introdução ao Ansys CFX



**Professor Dr. Cristiano Vitorino da Silva**

Setembro de 2019.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2. CFD</b>	3
2.1. O QUE É CFD?	3
2.2. A MATEMÁTICA DO CFD	4
2.3. APLICAÇÕES DE CFD	4
2.4. METODOLOGIA DO CFD	4
2.4.1. Pré-Processamento	4
2.4.2. Processamento(Solução)	5
2.4.3. Pós-Processamento	5
<b>3. A ESTRUTURA DO CFX</b>	6
3.1. ICEM-CFD	6
3.2. CFX-Pre	6
3.3 CFXSOLVER	6
3.4 CFXSOLVER MANAGER	7
3.5 CFX-POST	7
<b>4. TIPOS DE ARQUIVOS DO CFX</b>	7
4.1. ICEM-CFD	7
4.2. CFX-PRE	7
4.3 CFXSOLVER	7
4.4 CFX-POST	8
<b>5. ICEM-CFD</b>	8
5.1. CORREÇÃO DA GEOMETRIA	8
5.2 TETRA	8
5.2.1. Detalhes da geometria necessários	9
5.3. PRISMAS	9
5.4. HEXA - Não disponível no pacote dos laboratórios da URI.	9
<b>6. CFX-PRE</b>	9
6.1. TIPOS DE ARQUIVOS DO CFX-PRE	10
6.1.1. Case Files (*.cfx)	10
6.1.2. GTM Files (*.gtm)	11
6.1.3 Definition Files (*.def)	11
6.1.4. Session Files (*.pre)	11
6.1.5. Arquivos de Malha ( <i>Mesh Files</i> )	11
6.1.6. CCL Files (*.ccl)	11
6.1.7. Result Files (*.res)	11
6.2. VIEWER	11
6.2.1. Operações com o mouse	12
6.3. OBJECT SELECTOR	13
6.4. PHISICS CHECKING (VALIDAÇÃO DA FÍSICA)	14
6.5 UNIDADES E DIMENSÕES	14
6.6 TIPO DE SIMULAÇÃO	14
6.7. DOMÍNIOS	15
6.7.1. General Options	15
6.7.2. Fluid Models	16
6.8. CONDIÇÕES DE CONTORNO	17
6.8.1. Esquema de cores	17
<b>7. CFX-SOLVER MANAGER</b>	17
7.1. MONITORANDO E OBTENDO A CONVERGÊNCIA	18
7.1.1. O Resíduo	18
7.1.2. Julgando a convergência	18
<b>8. CFX-POST</b>	18
8.1 INTRODUÇÃO	18
8.2 THE VIEWER	18
<b>9. EXEMPLOS</b>	18
<b>10. BIBLIOGRAFIA</b>	18
<b>11. ANEXOS</b>	19
11.1- Iniciação ao ICEM CFD – Criando a primeira geometria.	19
11.2- Iniciação ao CFX – Quick Setup	22
11.3 – Usando o ICEM CFD – Importar geometria do Solid Edge	26
11.4- Iniciação ao CFX – General Mode	29
11.5- Iniciação ao CFX – General Mode: Flow from a Circular Vent	32

## 1. INTRODUÇÃO

Os métodos tradicionais para a solução numérica de equações diferenciais são os Métodos de Diferenças Finitas (MDF), de Volumes Finitos (MVF) e de Elementos Finitos (MEF). Com o grande desenvolvimento experimentado pelos métodos numéricos e a consequente penetração dos mesmos na engenharia, não raramente se travam discussões polêmicas a respeito da eficiência e da generalidade dos diversos métodos. Muitas afirmações acerca desses métodos são oriundas do desconhecimento da natureza dos mesmos, e uma breve revisão é importante para o seu entendimento.

Historicamente, o MDF foi sempre empregado na área de mecânica dos fluidos, enquanto o MEF o foi para a área estrutural na solução de problemas de elasticidade. Esses problemas, do ponto de vista físico, são completamente diferentes, pois os de escoamentos são altamente não-lineares, por resolverem as equações de Navier-Stokes, enquanto os da elasticidade não possuem os termos advectivos e assemelham-se a problemas puramente difusivos de transferência de calor, de característica linear. Foi natural, portanto, o fato de os pesquisadores do MDF terem se concentrado na tentativa de dominar as não-linearidades dos termos advectivos e no problema do difícil acoplamento entre as equações, dificuldades não encontradas em problemas de elasticidade.

Por essa razão, foi deixado em segundo plano no MDF o problema do tratamento de geometrias complexas, e o método teve todo o seu desenvolvimento baseado em sistemas coordenados ortogonais, como o cartesiano, o cilíndrico e o esférico, principalmente. Por essa razão, muitos vinculam equivocadamente, o MDF com sistemas de coordenadas ortogonais, quando, na verdade, ele pode ser aplicado a qualquer tipo de malha, mesmo não-estruturada. Apenas os procedimentos de cálculo de derivadas numéricas ao longo de eixos coordenados, quando os pontos da malha não estão sobre esses eixos, são mais complicados.

Por outro lado, o MEF teve seus desenvolvimentos fundamentais na área de elasticidade, empregando malhas não-estruturadas do tipo triangular, o que permite que problemas em geometrias complexas possam ser resolvidos. Até o início da década de 1970, tinha-se, portanto, o MDF com grande experiência na área de fluidos, mas sem habilidades para tratar geometrias complexas, e o MEF hábil no tratamento da geometria, mas sem ferramentas para tratar os termos advectivos presentes nas equações do movimento. As primeiras tentativas de uso do método de Galerkin para problemas com advecção forte não tiveram sucesso, uma vez que o método de Galerkin é adequado apenas para problemas puramente difusivos. O uso do método de Galerkin em elementos finitos é equivalente ao uso de diferenças centrais em diferenças finitas, ambos produzindo instabilidade em problemas de advecção dominante.

Esse e outros problemas similares, que possuem a adequada interpretação física pelo não- funcionamento, motivaram pesquisas para o aprimoramento do método dos volumes finitos (MVF), no qual as equações aproximadas são obtidas através de balanços de conservação no volume elementar. A observação do caráter físico de cada termo da equação diferencial permitiu que métodos mais robustos fossem desenvolvidos. A possibilidade de associar a interpretação física à matemática influenciou de modo considerável para que praticamente todos os analistas envolvidos com o MDF passassem a usar o MVF. Esses dois métodos, por serem semelhantes para algumas situações, são muitas vezes confundidos. Deve ficar claro que o MDF é simplesmente a substituição do operador diferencial pelo seu correspondente numérico, enquanto o MVF realiza um balanço de conservação da propriedade para cada volume elementar para obter a correspondente equação aproximada.

Portanto, tanto o MDF como o MEF não trabalham com volumes de controle e sim apenas com os pontos da malha, e, como consequência, não são conservativos em nível discreto.

Uma grande transformação na área numérica em fluidos processou-se em meados da década de 1970, quando os sistemas coordenados ortogonais convencionais começaram a ceder espaço para os sistemas coordenados generalizados coincidentes com a fronteira do domínio, e o MVF passou a resolver problemas em geometrias irregulares. Até os últimos 5 anos, era a discretização dominante nos importantes pacotes comerciais disponíveis no mercado para a solução de problemas de escoamento de fluidos com transferência de calor. Atualmente, junto com a opção do uso de coordenadas generalizadas, esses softwares oferecem a alternativa do uso de malhas não-estruturadas.

No âmbito do MEF passou-se a empregar outras funções de interpolação para permitir o tratamento adequado dos termos advectivos. As funções do tipo Petrov-Galerkin, que ponderam os efeitos difusivos e advectivos, semelhantes aos esquemas híbridos empregados em volumes finitos, possibilitaram um expressivo avanço no MEF na área de escoamento de fluidos. Depois, formulações em que essas funções são desenvolvidas ao longo da linha de corrente, também equivalente aos esquemas Skew usados em volumes finitos, permitiram que o MEF passasse, também, a tratar de problemas de fluidos, minimizando os efeitos de difusão numérica.

Atualmente, um grande esforço de pesquisa está sendo dedicado ao desenvolvimento de métodos em volumes finitos usando malhas não-estruturadas, semelhantes, portanto, àquelas usadas em elementos finitos. No panorama atual, observa-se que ambos os métodos, MVF e MEF, estão resolvendo problemas fortemente advectivos, inclusive com ondas de choque, em geometrias arbitrárias, mostrando que existe entre eles uma forte semelhança em termos de generalidade. Se olharmos do ponto de vista matemático, não poderia ser diferente, uma vez que todos os métodos numéricos podem ser derivados o método dos resíduos ponderados, empregando-se diferentes funções-peso.

No contexto dos pacotes comerciais, entretanto, o MVF é ainda o método empregado em todos aqueles com penetração industrial. A preferência é em função da robustez, devido às características conservativas do MVF. Em escoamentos de fluidos, é muito importante satisfazer os princípios de conservação em nível discreto, característica dos MFV, pois se o que se busca com um método numérico é a solução da equação diferencial, que é a representação da conservação da propriedade em nível de ponto, parece lógico que as equações aproximadas representem a conservação em nível de volumes finitos. Dessa forma, não existe a possibilidade da existência de geração/sumidouros de quantidades, como massa, quantidade de movimento e energia, no interior do domínio de cálculo. Por outro lado, se a conservação das propriedades é satisfeita apenas via condições de contorno, podem existir gerações/sumidouros das propriedades de origem numérica dentro do domínio, o que modificaria o perfil da solução na região.

Também a depuração de um programa computacional fica mais fácil quando o analista tem etapas a serem conferidas. Como no MVF os balanços de conservação devem ser satisfeitos em nível de volumes elementares, para qualquer tamanho de malha, todos os princípios de conservação podem ser conferidos em uma malha bastante grosseira. Ou seja, quase tudo pode ser feito manuseando-se poucos resultados em execuções rápidas no computador. Em outros métodos, pode-se apenas conferir a solução com uma malha refinada, já que o conceito de balanços em volumes elementares não existe.

Recentes desenvolvimentos mostram também o MEF aplicado em nível de volumes elementares, conhecidos como *Mixed-Finite Elements Methods* [2]. Nesses métodos, dentro do formalismo de elementos finitos, são respeitados os princípios de conservação, principalmente para a massa. Alguns desses métodos adotam, inclusive, o clássico arranjo desencontrado de variáveis entre pressão e velocidade, uma prática rotineira no método dos volumes finitos desde o início da década de 1970.

Existem importantes variáveis do MVF, já que qualquer procedimento numérico que obtém suas equações aproximadas através dos balanços é um método de volumes finitos. Em uma delas estão incluídos aqueles que utilizam discretização através de um sistema de coordenadas global, o chamado método em coordenadas curvilíneas, ou *boundary-fitted coordinates*, e que será tratado em detalhes neste texto. Outra variante engloba os métodos que utilizam, principalmente, malhas não estruturadas e que criam volumes de controle para os balanços a partir de discretizações triangulares ou de paralelogramos, em 2D, e de tetraedros e hexaedros em 3D. Dentro dessa classe estão os métodos cujos volumes de controle são criados pelo método das medianas [2] e denominados CVFEM - *Control Volume-based Finite Elements Methods*, (Elementos Finitos baseados no Volume de Controle). Essa denominação é ambígua, pois dá a entender tratar-se de um método de elementos finitos que utiliza volumes de controle para balanços de propriedade. Na realidade, não é um método de elementos finitos e, sim, de volumes finitos, e o que é semelhante ao método dos elementos finitos é apenas a definição dos elementos e as respectivas funções de forma para as interpolações no interior do elemento. Um

nome mais adequado para essa classe de métodos seria EbFVM - *Element-based Finite Volume Methods*, ou Volumes Finitos baseados em Elementos.

Ainda na classe dos MVF, temos aqueles cujos volumes de controle são diafragmas de Voronei, obtidos a partir de uma triangulação de Delaunay. Nesse caso, a discretização é localmente ortogonal e apenas dois pontos da malha são necessários para a determinação correta dos fluxos. Todos esses métodos serão tratados em Maliska, 2004.

Um outro método que ganhou espaço na década passada é o método dos elementos no contorno (BEM - *Boundary Element Method*). Sua vantagem é a possibilidade de tratar apenas com a discretização da fronteira, sem a necessidade de discretizar o domínio interno. O método é aplicado quando é possível transferir a influência do operador do domínio para a fronteira. Apesar de atraente, é um método que ainda está longe de responder às solicitações dos problemas complexos resolvidos pelos outros métodos. Sem dúvida, é uma área de pesquisa que merece esforços.

Com os crescentes avanços computacionais, as técnicas de CFD vem a cada ano ampliando seu campo de aplicações, tanto acadêmicas como industriais, e os pacotes (softwares) comerciais, cada vez mais amigáveis, difundem-se na mesma proporção. Existem muitos pacotes computacionais disponíveis no mercado, alguns mais específicos e outros mais genéricos, capazes de resolver uma enorme gama de problemas de engenharia.

A Ansys Inc., atual fornecedora dos pacotes de CFD - *Computational Fluid Dynamics* - CFX e Fluent, disponibiliza numa única interface ambos os softwares. O CFX, que trata-se de um código genérico de Dinâmica de Fluidos Computacional, baseado na técnica de volumes finitos, o qual combina um solver avançado com poderosos recursos de pré e pós-processamento, além de interfaces com outras linguagens de programação sob a forma de interações com sub-rotinas ou pacotes externos, será o foco de estudo dessa curso. No Brasil a empresa que fornece este pacote chama-se ESSS, e fica sediada na cidade de Florianópolis, SC.

De uma forma geral, o modelamento para CFD envolve, tradicionalmente, configurar a geometria do problema, gerar uma malha adequada e aplicar as condições de contorno. Para geometrias complexas, as limitações de geração de malha têm resultado na necessidade de grandes períodos de tempo para definir o problema, mas com plenas condições de realização. O CFX [1], atualmente na versão 19, contorna esta dificuldade através do uso de pré-processador baseado em CAD para a geração de geometria/malha, incorporando poderosas ferramentas de criação de geometria com um gerador automático de malhas não estruturadas. O pré-processador da física do problema, CFX-Pre, permite importar múltiplas malhas, de modo que cada seção de geometrias complexas possa utilizar a malha mais aprimorada.

O CFX inclui as seguintes características:

- Um *solver* acoplado que é robusto e confiável;
- Integração completa entre a definição do problema análise e apresentação de resultados;
- Configuração de processos intuitiva e interativa, usando menus e interface gráfica avançada;
- *Help online* detalhado.

## 2. CFD

### 2.1. O QUE É CFD?

CFD (do inglês, *Computational Fluid Dynamics*), ou Dinâmica de Fluidos Computacional, é uma ferramenta baseada em computação que simula o comportamento de sistemas que envolvem escoamentos de fluidos, transferência de calor e outros processos físicos relacionados. O CFD funciona através da solução das equações de escoamento de fluidos (em uma forma especial) sobre uma região de interesse, com condições de contorno especificadas (conhecidas) nas fronteiras daquela região.

O CFD é, hoje, uma ferramenta de projeto industrial bem estabelecida que ajuda a reduzir os tempos de projeto e melhorar processos de engenharia. Além disso, o CFD fornece uma alternativa de custo-benefício e precisão aos testes experimentais aplicados a modelos em escala, com variações entre as simulações sendo realizadas rapidamente.



## 2.2. A MATEMÁTICA DO CFD

O conjunto de equações que descreve os processos de quantidade de movimento, transferência de calor e massa são conhecidos como as equações de *Navier-Stokes*. Elas são equações diferenciais parciais que foram derivadas no início do século XIX. Elas não possuem soluções analíticas, a não ser para situações muito simplificadas, mas podem ser discretizadas para serem resolvidas numericamente na sua plenitude.

Equações que descrevem outros processos - como combustão, por exemplo, podem ser resolvidas em conjunto com as equações de *Navier-Stokes*. Frequentemente, um modelo de aproximação é usado para derivar estas equações adicionais, sendo os modelos de turbulência um exemplo particular importante. Modelos de transferência de calor por radiação térmica também são incorporados, assim como a formulação Euleriana e Lagangeana para tratar de forma acoplada fluidos carregando partículas ou gotas de líquidos em meio a um fluido principal.

Há um grande número de diferentes métodos de solução que são usados nos códigos de CFD. O mais comum, e sobre o qual o CFX é baseado, é o chamado *Método dos Volumes Finitos*.

Neste método, a região de interesse é dividida em pequenas sub-regiões, chamadas de volumes de controle. Todas as equações são discretizadas e resolvidas iterativamente para cada volume de controle levando em consideração a interface com os demais volumes vizinhos ao volume de análise na malha computacional. Como resultado, uma aproximação do valor de cada variável nos pontos específicos do domínio pode ser obtida. Desta maneira, é possível obter uma representação completa do comportamento do escoamento.

## 2.3. APLICAÇÕES DE CFD

CFD é usado por engenheiros e cientistas em diversas áreas. Aplicações típicas incluem:

- *Indústria de processos*: Misturadores, reatores químicos;
- *Construção*: Ventilação de edifícios;
- *Saúde e segurança*: Investigação dos efeitos do fogo e da fumaça;
- *Indústria automobilística*: Modelamento de combustão, aerodinâmica de veículos;
- *Eletrônica*: Transferência de calor no interior e ao redor de circuitos eletrônicos;
- *Meio ambiente*: Dispersão de poluentes no ar ou na água;
- *Energia*: Otimização de processos de combustão;
- *Medicina*: Escoamento de sangue através de veias e artérias, etc.

## 2.4. METODOLOGIA DO CFD

CFD pode ser usado para determinar a performance de um componente em um estágio de projeto ou pode ser usado para analisar dificuldades com um componente existente e conduzir a um projeto melhor otimizado, antevendo possíveis problemas, ou até mesmo orientando o andamento do projeto de equipamentos e processos.

Normalmente, uma simulação realizada através de CFD é constituída por três etapas bem definidas:

**Pré-processamento → Processamento (solução) → Pós-processamento**

### 2.4.1. Pré-Processamento

O Pré-processamento é a etapa de definição e configuração do problema a ser analisado. O pré-processamento pode ser dividido em duas partes:

#### **Geometria/malha**

Este processo iterativo é o primeiro estágio de pré-processamento. Seu objetivo é produzir uma malha para introduzir no pré-processador a física do problema. Antes que uma malha possa ser produzida, um sólido geométrico fechado é necessário. A geometria e a malha

podem ser criadas no software ICEM-CFD [1] (incorporado ao pacote da Ansys) ou em uma variedade de ferramentas de criação de geometria/malha. Alguns softwares de CAD - *Computer Aid Design* podem também ser usados para a geração da geometria do problema.

Os passos básicos envolvidos para esse processo inicial são:

- Definição da geometria na região de interesse;
- Criação de regiões de escoamento de fluidos, regiões de sólidos e nomes de superfícies de contorno;
- Configuração das propriedades da malha e ajustes.

Este estágio de pré-processamento está ficando cada vez mais automatizado. No CFX-19, a geometria pode ser importada da maioria dos pacotes de CAD, como acima mencionado, usando o formato nativo e a malha de volumes de controle pode ser gerada automaticamente.

### Definição da Física do Problema

Este processo iterativo é o segundo estágio de pré-processamento e é usado para criar os dados de entrada do *solver*. Os arquivos de malha são carregados pelo pré-processador da física do problema, aqui o CFX-Pre, e as seguintes propriedades são definidas:

- Os modelos físicos que devem ser incluídos na simulação são selecionados;
- As propriedades do fluido são especificadas;
- As condições de contorno são especificadas.

## 2.4.2. Processamento(Solução)

O *solver* é o componente que resolve o problema de CFD produzindo os resultados solicitados. A etapa de solução é um processo não interativo (*batch process*, ou em lote). O *solver* resolve o problema de CFD da seguinte maneira:

- As equações diferenciais parciais são integradas sobre todos os volumes de controle na região de interesse. Isto é equivalente a aplicar uma lei de conservação (para massa ou quantidade de movimento, por exemplo) para cada volume de controle;
- Estas equações integrais são convertidas para um sistema de equações algébricas através de um conjunto de aproximações para os termos das equações integrais;
- As equações algébricas são resolvidas iterativamente.

O **processo iterativo** é necessário por causa da **natureza não linear das equações**. À medida que a **solução se aproxima da solução exata** diz-se que ela **CONVERGE**. Para cada iteração, um erro, ou resíduo, é registrado como medida da conservação geral das propriedades do escoamento.

**Quão próximo a solução final esta da solução exata depende de uma série de fatores, incluindo o tamanho e o formato dos volumes de controle e o tamanho dos resíduos finais.** Processos físicos complexos, como combustão e turbulência, são frequentemente modelados usando relações empíricas, e as aproximações inerentes a esses modelos também contribuem para diferenças entre a solução obtida por CFD e o escoamento real. No entanto, com avanços científicos e dos modelos, os resultados obtidos com CFD são muito próximos da situação real, apresentando boa confiabilidade, desde que devidamente testados.

O processo de solução não exige intervenção do usuário e, portanto, é realizado de forma não interativa (*batch process*).

O *solver* produz um arquivo de resultados que é passado para o pós-processador.

## 2.4.3. Pós-Processamento

O pós-processamento é o componente usado para analisar, visualizar e apresentar os resultados interativamente. Pós-processamento inclui desde obter valores em pontos do domínio até realizar animações complexas.

Exemplos de algumas características importantes de pós-processadores são:

- Visualização da geometria e volumes de controle;
- Visualização de vetores mostrando a direção e a magnitude do escoamento;

- Visualização da variação de variáveis escalares (variáveis que tem apenas uma magnitude, sem direção, tais como temperatura, concentração de espécies químicas, pressão, propriedades, etc.) ao longo do domínio;
- Cálculos numéricos quantitativos;
- Animação;
- Gráfico (x,y);
- Saída para impressora.

### 3. A ESTRUTURA DO CFX

O CFX consiste de 5 módulos [1] que são ligados pelo fluxo de informação exigido para realizar uma análise de CFD, apresentados no diagrama da Fig. 3.1:

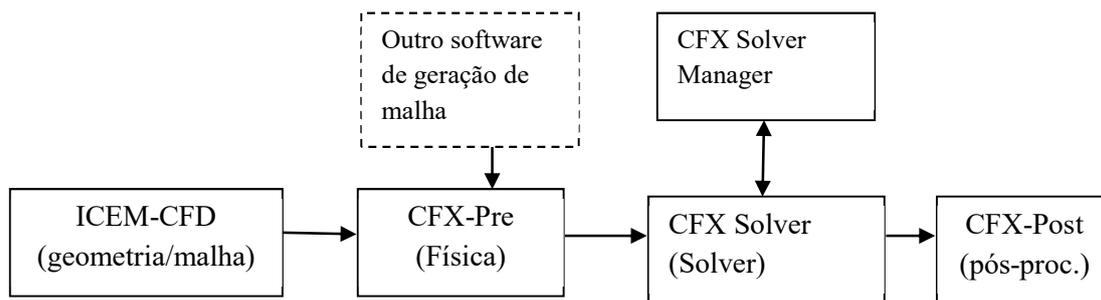


Figura 3.1- diagrama do fluxo de informação entre os módulos do CFX.

O CFX é capaz de empregar os seguintes modelos:

- escoamentos estacionários e transientes;
- escoamentos laminares e turbulentos;
- escoamentos subsônicos, transônicos e supersônicos;
- Transferência de calor por convecção, condução e radiação térmica;
- Flutuação;
- escoamentos não newtonianos;
- Transporte de componentes escalares não reativos;
- escoamentos multifásicos;
- Combustão e reações químicas;
- escoamentos em múltiplos sistemas de referência;
- *Particle tracking*.

#### 3.1. ICEM-CFD

O ICEM-CFD pode ser usado para especificar a geometria e a malha para os modelos de CFD. Também pode importar uma geometria de outro software tipo CAD.

#### 3.2. CFX-Pre

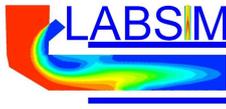
A especificação da física do problema, das condições de contorno, dos valores iniciais e parâmetros de solução é realizada no CFX-Pre.

O CFX-Pre pode importar arquivos de malha produzidos pelo ICEM-CFD ou por outros geradores de malha.

Uma gama completa de condições de contorno, incluindo entrada (*inlet*), saída (*outlets*), aberturas (*opening*), paredes sólidas (*wall*) e simetrias (*symetry*), em conjunto com condições de contorno para modelos de turbulência e periodicidade, estão disponíveis no CFX através do CFX-Pre.

#### 3.3 CFXSOLVER

A partir de uma especificação gerada no CFX-Pre, o CFX Solver resolve para todas as variáveis da simulação.



Uma das características mais importantes do CFX é o uso de um solver acoplado, no qual todas as equações termodinâmicas são resolvidas como um único sistema. O *solver* acoplado é mais rápido que o tradicional *solver* segregado e um número menor de iterações são necessárias para obter-se uma solução convergida.

### 3.4 CFXSOLVER MANAGER

O *CFX Solver Manager* é um módulo que oferece maior controle sobre o gerenciamento do processo de solução. Suas principais funções são:

- Especificar os arquivos de entrada para o CFXSolver;
- Iniciar/parar o CFXSolver;
- Monitorar o progresso da solução;
- Configurar o CFXSolver para processamento paralelo.

### 3.5 CFX-POST

O CFX-Post fornece ferramentas gráficas de pós-processamento de última geração que permitem analisar e apresentar os resultados das simulações do CFX-19.

Algumas características importantes incluem:

- Pós-processamento quantitativo;
- Linha de comando, arquivo de sessão;
- Variáveis definidas pelo usuário;
- Geração de uma variedade de objetos gráficos onde a visibilidade, transparência, cor e renderização de linhas ou faces podem ser controladas;
- *'Power Syntax'* para permitir arquivos de sessões programados, etc.

## 4. TIPOS DE ARQUIVOS DO CFX-19

Durante o processo de simulação (geração do modelo, solução e análise de resultados) diferentes arquivos são criados pelos módulos do CFX-19. Este capítulo descreve alguns destes arquivos e o seu propósito [1].

### 4.1. ICEM-CFD

- Arquivo de geometria (\*.tin);
- Arquivo de malha (\*.uns);
- Arquivo de projeto (\*.prt);
- Arquivo de parâmetros (\*.par);
- Arquivo de atributos (\*.fbc);
- Arquivo GTM (*Geometry, Topology and Mesh*) (\*.msh).

### 4.2. CFX-PRE

*Entrada e Saída:*

- Arquivo GTM do CFX-19 (\*.gtm);
- Arquivos de Definições do CFX-19 (\*.def);
- Arquivo de Sessão do CFX-Pre (\*.pre);
- Arquivo de Caso do CFX-19 (\*.cfx);
- Arquivo CCL (\*.ccl).

*Apenas Entrada:*

- Arquivos de Resultados do CFX (\*.res);
- Outro arquivo com resultados sobre a malha.

### 4.3 CFXSOLVER

*Entrada:*

- Arquivo de Definições do CFX (\*.def);
- Arquivo de Resultados do CFX (\*.res), para o reinício da simulação.

*Saída:*

- Arquivo de Resultados do CFX (\*.res);
- Arquivo de Saída(\*.out);
- Arquivos pra outros pós-processadores.

#### 4.4 CFX-POST

*Entrada:*

- Arquivo de Resultados (\*.res);
- Arquivo de Sessão do CFX-Post(\*.cse);
- Arquivo de Sessão do CFX-Post(\*.cst);
- Arquivo de Definições do CFX (\*.def);

*Saída:*

- Arquivos gráficos;
- Arquivos de exportação de dados.

#### 5. ICEM-CFD

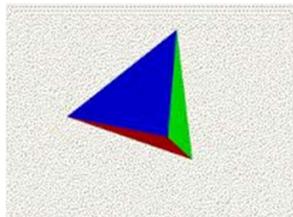
O ICEM-CFD oferece ao usuário um ambiente unificado para geração de malha. Ele combina, sob o mesmo GUI, a seguinte funcionalidade:

- *Manager* - Gerenciamento do projeto, configurações e I/O;
- *Geometry creation/repair* - Ferramenta para criar/adicionar geometrias, assim como para reparar partes incorretas;
- *Mesh creation* - Hexa, Tetra, Prism. Todos os tipos de geradores de malha podem ser disparados de dentro do ICEM-CFD;
- *Mesh editing* - Diagnóstico, edição e suavização de malha;
- *Solution* - Configuração da solução para o CFX;
- *View Manager* - Usado para medir distâncias e ângulos e mudar de vista;
- *Tree* - Para gerenciar as partes, *assemblies* e seu comportamento.

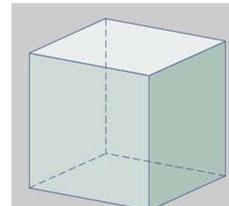
#### 5.1. CORREÇÃO DA GEOMETRIA

Antes de gerar uma malha **Shell** ou **Tetra**, o usuário deve confirmar se a geometria do modelo não possui falhas que possam inibir a criação de uma malha adequada. A Fig. 5.1 mostra elementos prismáticos e hexaédricos.

Para criar uma malha, **Tetra** exige que o modelo contenha um **volume fechado**. Se, na geometria, há buracos maiores do que os tetraedros de referência para uma localização particular, o **Tetra** não conseguira encontrar um volume fechado. Se o usuário observar qualquer buraco no modelo antes da geração da malha, ele deve corrigir os dados de superfície para eliminar esses buracos. A maioria dos buracos pode ser encontrada usando a opção **Buil Topology**. Essa opção deve apresentar curvas amarelas para as regiões que possuem grandes falhas ou sem superfícies. Se o usuário não detecta nenhum buraco, mas há dúvida quanto à integridade do modelo, ele pode rodar o **Tetra** identifica automaticamente os buracos e direciona o usuário a fechá-lo interativamente.



(a)



(b)

Figura 5.1 – Malas disponíveis para o CFX: (a) Tetra; (b) Hexa.

#### 5.2 TETRA

Automatizado a ponto do usuário ter apenas que selecionar a geometria sobre a qual será gerada a malha, o **Tetra** gera malhas de tetraedros diretamente da geometria do CAD, sem exigir uma malha inicial de triângulos nas superfícies.

Adequado para geometrias complexas, o **Tetra** oferece diversas vantagens:

- Rápida configuração do modelo;
- Não é necessário malha nas superfícies;
- Geração de malhas diretamente do CAD;
- Definição do tamanho da célula a partir das superfícies do CAD;
- Controle sobre o tamanho da célula dentro do volume,
- Nós e arestas de tetraedros coincidem com os pontos e curvas prescritos;
- Algoritmo rápido: 1500 células por segundo;
- Identificação automática de buracos e fácil reparo da malha;
- Entre outras.

### 5.2.1. Detalhes da geometria necessários

**Tetra** exige curvas nas posições onde o usuário tem interesse em capturar características geométricas onde duas superfícies se interceptam. As curvas no Tetra fornecem uma indicação ao gerador de malha que os nós da malha deverão ser alinhados ao longo da entidade geométrica.

Pontos também são necessários para a capturar os cantos das curvas. Se duas curvas se interceptam num ângulo muito fechado e o usuário deseja capturar esta característica, um ponto tem que ser criado no vértice da interseção.

### 5.3. PRISMAS

Prismas (Fig. 5.2) são usados para gerar malhas híbridas, com camadas de prismas de base triangular nas superfícies de contorno e elementos tetraédricos no interior do domínio. Comparado a malhas formada apenas por tetraedros, malhas híbridas com camadas de prismas próximas às superfícies permitem um melhor modelamento da física do escoamento junto à parede, resultando em simulações mais rápidas e resultados mais adequados.

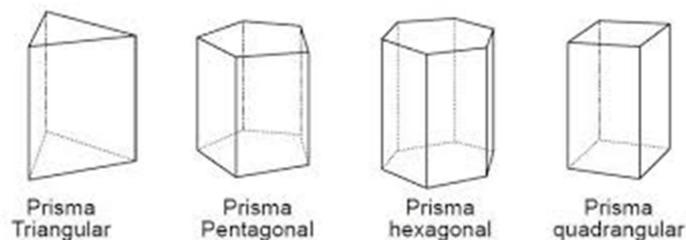


Figura 5.2 – Tipos de prismas.

### 5.4. HEXA - Não disponível no pacote dos laboratórios da URI.

O ICEM-CFD possui o gerador **Hexa**, que é um gerador de malha de elementos hexaédricos, 3-D, semi-automático, estruturado em multi-blocos ou não estruturado, aplicado em superfícies e volumes. A topologia de bloco do modelo é gerada diretamente da geometria do CAD. Mais utilizado em geometrias regulares, cilíndricas ou cúbicas.

## 6. CFX-PRE

O CFX-Pre é o módulo de pré-processamento do CFX responsável pela especificação da física do problema, das condições de contorno, dos valores iniciais e dos parâmetros de solução, de modo a selecionar o modelo físico empregado na simulação via CFD. O CFX-Pre também é utilizado para importar malhas produzidas no ICEM-CFD ou em outros geradores de malha.

Os principais componentes da interface do usuário do CFX-Pre (CFX-Pre *user interface*) são o *Viewer*, o *Object Selector*, a barra de menus (*menu bar*) e as barras de ferramentas (*tool bars*), mostrados na Fig. 6.1.

O CFX-Pre possui 4 diferentes modos de operação, como segue:

- *General Mode*: este modo pode ser usado para todos os casos;
- *The Turbo Wizard*: simplifica a configuração de algumas simulações de turbomáquinas;
- *New User Wizard*: fornece um número reduzido de opções de modelos e é adequado para novos usuários;
- *Model Library Mode*: este modo é usado para importar arquivos de bibliotecas pré-definidos para simulações mais complexas.

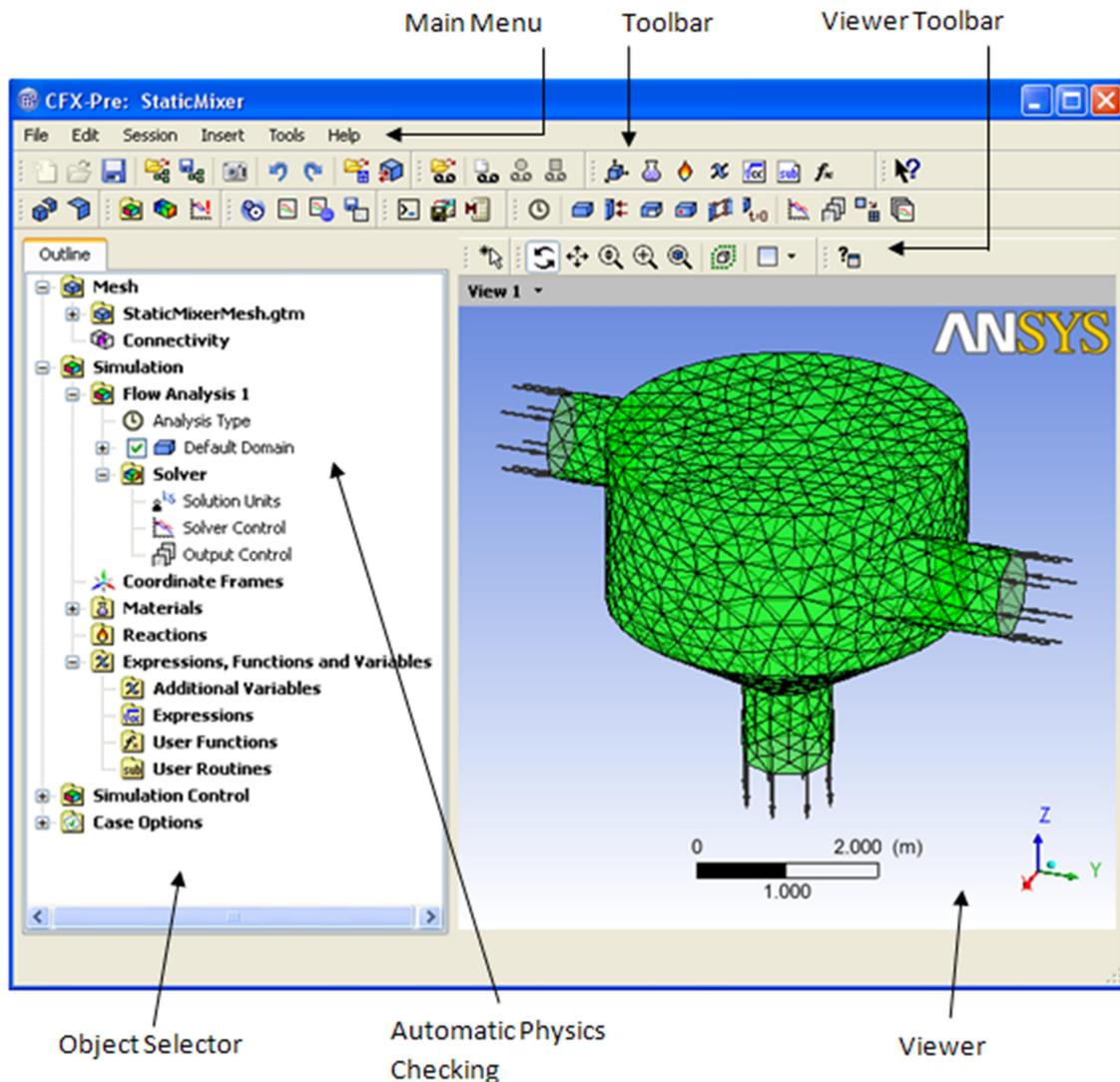


Figura 6.1 - Componentes principais do CFX-Pre *user interface*.

## 6.1. TIPOS DE ARQUIVOS DO CFX-PRE

Esta seção descreve os tipos de arquivos usados e produzidos pelo CFX-Pre.

### 6.1.1. Case Files (\*.cfx)

O arquivo de caso (*Case File*) contém os dados físicos para a simulação e é usado pelo CFX-Pre em conjunto com o arquivo GTM como a "base de dados" (*database*) para a configuração da simulação. Tanto o Case File como o GTM file são gerados quando a simulação é salva no CFX-Pre e ambos são exigidos para reabrir uma simulação existente. Para reabrir uma simulação, seleciona-se um arquivo de caso no menu **File > Open Simulation**. O arquivo de caso é um arquivo binário e não pode ser editado diretamente.

### 6.1.2. GTM Files (\*.gtm)

O arquivo GTM é um arquivo de geometria, topologia e malha (*Geometry, Topology and Mesh*) usado pelo CFX-Pre. Ele contém todas as informações sobre regiões e malhas exigidas para a simulação. Um arquivo GTM é criado para cada nova simulação no CFX-Pre e em conjunto com o arquivo de caso (*Case File*), ele define a simulação no CFX-Pre. Os arquivos GTM podem ser lidos no CFX-Post para analisar a malha em detalhes.

### 6.1.3 Definition Files (\*.def)

Um arquivo de definição do CFX-19 (*Definition File*) contém a especificação para toda a simulação, incluindo a geometria, a malha da superfície, condições de contorno, propriedades do fluido, parâmetros de solução e valores iniciais. É criado pelo CFX-Pre e usado como arquivo, de entrada no CFXSolver. Um arquivo de definição deve ser escrito quando a configuração da simulação foi concluída. Este arquivo é então usado pelo CFXSolver para iniciar a solução da simulação.

### 6.1.4. Session Files (\*.pre)

Os arquivos de sessão (*Session Files*) são usados pelo CFX-Pre para gravar a Linguagem de Comandos do CFX (*CFX Command Language- CCL*) dos comandos executados durante uma sessão. Esses comandos podem ser novamente executados mais tarde para reproduzir uma sessão. Uma sessão identificada por **cfx.xx.pre** é automaticamente criada para cada sessão do CFX-Pre. Estes arquivos são em formato ASCII e podem ser editados ou escritos num editor de texto.

### 6.1.5. Arquivos de Malha (*Mesh Files*)

Há vários tipos de arquivos de malha que podem ser importados pelo CFX-Pre.

### 6.1.6. CCL Files (\*.ccl)

Os arquivos CCL do CFX são usados pelo CFX-Pre para armazenar os comandos da Linguagem de Comando do CFX (*CFX Command Language -CCL*). Os arquivos CCL diferem dos arquivos de sessão pelo fato de que apenas um pequeno trecho do estado atual é armazenado em arquivo. Estes arquivos são em formato ASCII e podem ser editados ou escritos num editor de texto.

### 6.1.7. Result Files (\*.res)

Os arquivos de resultados do CFX (*Result Files*) podem ser lidos no CFX-Pre da mesma forma que um arquivo CCL. Os comandos CCL são extraídos do arquivo de resultados e os dados da malha são escritos para um arquivo GTM.

## 6.2. VIEWER

A janela *Viewer* é utilizada para visualizar os objetos gráficos, tais como as malhas importadas. Informações sobre condições de contorno, domínios, fontes pontuais, etc. também são apresentados e itens podem ser selecionados com o mouse diretamente da janela. O CFX-Pre usa a mesma janela *Viewer* que o CFX-Post e pode ser observada na Fig. 6.2.

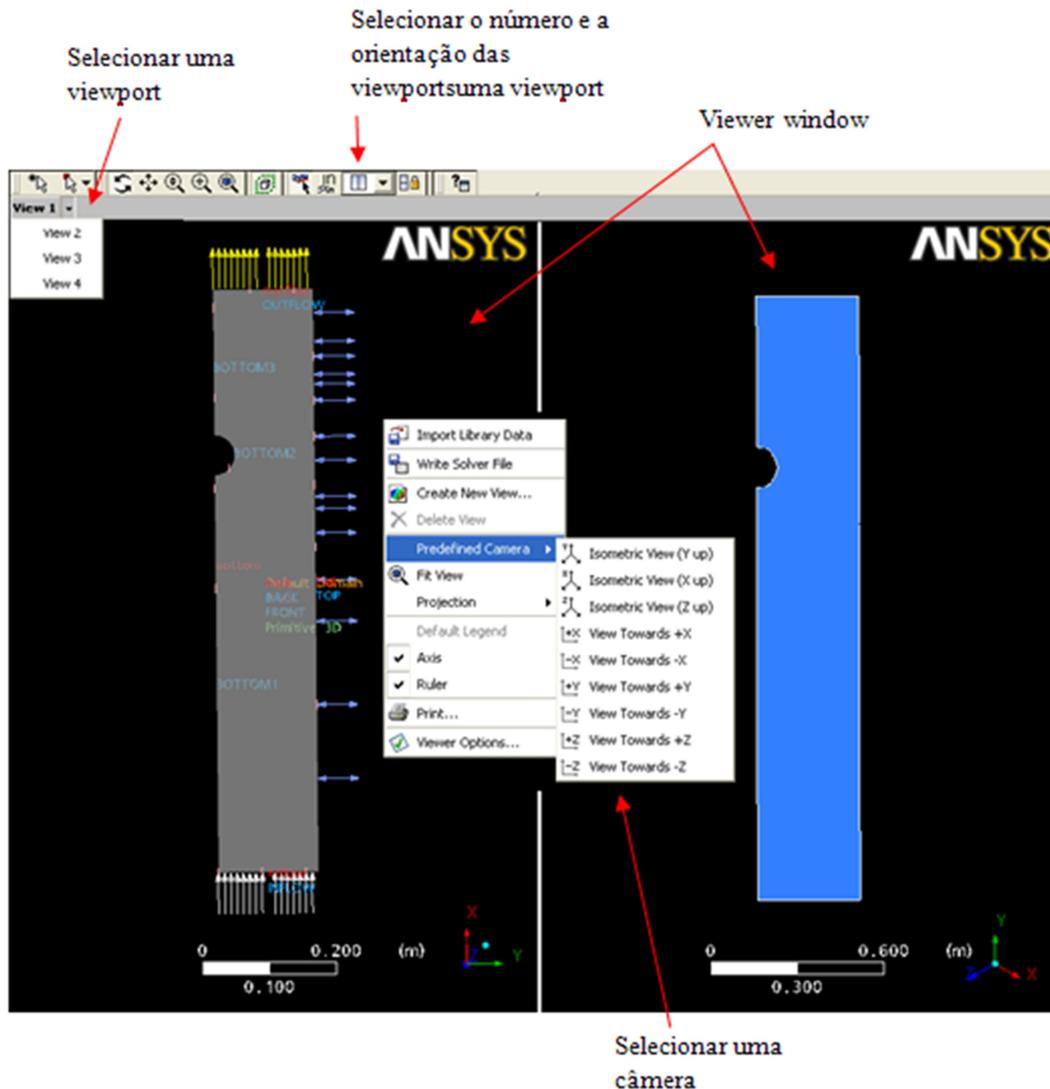


Figura 6.2 - Janela *viewer* do CFX-Pre e CFX-Post.

### 6.2.1. Operações com o mouse

Diversas ações podem ser realizadas sobre os objetos gráficos da janela *viewer* com o uso do mouse. Na Fig. 6.3 é apresentada a configuração padrão que relaciona as ações aos botões do mouse. Essas configurações podem ser modificadas pelo usuário ao menu **Edit > Options** sob a opção **Viewer / Mouse Mapping**.

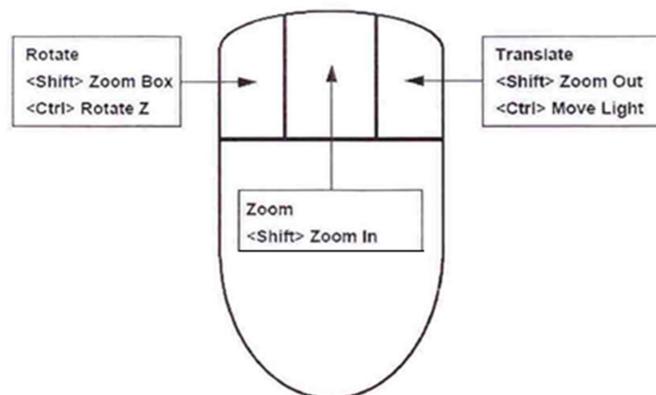


Figura 6.3 - Mapeamento das ações sobre os objetos gráficos da janela *Viewer* com os botões do mouse.

### 6.2.2. Teclas de atalho

Várias teclas de atalho estão disponíveis para realizar tarefas comuns na janela *viewer*. Estas ações podem ser realizadas clicando-se sobre a janela *viewer* e pressionando a tecla associada. Na Tab. 6.1 são apresentadas as teclas de atalho e suas respectivas ações.

Tabela 6.1 - Teclas de atalho para ações que podem ser realizadas na janela *viewer*.

Tecla	Ação
Espaço	Troca entre os modos picking e viewing
Setas	Gira em torno de X e Y
<ctrl> + setas para cima/para baixo	Gira em torno de z
<Shift>+ setas	Move a fonte de luz
1	Uma viewport
2	Duas viewports
3	Três viewports
4	Quatro viewports
C	Centraliza o objeto
N	Troca entre o ortográfico e perspectiva
R	Reinicializa a vista
U	Undo (desfazer)
U	Redo (refazer)
X	Vista em +X
X	Vista em -X
Y	Vista em +Y
Y	Vista em -Y
Z	Vista em +Z
Z	Vista em -Z

### 6.3. OBJECT SELECTOR

A janela *Object Selector* apresenta um resumo da física que foi definida para a simulação. A janela *Object Selector* contém inicialmente uma lista padrão de objetos sob a forma de árvore (*tree format*), como pode ser observado na Fig. 6.4. Novos objetos são mostrados na árvore à medida que são criados. Clicar sobre qualquer objeto do *Object Selector* que está associado a uma região faz com que essa região seja identificada no *viewer*. Objetos 3D são mostrados com uma caixa ao seu redor e objetos 2D são mostrados com uma linha vermelha ao redor das arestas.

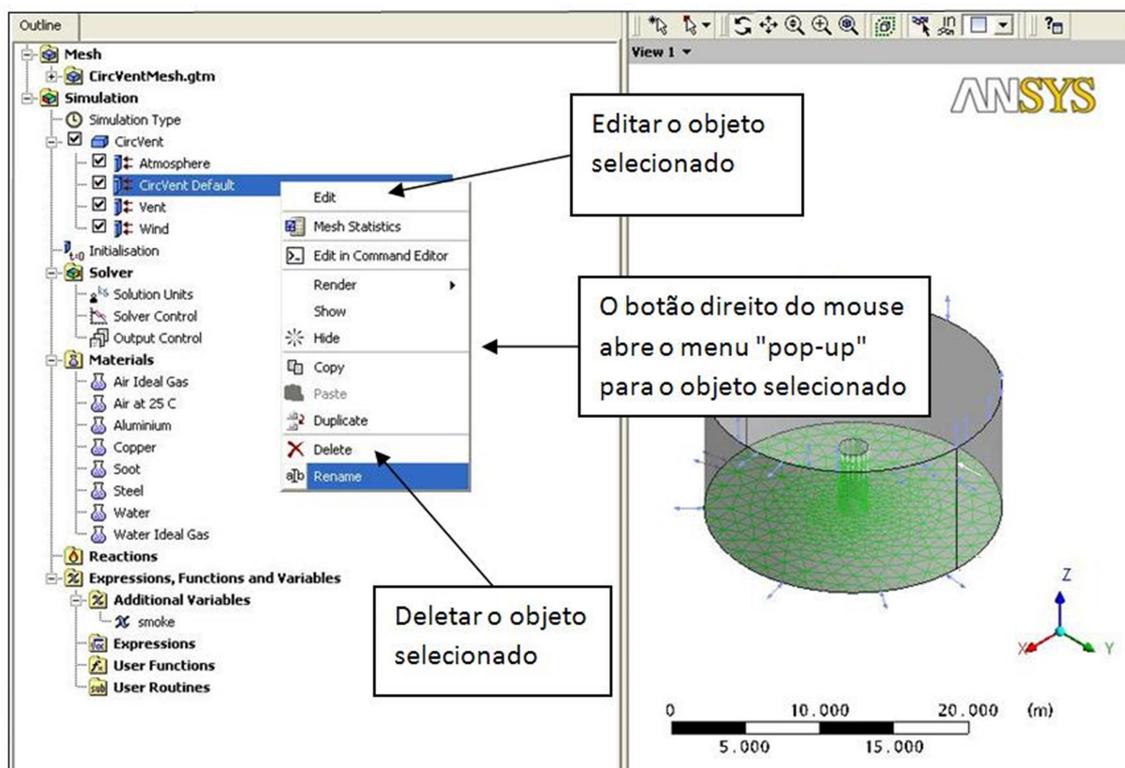


Figura 6.4 - Descrição da janela *Object Selector* do CFX - Pre.

As estruturas de árvore (*tree structures*) mostradas no *Object Selector* refletem a estrutura usada na Linguagem de comando do CFX (*CFX Command Language - CCL*) para a definição física. Pode-se selecionar qualquer objeto de árvore e ganhar acesso direto para a janela adequada para editar suas configurações. Pode-se, ainda, usar o *Object Selector* para mostrar a definição CCL de um objeto na janela do editor de comandos (*Command Editor window*), onde pode ser editado.

Uma importante característica do CFX-Pre é a verificação automática da física do problema. Os objetos que contém configurações inconsistentes ou incorretas são identificadas em vermelho no *Object Selector*. Mensagens de erro detalhadas são mostradas na janela de resumo da validação da física (*Physics Validation Summary window*).

#### 6.4. PHYSICS CHECKING (VALIDAÇÃO DA FÍSICA)

À medida que o usuário vai trabalhando através de sua simulação, o CFX-Pre verifica continuamente as definições físicas que foram especificadas. Sempre que uma ação é executada, uma verificação da física é realizada sobre as definições de CCL (*CFX Command Language*) para todos os objetos criados até aquele ponto. Se uma inconsistência é encontrada na física, o objeto associado com o(s) erro(s) é identificado em vermelho na árvore da janela *Object Selector*.

Além da identificação do nome do objeto, a janela de resumo da validação física (*Physics Validation Summary window*) apresenta todos os tipos de erro da simulação: erros globais (em azul) e erros físicos (em vermelho), como pode ser visto na Fig. 6.5. Um duplo clique do mouse sobre um item em vermelho no *Physical Validation Summary* leva o usuário para a forma mais adequada de editor o objeto.

Erros globais (em azul) aplicam-se a toda simulação e apresenta erros que não são erros físicos. Erros físicos (em vermelho), envolvem aplicações incorretas da física.



Figura 6.5 - Janela *Physics Error Summary* do CFX - Pre.

#### 6.5 UNIDADES E DIMENSÕES

No CFX, as dimensões são definidas em unidades que são uma combinação de uma ou mais unidades separadas. Por exemplo: massa pode ter unidades de [kg], [gramme] ou [lb] (entre outras); pressão pode ter unidades de [kg/m<sup>3</sup>]; [lb/in<sup>2</sup>] ou [Pa] (entre outras).

A sintaxe geral para unidades no CFX é definida da seguinte maneira: **[multiplier|unit|^int]**, onde **multiplier** é uma quantidade multiplicadora (por exemplo: mega, pico, centi, etc), **unit** é o termo de unidade (por exemplo: kg, m, J, etc) e **int** é uma potência inteira. Ao se digitar unidades em uma expressão, elas devem estar entre colchete, [...]. Em geral, não se vê os colchetes ao selecionar unidades de uma lista de unidades.

#### 6.6 TIPO DE SIMULAÇÃO

A janela *Simulation Type* é usada para especificar se a simulação é estacionária (*steady state*) ou transiente (*transient*). A janela *Simulation Type* é aberta através do menu *Define > Steady / Transient* e é apresentada na Fig. 6.6.

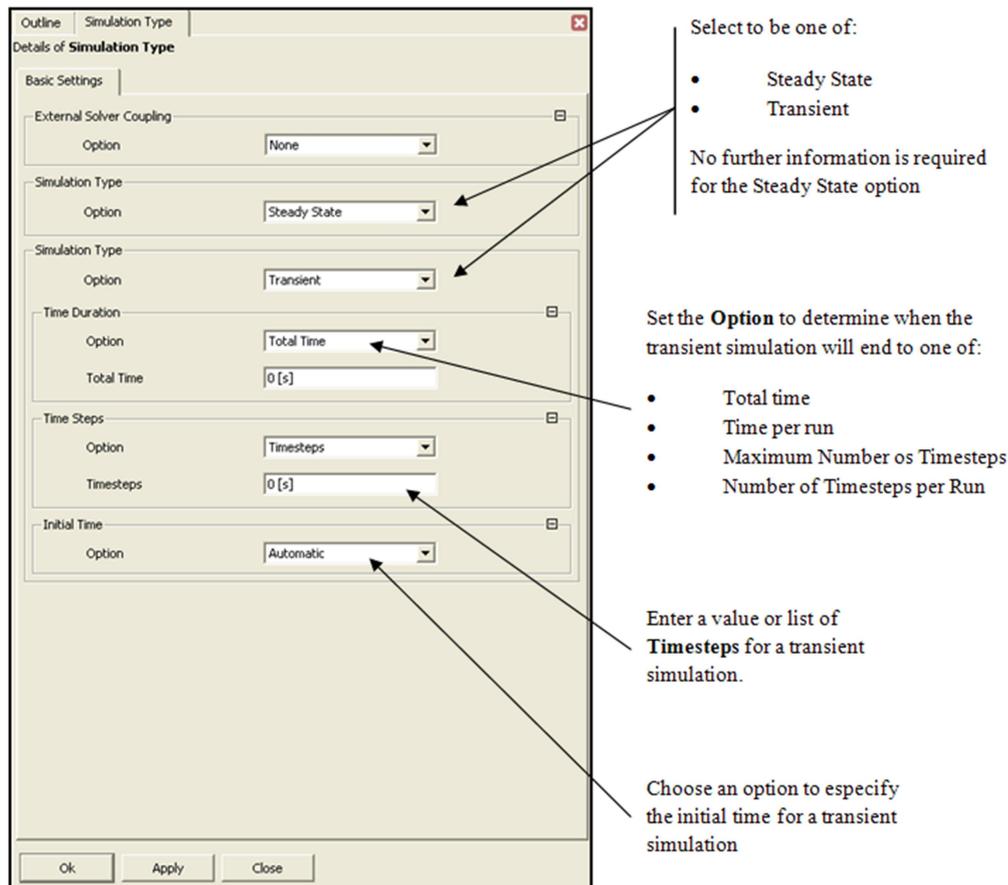


Figura 6.6 - Janela *Symulation Type* do CFX - Pre.

## 6.7. DOMÍNIOS

O CFX-Pre usa o conceito de domínios (*domains*) para definir o tipo, as propriedades e a região de fluido ou sólido. Domínios são regiões do espaço onde as equações do escoamento de fluido ou de transferência de calor são resolvidas.

Domínios são criados a partir de uma lista de *Assemblies*, *3D primitive regions e/ou 3D composite regions* que estão associadas com um volume de uma malha importada. Em alguns casos, domínios separados deverão ser conectados através de uma interface de domínio (*domain interface*), enquanto que em outros casos nenhuma interface é exigida ou uma interface padrão é criada e é apropriada.

Dentro de domínios de fluidos ou de sólidos, regiões 3D internas podem ser associadas a subdomínios (*subdomains*), que são usados pra criar fontes volumétricas (de massa, quantidade de movimento, energia, etc.).

Condições de contorno podem ser aplicadas a qualquer de uma primitiva 3D que estiver incluída em um domínio.

### 6.7.1. General Options

As opções gerais (*General Options*) são aplicadas a todo o domínio. Quando um novo domínio é criado, a janela *General Options*, Fig. 6.7, é mostrada

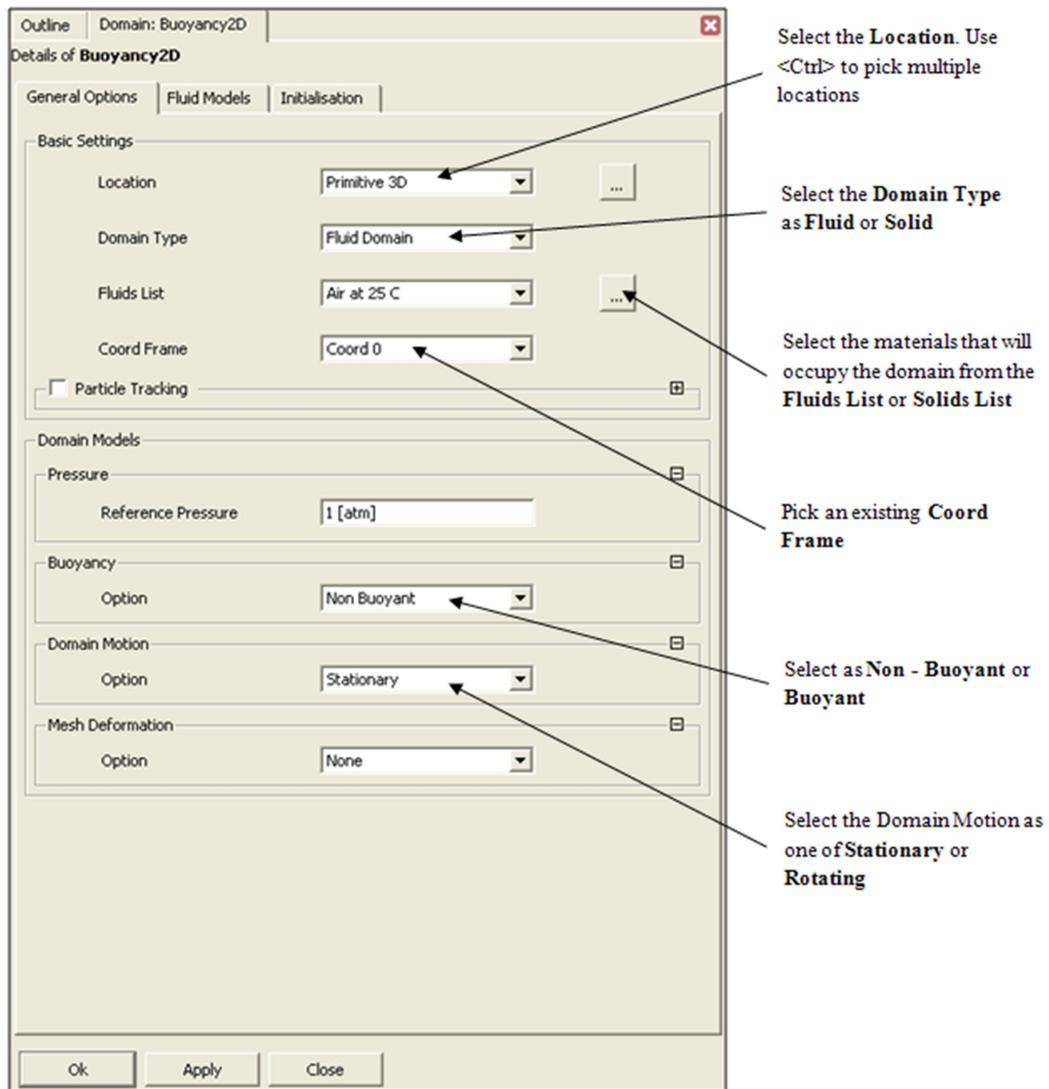


Figura 6.7 - Janela *General Options* do CFX - Pre.

### 6.7.2. Fluid Models

A janela *Fluid Models* é onde os modelos são relacionados e que serão aplicados a todos os fluidos eulerianos da simulação como exemplifica a Fig. 6.8.

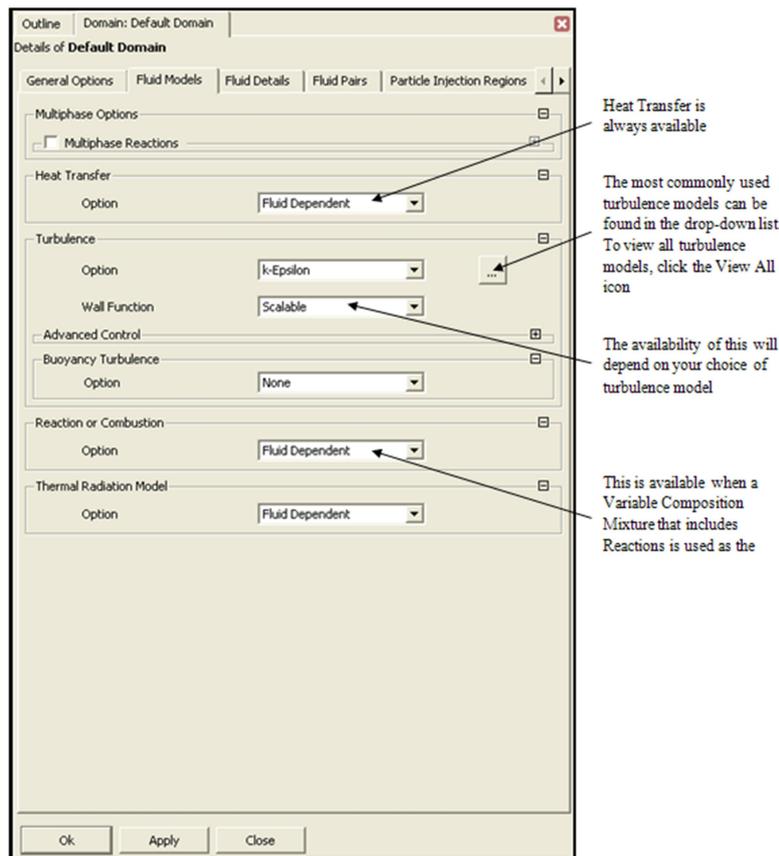


Figura 6.8 - Janela *Fluid Models* do CFX - Pre.

## 6.8. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Condições de contorno têm que ser aplicadas a todas as regiões nas extremidades de seu(s) domínio(s). Condições de contorno podem ser de entrada (*inlet*), de saída (*outlet*), abertura (*opening*), de parede (*wall*) e de simetria (*symmetry*) (interfaces periódicas são especificadas na planilha de interfaces entre domínios - *Domain Interfaces*). Regiões externas sem especificação de condição de contorno assumem automaticamente a condição de parede adiabática com não deslizamento (*no-slip*) e recebem o nome *<Domain> Default*, onde *<Domain>* corresponde ao nome do domínio condições de contorno internas não especificadas são ignoradas.

### 6.8.1. Esquema de cores

Na janela *Viewer* as condições de contorno são apresentadas com cores em função do seu tipo, da seguinte forma:

- *Inlet*: setas brancas (apontando para dentro do domínio);
- *Outlet*: setas amarelas (apontando para fora do domínio);
- *Opening*: setas bidirecionais azuis;
- *Wall*: octaedros verdes;
- *Symmetry*: setas vermelhas em cada lado da superfície;
- *Interface*:
  - *Fluid-Fluid*, *Fluid-Solid* e *Solid-Solid*: octaedros verdes;
  - *Periodic*: setas semicirculares violetas.

## 7. CFX-SOLVER MANAGER

O *CFXSolver Manager* permite ao usuário configurar alguns atributos para o cálculo de CFD e controlar o *CFXSolver* interativamente à medida que a solução se desenvolve. Além

disso, o *CFXSolver* pode rodar em "batch mode" (sem interface gráfica), o que é útil para cálculos grandes.

## 7.1. MONITORANDO E OBTENDO A CONVERGÊNCIA

### 7.1.1. O Resíduo

O Resíduo é uma medida do desequilíbrio local de cada equação de volume de controle conservativa. É a mais importante medida de convergência e relaciona-se diretamente ao quanto as equações foram resolvidas.

### 7.1.2. Julgando a convergência

É importante destacar que é possível obter-se uma solução que não muda significativamente de um passo de tempo para o outro mesmo antes da convergência ser atingida.

**Nota:** deve-se sempre verificar se o processo de solução parou por ter atingido o critério de convergência ou por ter atingido o número máximo de iterações. No último caso, a solução ainda não atingiu o nível de convergência especificada.

## 8. CFX-POST

### 8.1 INTRODUÇÃO

O CFX-Post é um pós-processador *estado da arte* e flexível pra o CFX. Foi projetado para permitir fácil visualização e pós-processamento quantitativo dos resultados de simulação via CFD.

### 8.2 THE VIEWER

Todas as saídas gráficas do CFX-Post são mostradas na janela *Viewer*. O *Viewer* que é usado no CFX-Post é o mesmo do CFX-Pre e todas as ações do mouse também são as mesmas do CFX-Pre.

## 9. EXEMPLOS

Nos anexos dessa apostila encontram-se alguns exemplos iniciais de utilização do Ansys CFX. Vários outros exemplos de utilização são encontrados nos tutoriais do software. Nesse curso apenas alguns serão vistos. Recomenda-se que todos os tutoriais sejam implementados pelos usuários do software para que o mesmo obtenha a base necessária de operação da plataforma Ansys CFX

## 10. BIBLIOGRAFIA

- [1] ANSYS Inc, 2004. "User's guide - CFX Solver Theory".
- [2] MALISKA, C., R., 2007. "Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional: fundamentos e coordenadas generalizadas". Segunda edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.

## 11. ANEXOS

### 11.1- Iniciação ao ICEM CFD – Criando a primeira geometria.

1- Abrir o ICEM CFD.

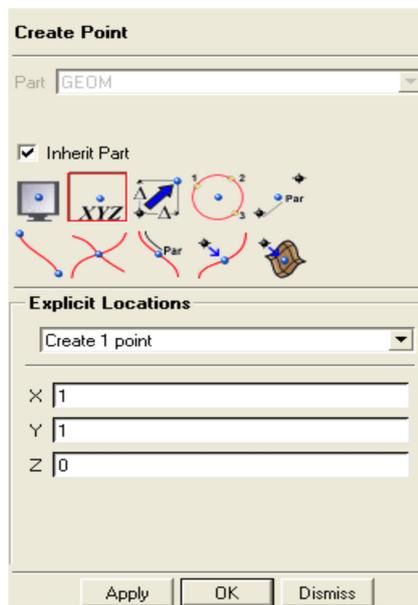
#### Criando pontos

2- Em *geometry* clique *create point*.



3- Na caixa *create point* selecionar, clicar em *explicit coordinates*:

Aplique as coordenadas conforme tabela abaixo: a cada ponto criado, confirme em *Apply*.



Pontos	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	0	1
2	1	0	1
3	1	0	0
4	0	1	0
5	0	1	1
6	1	1	1
7	1	1	0

Após todos os pontos serem criados, na árvore de trabalho, clique com o botão direito do mouse sobre *points* e selecione a opção *show point names*.

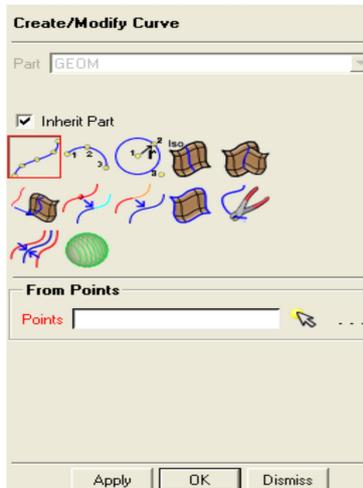
#### Criando curvas

4-Em *geometry* clique em *create/modify curve*



5-Na caixa de dialogo clique em *from points*: clique em *select location* e selecione os pontos 0 e 1 e clique com o botão do meio para confirmar.

6- Repita o mesmo procedimento selecionando os pontos conforme tabela abaixo:



1	2
2	3
3	0
0	4
4	5
5	1
5	6
6	2
6	7
7	3
7	4

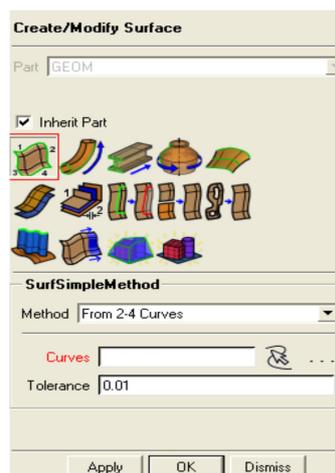
### Criando superficies

7-Em *geometry* selecionar *create/modify surface*



8-na caixa de dialogo clique em *simple surface*,

- *method*: from 2-4 curves
- *curves* selecionar a curva 0,1,2,3, botão do meio para confirmar



9-Repita o mesmo procedimento para os outros 5 lados do cubo.

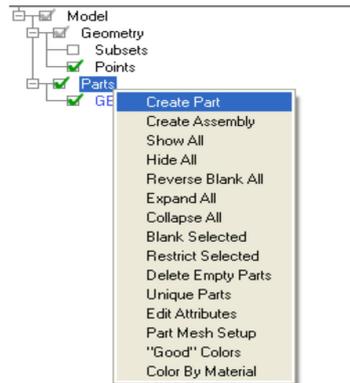
### Nomeando as partes

10-Na árvore de trabalho clique com o botão direito sobre o item *parts* e selecione o item *create part*:

- em *part*: lado 0



- *entities*: selecione a *surface 0*.



11-Repita o procedimento para os demais lados (6 lados).

## 11.2- Iniciação ao CFX – Quick Setup

### CARACTERÍSTICAS DO TUTORIAL

Neste tutorial você vai aprender sobre:

Usar o modo Quick Setup no CFX-Pre para estabelecer o problema;

Usar linhas de corrente no CFD-Post para traçar o campo de escoamento a partir de um ponto;

Visualizar a temperatura utilizando planos coloridos e contornos no CFD-Post;

Component	Feature	Details	
CFX-Pre	User Mode	Quick Setup Wizard	
	Analysis Type	Steady State	
	Fluid Type	General Fluid	
	Domain Type	Single Domain	
	Turbulence Model	k-Epsilon	
	Heat Transfer	Thermal Energy	
	Boundary Conditions	Inlet (Subsonic)	
		Outlet (Subsonic)	
Wall: No-Slip			
Wall: Adiabatic			
Timestep	Physical Time Scale		
CFD-Post	Plots	Animation	
		Contour	
		Outline Plot (Wireframe)	
		Point	
		Slice Plane	
		Streamline	

### VISÃO GERAL DO PROBLEMA A SER RESOLVIDO

Este tutorial simula um misturador estático constituído de dois tubos de entrada que fornecem água para o interior de um recipiente de mistura; a água sai através do tubo de saída. Um fluxo de trabalho geral é estabelecido para analisar o fluxo do fluido dentro e fora do misturador.

A água entra através dos dois tubos com mesma velocidade mas com temperaturas diferentes. A primeira entra a 2m/s e 315K e a segunda entra a 2m/s e 285K. O raio do misturador é de 2m.

O seu objetivo neste tutorial é entender como usar o ANSYS CFX para determinar a velocidade e temperatura da água na saída do misturador.

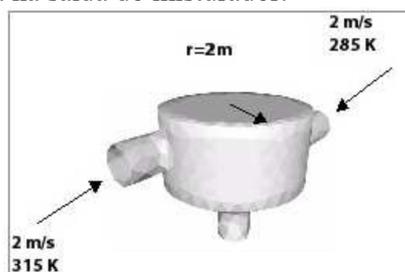


Figure 1. Static Mixer with 2 Inlet Pipes and 1 Outlet Pipe

### INICIANDO O CFX

Primeiramente deve-se criar uma pasta com o nome do tutorial onde estarão contidos os arquivos que serão utilizados no programa. Nesta pasta ficarão salvos os arquivos gerados no decorrer da simulação, pasta esta que deverá ser inserida no *Working Directory*. A pasta do StaticMixer encontra-se em:

*C:\Documents and Settings\Aluno\Meus documentos\Tutoriais\_CFX\StaticMixer*

- 1- No CFX-Pre selecione File> *New Case*
- 2- Selecione **Quick Setup** e clique em *OK*.
- 3- Selecione **File** > *Save Case As*.
- 4- Em **File name defina:** *StaticMixer* e clique em *Save*.

Definindo as configurações do problema

É necessário definir as propriedades do problema neste caso, o fluido e a temperatura

1-Na janela **Simulation Definition**

2-Seleciona para **Fluid > Water**.

Importando a malha

Na janela **Simulation Definition > Mesh File**:

1- No seu diretório de trabalho selecione *StaticMixerMesh.gtm*. Clique em **Open**.

2- Clique em **Next**

Definindo o modelo

Na janela **Physics Definition** do display

1- Em **Model Data > Reference Pressure > 1 [atm]**.

2- Selecione em **Heat Transfer > Thermal Energy**.

3-E em **Turbulence > k-Epsilon**.

4-Clique em **Next**.

Definindo as condutas de contorno

Na janela **Boundary Definition** do display

1-Delete *Inlet* e *Outlet* clicando com o botão direito do mouse (**Delete Boundary**).

2- Após deletar os dois, clique com o botão direito para adicionar uma condição de contorno (**Add Boundary**).

3-Em **Name** defina *in1*.

4-Clique em **OK**.

Especificando o escoamento

Na janela **Flow Specification** do display.

1-Em **Option > Normal Speed**.

2-Em **Normal Speed > 2 [m s<sup>-1</sup>]**.

Na janela **Temperature Specification** do display

1-Em **Static Temperature > 315 [K]**

Tab	Setting	Value
Boundary Data	Boundary Type	Inlet
	Location	in1
Flow Specification	Option	Normal Speed
	Normal Speed	2 [m s <sup>-1</sup> ]
Temperature Specification	Static Temperature	315 [K]

2-Repita os passos anteriores para as seguintes condições

Tab	Setting	Value
Boundary Data	Boundary Type	Inlet
	Location	in2
Flow Specification	Option	Normal Speed
	Normal Speed	2 [m s <sup>-1</sup> ]
Temperature Specification	Static Temperature	285 [K]

Tab	Setting	Value
Boundary Data	Boundary Type	Outlet
	Location	out
Flow Specification	Option	Average Static Pressure
	Relative Pressure	0 [Pa]

**Em Operation > Enter General Mode** e clique em **Finish**

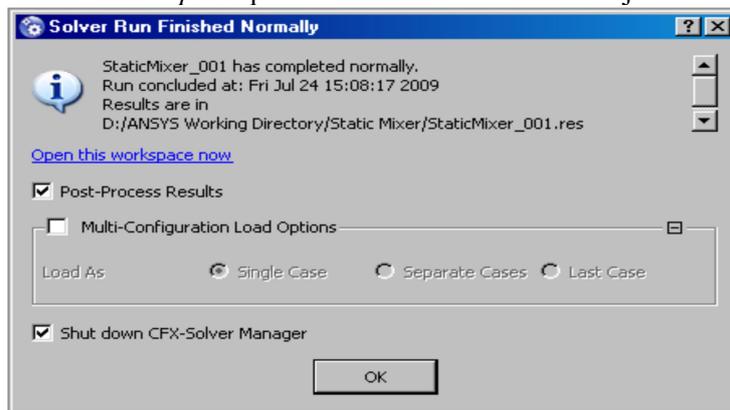
Parâmetros de solução (Solver control)

- 1- Clique em *Solver Control*.
  - 2- Na janela **Basic Settings**, em **Advection Scheme** > **Option** selecione *Upwind*.
  - 3- em **Convergence Control** > **Fluid Timescale Control** > **Timescale Control** selecione *Physical Timescale* e ajuste o valor para 2 [s].
  - 4- Clique em **OK**.
- Escrevendo CFX-Solver Input (.def) File

- 1-Clique em *Define Run* -
  - 2- Na janela **File name** > *StaticMixer.def*.
  - 3- Clique em **Save**.
  - 4- Clique em **Overwrite**.
- O CFX-Solver input criara um arquivo (StaticMixer.def). CFX-Solver Manager iniciara automaticamente clique **Define Run** na caixa de dialogo.

### POST PROCESS RESULTS

Para visualizar os resultados no *post* aparecera automaticamente uma janela:



- 1- Selecione a Opção *Post Process Results*

Abrirá a tela do *post*, onde é possível visualizar imagens com parâmetros calculados durante a simulação.

Exemplo:

- 1- Na barra de trabalho em  Location seleccione Plane. Crie um Plane 1

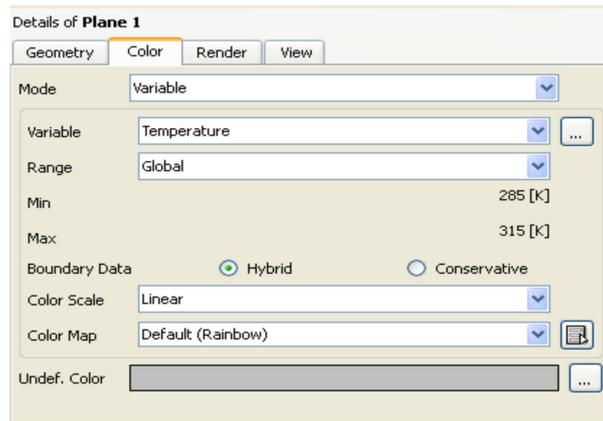


Na janela em *Geometry* seleccione o plano desejado.

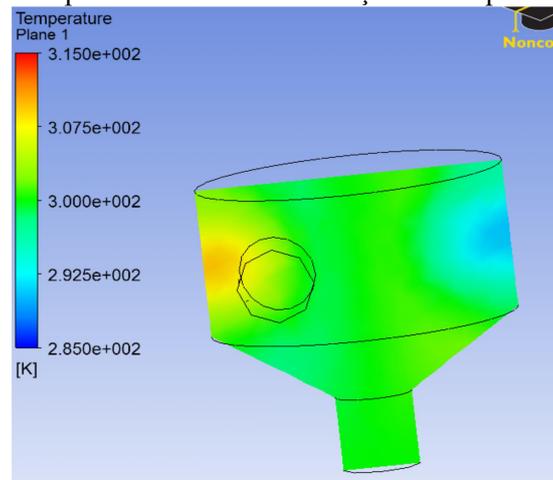
Em color defina **Mode** > *Variable*

**Variable** > *Temperaure*

Clique em **Apply**.



A imagem gerada mostrará o plano escolhido e a variação de temperatura.



### 11.3 – Usando o ICEM CFD – Importar geometria do Solid Edge

#### Static Mixer: Importando a Geometria a partir do Solid Edge:

Primeiramente, para importar uma geometria a partir do programa Solid Edge, deve-se salvar o arquivo do Solid Edge na extensão *STEP*. Em seguida, abrir o programa *ICEM CFD*.

Importar a geometria criada no programa Solid Edge clicando em *File, import geometry, STEP/IGES*, buscar o arquivo e clicar em *abrir*. Verificar se a geometria possui pontos, curvas e superfícies na árvore de trabalho.

#### Nomeando as Partes:

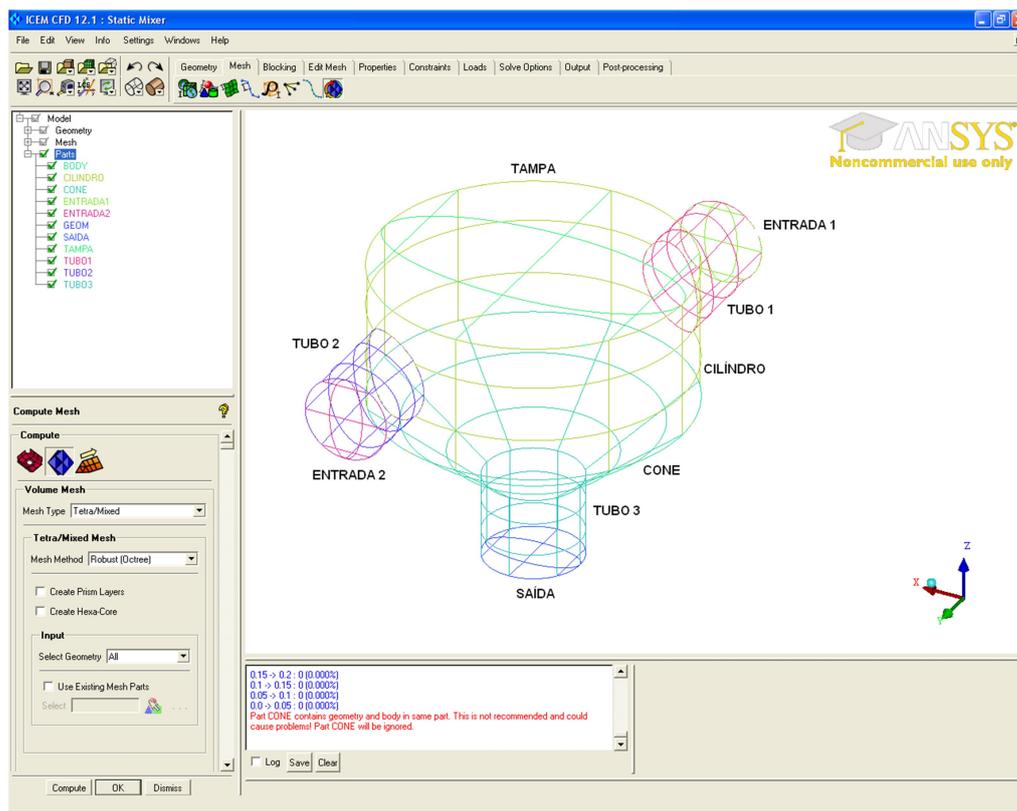
Clicar com o botão direito em *parts, create part*.

Na caixa de diálogo digite *ENTRADA 1*.

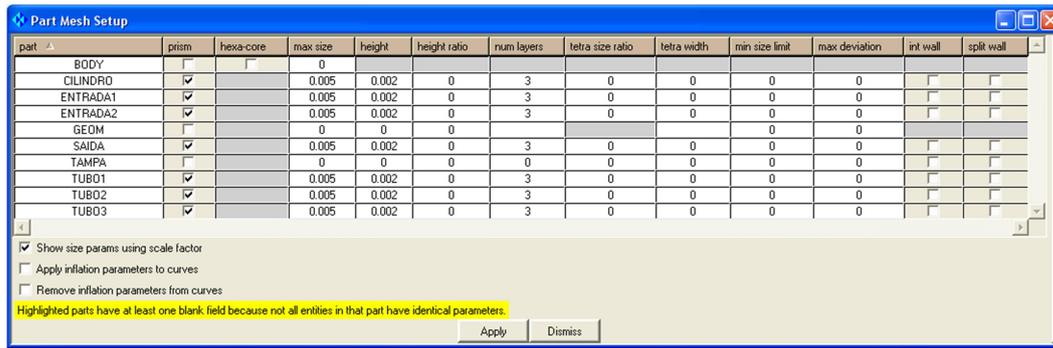
Clique em *select entities*, selecione a superfície indicada na figura abaixo e clique com o botão do meio do mouse para confirmar a seleção. Repita o mesmo procedimento com a *ENTRADA 2, SAÍDA, CILÍNDRO, CONE, TAMPA, TUBO ENTRADA 1, TUBO ENTRADA 2 e TUBO SAÍDA*.

#### Criando a Malha:

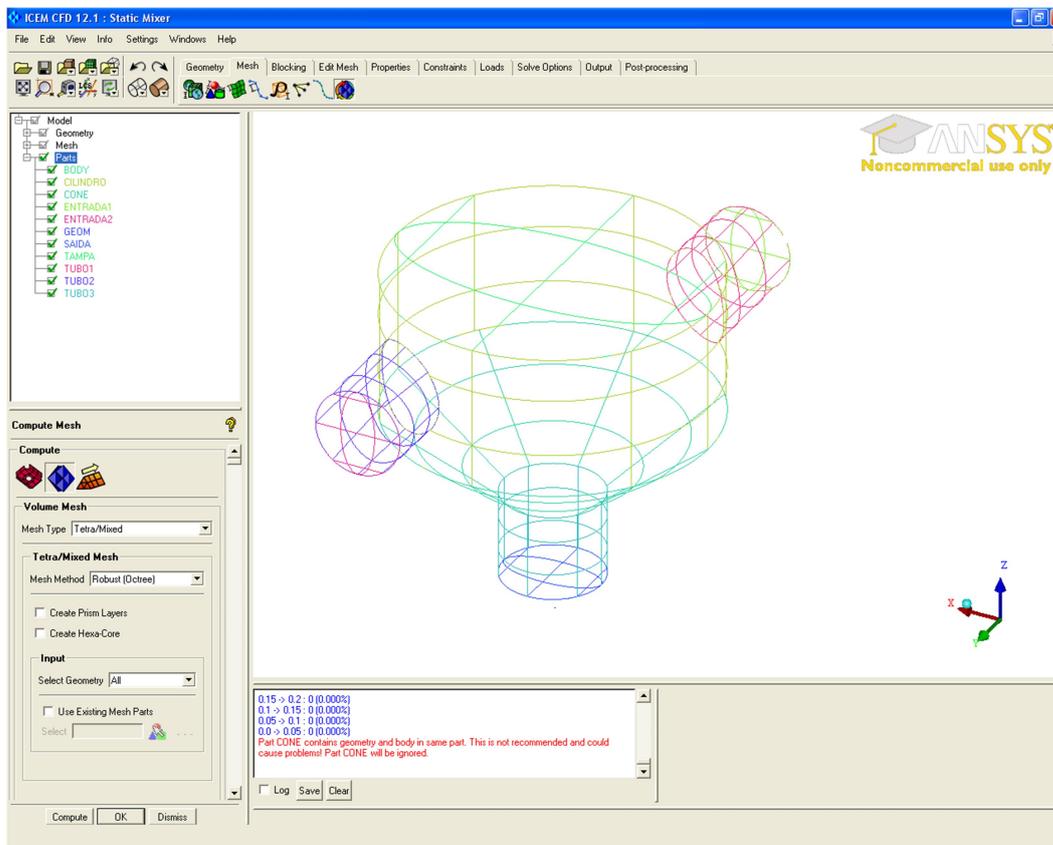
Clicar em *Mesh*, digite em *Scale Factor* o valor 0.004 e confirme com o botão *Apply*.



Em seguida clique em *Part Mesh Setup* e digite os valores apresentados na figura abaixo.



Clique em *Compute Mesh*, e selecione *Volume Mesh* e preencha os campos conforme ilustra a figura abaixo.



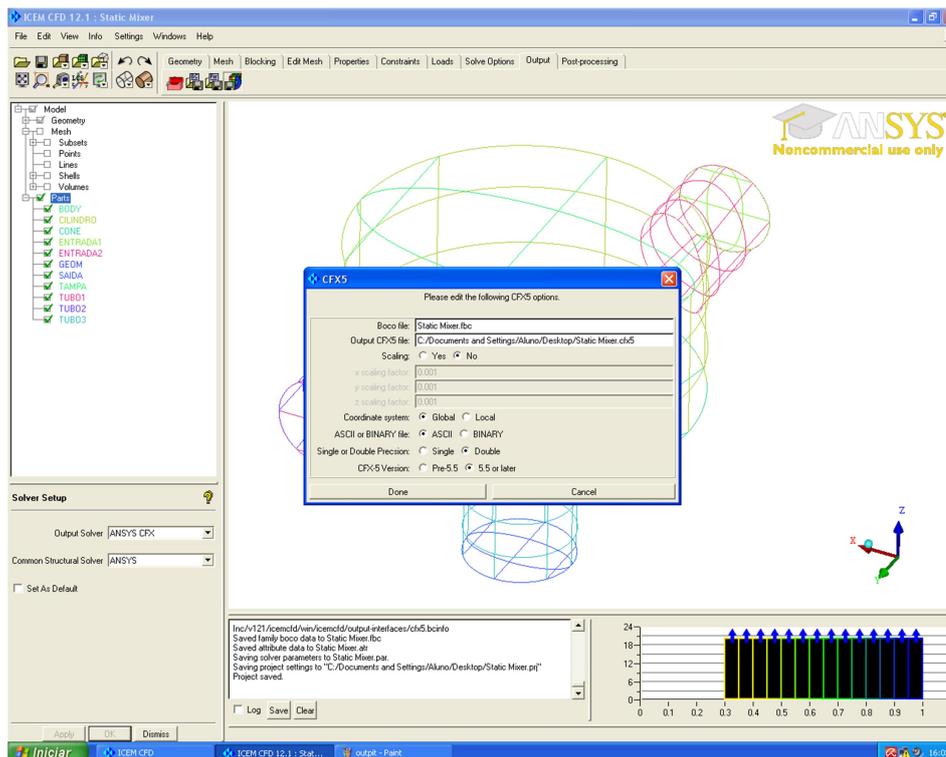
Clique em *Compute* e aguarde até o processo de geração de malha ser concluído. Após a criação esta deve ser checada para garantir que não houveram erros em sua criação. Para isso, pressione o botão *Edit Mesh* e clique em *Check Mesh*. Para ajustar os elementos da malha selecione *Smooth Mesh Globally* fazendo as alterações necessárias. Alterações dos parâmetros de malha: Deletar a malha; alterar tamanho da malha, verificar qualidade da nova malha. Para isso, pressione o botão *Edit Mesh* e clique em *Check Mesh*.

## Gerando prismas sobre a superfícies

Agora, para fazer os elementos prismáticos clique novamente em *Compute Mesh* e selecione a opção *Prism Mesh*. Após computar a malha, deve-se checar a qualidade da malha e fazer os ajustes necessários de acordo com os passos descritos anteriormente.

## Exportando a Malha:

Clique em *Output*, *Select Solver* e marque na caixa de diálogo as opções apresentadas na figura abaixo. Depois selecione *Write Input*, salve o projeto e clique em *Done* para confirmar e fechar a caixa de diálogo.





## 11.4- Iniciação ao CFX – General Mode

### Tutorial 1, segunda parte: Static Mixer Modo-Geral (*General Mode*)

Neste tutorial irá se familiarizar com o Modo Geral para prescrições de soluções dos problemas no CFX, utilizando uma malha já previamente construída para a geometria do Static Mixer, e irá desenvolver conhecimentos sobre como usar o este modo, o *General Mode*, para implementar a solução do problema visto na aula passada no modo iniciante, o *Quick Setup*;

Component	Feature	Details	
CFX-Pre	User Mode	General Mode	
	Analysis Type	Steady State	
	Fluid Type	General Fluid	
	Domain Type	Single Domain	
	Turbulence Model	k-Epsilon	
	Heat Transfer	Thermal Energy	
	Boundary Conditions		Inlet (Subsonic)
			Outlet (Subsonic)
			Wall: No-Slip
			Wall: Adiabatic
	Timestep	Physical Time Scale	
CFD-Post	Plots	Slice Plane	
		Sphere Volume	
	Other	Viewing the Mesh	

**OBS.** Primeiramente deve-se criar um diretório de trabalho com os seguintes arquivos:

- StaticMixerRefMesh.gtm
- StaticMixerRef.pre
- StaticMixer.def (gerado no primeiro exemplo)
- StaticMixer\_001.res (gerado no primeiro exemplo)

### Pré processamento do problema- Domínio, fluido, modelos e condições de contorno (CFX Pré)

I- Criando um novo caso:

No CFX-Pre, selecione **File > New Case**.

- 1- Select **General > New Case** na caixa de dialogo que aparecer clique em **OK**.
- 2- Selecione **File > Save Case As**.
- 3- Em **File name > StaticMixerRef** e clique em **Save**.

II- Importando a malha

- 1- Selecione **Arquivo > Importar > Mesh**
- 2- Na caixa de diálogo selecione **StaticMixerRefMesh.gtm** do seu diretório de trabalho (Trata-se de uma malha que é mais refinado do que o utilizado no Tutorial 1 já preparada para este exemplo para o curso.)
- 3- Clique em **Open**.

III- Importando CCL (arquivo pré-definido pela Ansys com parte da modelagem a ser usada)

1. Selecione **File > Import > CCL**.  
O **Import CCL** aparecerá numa caixa de diálogo.
2. Em **Import Method**, selecione **Replace**.
3. Em **File type**, selecione **CFX-Solver Files (\*.def \*.res)**.
4. Selecione **StaticMixer.def** criado no primeiro exemplo.

5. Clique **Open**.
6. Selecione **Outline**.

#### IV- Visualizando Configurações de Domínio

1. Em **Outline** na árvore de trabalho, em Simulation > Flow Analysis 1, confirme com dois cliques Default Domain.
2. Clique **Basic Settings** usar configuração atual.
3. Clique **Fluid Models** usar configuração atual.
4. Clique **Initialization** usar configuração atual.
5. Clique **Close**.

#### V- Visualizando as condições de contorno

1. Em **Default Domain**, dois cliques > in1.
2. Clique em **Boundary Details** (contem todas as definições para o escoamento)
3. Clique **Close**.

#### VI - Definido parâmetros do Solver

1. Selecione **Insert > Solver > Solver Control** da barra de menu clique *Solver Control* .
2. Aplique as seguintes condições em **Basic Settings**

Setting	Value
Advection Scheme > Option	High Resolution
Convergence Control > Max. Iterations <sup>[1]</sup>	150
Convergence Control > Fluid Timescale Control > Timescale Control	Physical Timescale
Convergence Control > Fluid Timescale Control > Physical Timescale	0.5 [s]

3. Clique **Apply**.
4. Clique em **Advanced Options**.
5. Certifique-se que **Global Dynamic Model Control** está selecionado.
6. Clique **OK**.

#### VII- Escrevendo a entrada do CFX-Solver (. Def) File

1. Clique *Define Run*  uma caixa de dialogo é exibida.
2. Aplique a seguinte condição:

Setting	Value
File name	StaticMixerRef.def

3. Clique **Save**.

O arquivo de entrada CFX-Solver (StaticMixerRef.def) é criado. CFX-Solver Manager é iniciado automaticamente e, na caixa de diálogo selecione **Define Run** o Solver do arquivo de entrada está definido. o **Solver Input File** está definido.

4. Se você for notificado no CFX-Pre que o arquivo já existe, clique em **Overwrite**.
5. Saia do CFX-Pre, salvando a simulação (.cfx).

#### VIII- Usando CFX-Solver Manager.

Nessa etapa o usuário tem condições de parar a solução e alterar alguns dados da solução e retornar ao solver para continuar o cálculo a partir das modificações.

É possível também ver resultados prévios gravados nos Backups para acompanhar a solução, dentre outras funções.

### Resultados (Post Process Results)

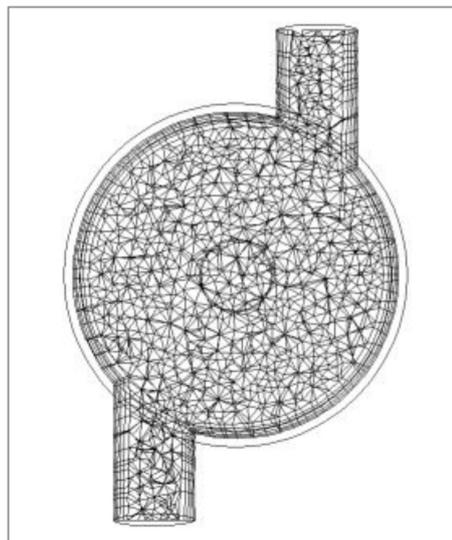
1. Na caixa de ferramentas selecione **Insert > Location > Plane** ou em **Location**, clique **Plane**.

2. Em **Insert Plane** na caixa de dialogo, tipo **Slice** e clique **OK**.

3. Aplique os seguintes parâmetros

Tab	Setting	Value
Geometry	Domains	Default Domain
	Definition > Method	XY Plane
	Definition > Z	1 [m]
	Plane Type	Slice
Render	Show Faces	(Cleared)
	Show Mesh Lines	(Selected)

4. Clique **Apply**



Gerando campo de temperaturas:

1-Aplique o campo de temperaturas sobre esse plano, seguindo abaixo:

Tab	Setting	Value
Color	Mode [1]	Variable
	Variable	Temperature
	Range	Global
Render	Show Faces	(Selected)
	Show Mesh Lines	(Cleared)

2-Clique **Apply**.

3-Faça também as linhas de corrente do escoamento, repetindo os procedimentos vistos na aula anterior.

4-Crie em **Vector** o campo de vetores velocidade. Altere o tamanho dos vetores e mude algumas configurações.

## 11.5- Iniciação ao CFX – General Mode: Flow from a Circular Vent

### Tutorial Features

In this tutorial you will learn about:

Setting up a transient problem in CFX-Pre.

Using an opening type boundary in CFX-Pre.

Making use of multiple configurations in CFX-Pre

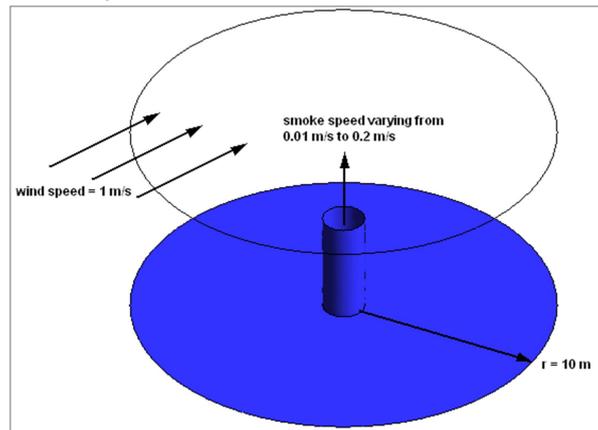
Modeling smoke using additional variables in CFX-Pre.

Visualizing a smoke plume using an Isosurface in CFD-Post.

Creating an image for printing, and generating a movie in CFD-Post.

Component	Feature	Details	
CFX-Pre	User Mode	General Mode	
	Analysis Type		Steady State
			Transient
	Fluid Type		General Fluid
	Domain Type		Single Domain
	Turbulence Model		k-Epsilon
	Boundary Conditions		Inlet (Subsonic)
			Opening
			Wall: No-Slip
	Timestep		Auto Time Scale
Transient Example			
Configuration		Multiple	
Transient Results File			
CFD-Post	Plots		Animation
			Isosurface
	Other		Auto Annotation
			Movie Generation
			Printing
			Time Step Selection
			Title/Text
			Transient Animation

In this example, a chimney stack releases smoke that is dispersed into the atmosphere with an oncoming side wind of 1 m/s. The turbulence will be set to intensity and length scale with a value of 0.05, which corresponds to 5% turbulence, a medium level intensity, and with a eddy length scale value of 0.25 m. The goal of this tutorial is to model the dispersion of the smoke from the chimney stack over time. Unlike previous tutorials, which were steady-state, this example is time-dependent. Initially, no smoke is being released. Subsequently, the chimney starts to release smoke. As a postprocessing exercise, you produce an animation that illustrates how the plume of smoke develops with time.



### Starting CFX-Pre

Prepare the working directory using the following files in the examples directory:

CircVent.pre

CircVentMesh.gtm

Set the working directory and start CFX-Pre.

Defining a Multiple-Analysis Simulation in CFX-Pre

If you want to set up the simulation automatically using a tutorial session file, run `CircVent.pre..`

In CFX-Pre, select **File > New Case**.

Select **General** and click **OK**.

Select **File > Save Case As**.

Set **File name** to `CircVent`.

Click **Save**.

Importing the Mesh

Edit `Case Options > General` in the **Outline** tree view and ensure that **Automatic Default Domain** is turned off.

Default Domain generation should be turned off because you will create a new domain manually, later in this tutorial.

Select **File > Import > Mesh**.

From your working directory, select `CircVentMesh.gtm`.

Click **Open**.

Right-click a blank area in the viewer and select **Predefined Camera > Isometric View (Z up)** from the shortcut menu.

Creating an Additional Variable

In this tutorial an Additional Variable (non-reacting scalar component) will be used to model the dispersion of smoke from the vent.

From the menu bar, select **Insert > Expressions, Functions and Variables > Additional Variable**.

Set **Name** to `smoke`.

Click **OK**.

Set **Variable Type** to `Volumetric`.

Set **Units** to `[kg m-3]`.

Click **OK**.

Renaming the Analysis

To rename the existing analysis:

From the **Outline** Tree, right-click `Simulation > Flow Analysis 1` and click **Rename**.

Rename the analysis to `Steady State Analysis`.

Creating the Domain

You will create a fluid domain that includes support for smoke as an Additional Variable.

To Create a New Domain



Select **Insert > Domain** from the menu bar, or click *Domain* , then set the name to `CircVent` and click **OK**.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Location and Type > Location	B1.P3
	Fluid and Particle Definitions	Fluid 1
	Fluid and Particle Definitions > Fluid 1 > Material	Air at 25 C
	Domain Models > Pressure > Reference Pressure	0 [atm]
Fluid Models	Heat Transfer > Option	None
	Additional Variable Models > Additional Variable	smoke
	Additional Variable Models > Additional Variable > smoke	(Selected)
	Additional Variable Models > Additional Variable > smoke > Kinematic Diffusivity	(Selected)
	Additional Variable Models > Additional Variable > smoke > Kinematic Diffusivity > Kinematic Diffusivity	1.0E-5 [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ] <sup>[9]</sup>

<sup>[9]</sup> 1.0E-5 [m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>] is a representative kinematic diffusivity value for smoke in air.

Click **OK**.

Creating the Boundaries

This is an example of external flow, since fluid is flowing *over* an object and not *through* an enclosure such as a pipe network (which would be an example of internal flow). In external flow problems, some inlets will be made sufficiently large that they do not affect the CFD solution. However, the length scale values produced by the **Default Intensity and AutoCompute Length Scale** option for turbulence are

based on inlet size. They are appropriate for internal flow problems and particularly, cylindrical pipes. In general, you need to set the turbulence intensity and length scale explicitly for large inlets in external flow problems. If you do not have a value for the length scale, you can use a length scale based on a typical length of the object over which the fluid is flowing. In this case, you will choose a turbulence length scale which is one-tenth of the diameter of the vent. For parts of the boundary where the flow direction changes, or is unknown, an opening boundary can be used. An opening boundary allows flow to both enter and leave the fluid domain during the course of the analysis.

**Inlet Boundary**

You will create the inlet boundary with velocity components set consistently with the problem description.

Select **Insert > Boundary** from the menu bar or click *Boundary* .

Set **Name** to *Wind*.

Click **OK**.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Boundary Type	Inlet
	Location	Wind
Boundary Details	Mass And Momentum > Option	Cart. Vel. Components
	Mass and Momentum > U	1 [m s <sup>-1</sup> ]
	Mass and Momentum > V	0 [m s <sup>-1</sup> ]
	Mass and Momentum > W	0 [m s <sup>-1</sup> ]
	Turbulence > Option	Intensity and Length Scale
	Turbulence > Fractional Intensity	0.05 <sup>[a]</sup>
	Turbulence > Eddy Length Scale	0.25 [m] <sup>[b]</sup>
	Additional Variables > smoke > Option	Value
Additional Variables > smoke > Add. Var. Value	0 [kg m <sup>-3</sup> ] <sup>[c]</sup>	
<p><sup>[a]</sup> From the problem description.  <sup>[b]</sup> From the problem description.  <sup>[c]</sup> The smoke value that will be set up corresponds to no smoke at the inlet.</p>		

5. Click **OK**.

**Opening Boundary**

You will create an opening boundary with pressure and flow direction specified. If fluid enters the domain through the opening, it should have turbulence intensity and length scale, as well as smoke concentration, set to the same values as for the inlet.

Select **Insert > Boundary** from the menu bar or click *Boundary* .

Set **Name** to *Atmosphere*.

Click **OK**.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Boundary Type	Opening
	Location	Atmosphere
Boundary Details	Mass And Momentum > Option	Opening Pres. and Dirn
	Mass and Momentum > Relative Pressure	0 [Pa]
	Flow Direction > Option	Normal to Boundary Condition
	Turbulence > Option	Intensity and Length Scale
	Turbulence > Fractional Intensity	0.05
	Turbulence > Eddy Length Scale	0.25 [m]
	Additional Variables > smoke > Option	Value
	Additional Variables > smoke > Add. Var. Value	0 [kg m <sup>-3</sup> ]

5. Click **OK**.

**Inlet for the Vent**

You will create the vent inlet boundary with a normal velocity of 0.01 m/s as prescribed in the problem description and no smoke release. The turbulence level for the inlet vent will be determined from turbulence intensity and eddy viscosity ratio.



Select **Insert > Boundary** from the menu bar or click *Boundary*

Set **Name** to *Vent*.

Click **OK**.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Boundary Type	Inlet
	Location	Vent
Boundary Details	Mass And Momentum > Normal Speed	0.01 [m s <sup>-1</sup> ]
	Turbulence > Option	Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Turbulence > Fractional Intensity	0.05
	Turbulence > Eddy Viscosity Ratio	10
	Additional Variables > smoke > Option	Value
	Additional Variables > smoke > Add. Var. Value	0 [kg m <sup>-3</sup> ]

5. Click **OK**.

Setting Initial Values

For this tutorial, the automatic initial values are suitable. Review and apply the default settings:



Click *Global Initialization*

Review the settings for velocity, pressure, turbulence and the smoke.

Click **OK**.

Setting Solver Control

CFX-Solver has the ability to calculate physical time step size for steady-state problems. If you do not know the time step size to set for your problem, you can use the *Auto Timescale* option.



Click *Solver Control*

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Convergence Control > Max. Iterations	75

3. Note that **Convergence Control > Fluid Timescale Control > Timescale Control** is set to *Auto Timescale*.

4. Click **OK**

Creating a Transient Flow Analysis

In this part of the tutorial, you will duplicate the steady-state analysis and adapt it to set up a transient flow analysis in CFX-Pre.

From the **Outline** tree view, right-click *Simulation > Steady State Analysis* and select **Duplicate**.

Right-click *Simulation > Copy of Steady State Analysis* and select **Rename**.

Rename the analysis to *Transient Analysis*.

Modifying the Analysis Type

In this step you will set the new analysis to a type of transient. Later, you will set the concentration of smoke for the transient analysis to rise asymptotically to its final concentration with time, so it is necessary to ensure that the interval between the time steps is smaller at the beginning of the simulation than at the end.

In the **Outline** tree view, ensure that *Simulation > Transient Analysis* is expanded.

From the **Outline** tree view, right-click *Simulation > Transient Analysis > Analysis Type* and select **Edit**.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Analysis Type > Option	Transient
	Analysis Type > Time Duration > Total Time	30 [s]
	Analysis Type > Time Steps > Timesteps <sup>[a][b]</sup>	4*0.25, 2*0.5, 2*1.0, 13*2.0 [s]
	Analysis Type > Initial Time > Option	Value
	Analysis Type > Initial Time > Time	0 [s]

<sup>[a]</sup> Do NOT click *Enter Expression*  to enter lists of values. Enter the list without the units, then set the units in the drop-down list.

<sup>[b]</sup> This list specifies 4 timesteps of 0.25 [s], then 2 timesteps of 0.5 [s], and so on.

#### 4. Click **OK**

#### Modifying the Boundary Conditions

The only boundary condition that needs altering for the transient analysis is the *Vent* boundary condition. In the steady-state calculation, this boundary had a small amount of air flowing through it. In the transient calculation, more air passes through the vent and there is a time-dependent concentration of smoke in the air. This is initially zero, but builds up to a larger value. The smoke concentration will be specified using the CFX Expression Language.

#### To Modify the Vent Inlet Boundary Condition

In the **Outline** tree view, ensure that *Simulation > Transient Analysis > CircVent* is expanded.

Right-click *Simulation > Transient Analysis > CircVent > Vent* and select **Edit**.

Apply the following settings:

Tab	Setting	Value
Boundary Details	Mass And Momentum > Normal Speed	0.2 [m s <sup>-1</sup> ]

Leave the **Vent** details view open for now.

You are going to create an expression for smoke concentration. The concentration is zero for time  $t=0$  and builds up to a maximum of  $1 \text{ kg m}^{-3}$ .

Create a new expression by selecting **Insert > Expressions, Functions and Variables > Expression** from the menu bar. Set the name to *TimeConstant*.

Apply the following settings

Name	Definition
TimeConstant	3 [s]

Click **Apply** to create the expression.

Create the following expressions with specific settings, remembering to click **Apply** after each is defined

Name	Definition
FinalConcentration	1 [kg m <sup>-3</sup> ]
ExpFunction <sup>[a]</sup>	FinalConcentration*abs(1-exp(-t/TimeConstant))

<sup>[a]</sup> When entering this function, you can select most of the required items by right-clicking in the **Definition** window in the **Expression** details view instead of typing them. The names of the existing expressions are under the **Expressions** menu. The **exp** and **abs** functions are under **Functions > CEL**. The variable **t** is under **Variables**.

#### Plotting Smoke Concentration

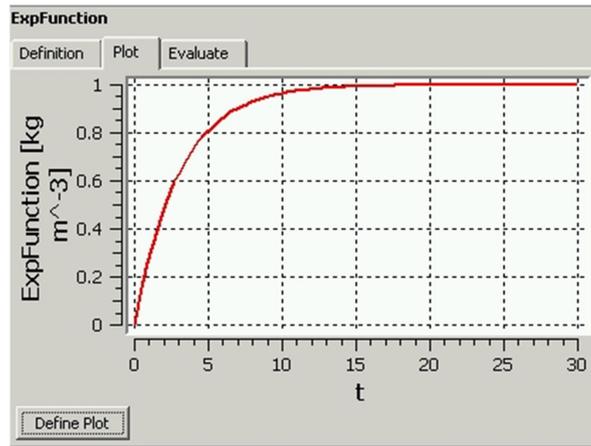
Double-click *ExpFunction* in the **Expressions** tree view.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
Plot	t	(Selected)
	t > Start of Range	0 [s]
	t > End of Range	30 [s]

Click **Plot Expression**.

The button name then changes to **Define Plot**, as shown



As can be seen, the smoke concentration rises to its asymptotic value reaching 90% of its final value at around 7 seconds.

Click the **Boundary: Vent** tab.

In the next step, you will apply the expression `ExpFunction` to the additional variable `smoke` as it applies to the `Transient Analysis` boundary `Vent`.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
Boundary Details	Additional Variables > smoke > Option	Value
	Additional Variables > smoke > Add. Var. Value [a]	ExpFunction
[a] Click <i>Enter Expression</i> to enter text.		

#### Initialization Values

When the `Transient Analysis` is run, the initial values to the CFX-Solver will be taken from the results of the `Steady State Analysis`. The steady state and transient analyses will be sequenced by setting up the configurations of these analyses in a subsequent step. For the moment, you can leave all of the initialization data set for the `Transient Analysis` to **Automatic** and the initial values will be read automatically from the `Steady State Analysis` results. Therefore, there is no need to revisit the initialization settings.

#### Modifying the Solver Control

In the **Outline** tree view, ensure that `Simulation > Transient Analysis > Solver` is expanded.

Right-click `Simulation > Transient Analysis > Solver > Solver Control` and select **Edit**. Set **Convergence Control > Max. Coeff. Loops** to 3.

Leave the other settings at their default values.

Click **OK** to set the solver control parameters

#### Output Control

To allow results to be viewed at different time steps, it is necessary to create transient results files at specified times. The transient results files do not have to contain all solution data. In this step, you will create minimal transient results files.

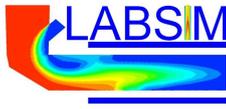
#### To Create Minimal Transient Results Files

In the **Outline** tree view, double click `Simulation > Transient Analysis > Solver > Output Control`.

Click the **Trn Results** tab.

In the **Transient Results** tree view, click *Add new item* ; set **Name** to `Transient Results 1`, and click **OK**.

Apply the following settings to `Transient Results 1`:



Setting	Value
Option	Selected Variables
Output Variables List [a]	Pressure, Velocity, smoke
Output Frequency > Option	Time List
Output Frequency > Time List [b]	1, 2, 3 [s]
[a] Click the ellipsis icon to select items if they do not appear in the drop-down list. Use the <b>Ctrl</b> key to select multiple items.	
[b] Do NOT click <i>Enter Expression</i> to enter lists of values. Enter the list without the units, then set the units in the drop-down list.	

Click **Apply**.

In the **Transient Results** tree view, click *Add new item* ; set **Name** to `Transient Results 2`, and click **OK**.

This creates a second transient results object. Each object can result in the production of many transient results files.

Apply the following settings to `Transient Results 2`:

Click **OK**.

### Configuring Simulation Control

With two types of analysis for this simulation, configuration control is used to sequence these analyses.

#### Configuration Control for the Steady State Analysis

To set up the `Steady State Analysis` so that it will start at the beginning of the simulation:

In the **Outline** tree view, ensure that `Simulation Control` is expanded.

Right-click `Simulation Control > Configurations` and select **Insert > Configuration**.

Set **Name** to `Steady State`.

Click **OK**.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
General Settings	Flow Analysis	Steady State Analysis
	Activation Conditions > Activation Condition 1 > Option	Start of Simulation

Click **OK**.

#### Configuration Control for the Transient Analysis

To set up the `Transient Analysis` so that it will start upon the completion of the `Steady State Analysis`:

Right-click `Simulation Control > Configurations` and select **Insert > Configuration**.

Set **Name** to `Transient`.

Click **OK**.

Apply the following settings

Tab	Setting	Value
General Settings	Flow Analysis	Transient Analysis
	Activation Conditions > Activation Condition 1 > Option	End of Configuration
	Activation Conditions > Activation Condition 1 > Configuration Name	Steady State
Run Definition	Configuration Execution Control	Selected
	Configuration Execution Control > Initial Values Specification	Selected
	Configuration Execution Control > Initial Values Specification > Initial Values > Initial Values 1 > Option	Configuration Results
	Configuration Execution Control > Initial Values Specification > Initial Values > Initial Values 1 > Configuration Name	Steady State

5. Click **OK**.

### Writing the CFX-Solver Input File

From the **Outline** tree view, right-click `Simulation Control` and select **Write Solver Input File**.

Apply the following settings:

Setting	Value
File of type	CFX-Solver Input Files (*.mdef)
File name	CircVent.mdef

Click **Save**.

This will create `CircVent.mdef` as well as a directory named `CircVent` that contains `SteadyState.cfg` and `Transient.cfg`.

Quit CFX-Pre, saving the case (.cfx) file.

**Obtaining Solutions to the Steady-State and Transient Configurations**

You can obtain a solution to the steady-state and transient configurations by using the following procedure.

Start CFX-Solver Manager.

From the menu bar, select **File > Define Run**.

Apply the following settings

Setting	Value
Solver Input File	CircVent.mdef
Edit Configuration	Global Settings

Click **Start Run**.

CFX-Solver Manager will start with the solution of the steady-state configuration.

In the **Workspace** drop-down menu, select `SteadyState_001`. The residual plots for six equations will appear: U - Mom, V - Mom, W - Mom, P - Mass, K-TurbKE, and E-Diss.K (the three momentum conservation equations, the mass conservation equation and equations for the turbulence kinetic energy and turbulence eddy dissipation). The **Momentum and Mass** tab contains four of the plots and the other two are under **Turbulence Quantities**. The residual for the smoke equation is also plotted but registers no values since it is not initialized.

Upon the successful completion of the steady-state configuration, the solution of the transient configuration starts automatically. Notice that the text output generated by the CFX-Solver in the `Run Transient 001` **Workspace** will be more than you have seen for steady-state problems. This is because each timestep consists of several inner (coefficient) iterations. At the end of each timestep, information about various quantities is printed to the text output area. The residual for the smoke equation is now plotted under the **Additional Variables** tab.

Upon the successful completion of the transient configuration, ensure that the check box beside **Post-Process Results** is cleared and click **OK** to close the message indicating the successful completion of the transient solution.

Upon the successful completion of the combined steady-state and transient configurations, ensure that the check box beside **Post-Process Results** is cleared and click **OK** to close the message indicating the successful completion of the simulation.

In the CFX-Solver Manager, set **Workspace** to `Run CircVent 001`.

From the menu bar, select **Tools > Post-Process Results**.

On the **Start CFD-Post** dialog box, select **Shut down CFX-Solver Manager** and click **OK**.

**Viewing the Results in CFD-Post**

In this tutorial, you will create an isosurface to illustrate the pattern of smoke concentration. Also, you will view results at different time steps. Finally, you will animate the results to view the dispersion of smoke from the vent over time, and you will save the animation as an MPEG file

**Displaying Smoke Density Using an Isosurface**

An isosurface is a surface of constant value of a variable. For instance, it could be a surface consisting of all points where the velocity is  $1 \text{ [m s}^{-1}\text{]}$ . In this case, you are going to create an isosurface of smoke concentration (smoke is the Additional Variable that you specified earlier).

In CFD-Post, right-click a blank area in the viewer and select **Predefined Camera > Isometric View (Z up)**.

This ensures that the view is set to a position that is best suited to display the results.

From the menu bar, select **Insert > Location > Isosurface**, or under **Location** on the toolbar, click **Isosurface**.

Click **OK** to accept the default name.

Apply the following settings:

Tab	Setting	Value
Geometry	Variable	smoke
	Value	0.005 [kg m <sup>-3</sup> ]

Click **Apply**.

A bumpy surface is displayed, showing the smoke emanating from the vent.

The surface is rough because the mesh is coarse. For a smoother surface, you would re-run the problem with a smaller mesh length scale.

The surface will be a constant color because the default settings on the **Color** tab were used.

When **Color Mode** is set to either **Constant** or **Use Plot Variable** for an isosurface, the isosurface is displayed in one color.

In **Geometry**, experiment by changing the **Value** setting so that you can see the shape of the plume more clearly.

Zoom in and rotate the geometry, as required.

When you have finished, set **Value** to  $0.002 \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$ .

Right-click a blank spot in the viewer and select **Predefined Camera > Isometric View (Z up)**.

Viewing the Results at Different Time Steps

When CFD-Post is loaded, the results that are immediately available are those at the final time step; in this case, at  $t = 30 \text{ s}$  (this is nominally designated Final State). The **Timestep Selector** shows the **Configuration**, the step of the **Simulation**, the **Step** (outer loop) number, the **Time** (simulated time in seconds) of the configuration and the **Type** of results file that was saved at that time step for the configuration. You can see that **Partial** results files were saved (as requested in CFX-Pre) for all time steps in the transient configuration except for the last one.

Click **Timestep Selector** .

Load the results for a **Time** value of 2 s by double-clicking the appropriate row in the **Timestep Selector**.

After a short pause, the **Current Timestep** (located just below the title bar of the **Timestep Selector**) will be updated with the new time step number.

Load the time value of 4 s using the **Timestep Selector**.

The smoke has now spread out even more, and is being carried by the wind.

Double-click some more time values to see how the smoke plume grows with time.

Finish by loading a time value of 12 s.

Generating Titled Image Files

You can produce titled image output from CFD-Post.

Adding a Title

First, you will add text to the viewer so that the printed output has a title.

Select **Insert > Text** from the menu bar or click **Create text** .

Click **OK** to accept default name.

In the **Text String** box, enter the following text

```
Isosurface showing smoke concentration of 0.002 kg/m^3 after
```

Select **Embed Auto Annotation**.

Set **Type** to **Time Value**.

In the text line, note that `<aa>` has been added to the end. This is where the time value will be placed.

Click **Apply** to create the title.

Click the **Location** tab to modify the position of the title.

The default settings for text objects center text at the top of the screen. To experiment with the position of the text, change the settings on the **Location** tab.

Under the **Appearance** tab, change **Color Mode** to **User Specified** and select a new color.

Click **Apply**.

JPEG output

CFD-Post can save images in several different formats. In this section you will save an image in JPEG format.

Select **File > Save Picture**, or click **Save Picture** .

Set **Format** to **JPEG**.

Click **Browse**  next to the **File** data box.

Browse to the directory where you want the file saved.

Enter a name for the JPEG file.

Click **Save** to set the file name and directory.

This sets the path and name for the file.

To save the file, click **Save** on the **Save Picture** dialog box.

To view the file or make a hard copy, use an application that supports JPEG files.

Turn off the visibility of the text object to hide it.

Generating a Movie

You can generate an MPEG file to show the transient flow of the plume of smoke. To generate a movie file, you use the **Animation** dialog box.

In the **Timestep Selector**, ensure that a time value of 0 s is loaded.

Click *Animation* .

Ensure that **Quick Animation** is selected.

Position the geometry so that you will be able to see the plume of smoke.

In the object tree of the **Animation** dialog box, click **Timesteps**.

Click *More Animation Options*  to show more animation settings.

Ensure that the *Repeat forever* button  next to **Repeat** is not selected (not depressed).

Select **Save Movie**.

Set **Format** to MPEG1.

Click *Browse*  next to **Save Movie**.

Set **File name** to `CircVent.mpg`.

If required, set the path location to a different directory.

Click **Save**.

The movie file name (including path) has been set, but the animation has not yet been produced.

Click *Play the animation* .

The movie will be created as the animation proceeds.

This will be slow, since results for each timestep will be loaded and objects will be created.

To view the movie file, you need to use a viewer that supports the MPEG format.

**Note**

To explore additional animation options, click the **Options** button. On the **Advanced** tab of **Animation Options**, there is a check box called **Save Frames As Image Files**. By selecting this check box, the JPEG or PPM files used to encode each frame of the movie will persist after movie creation; otherwise, they will be deleted.

When you have finished, quit CFD-Post.