

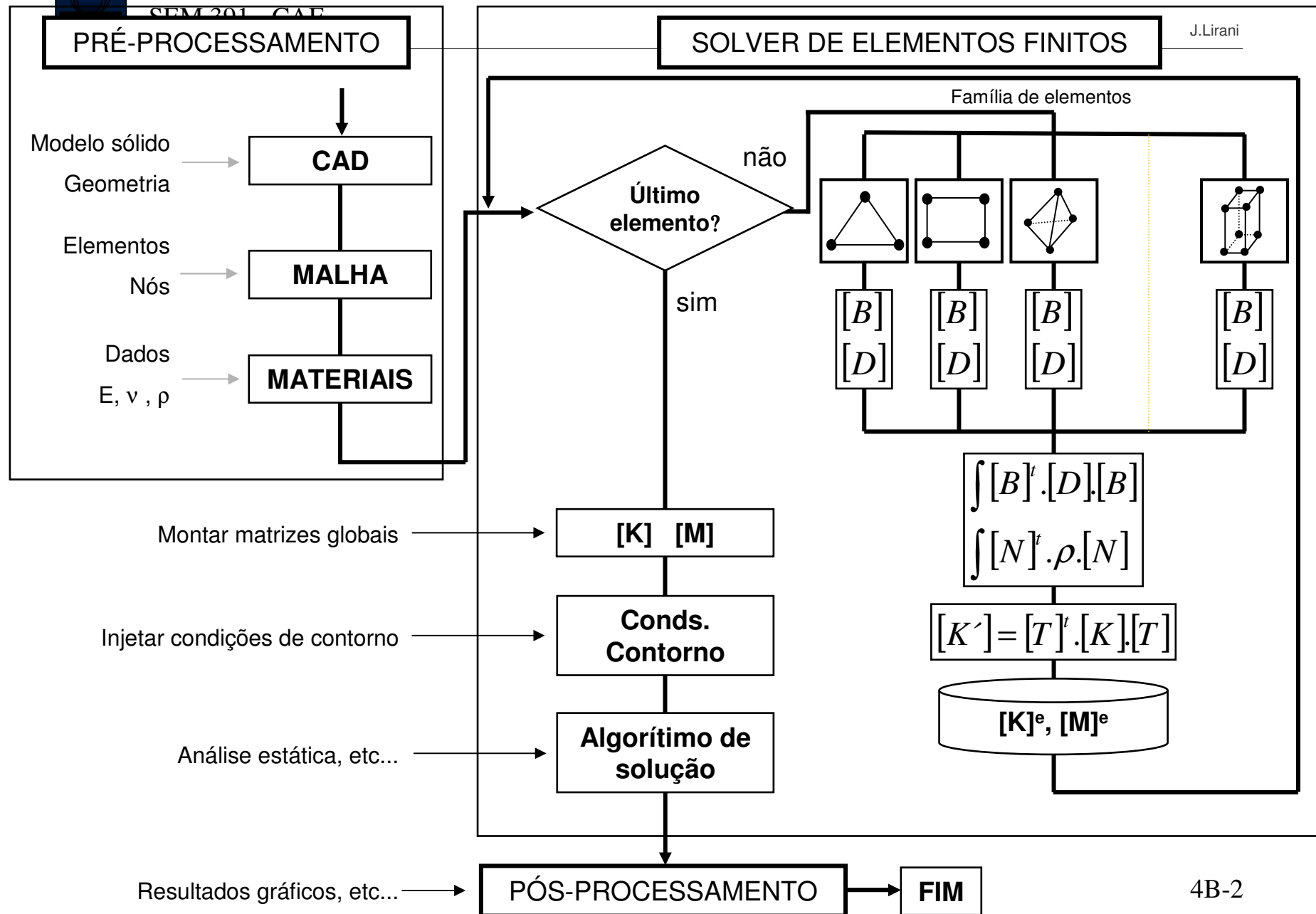
**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CAMPUS DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

# **SEM 391 - CAE**

## **Aula 10**

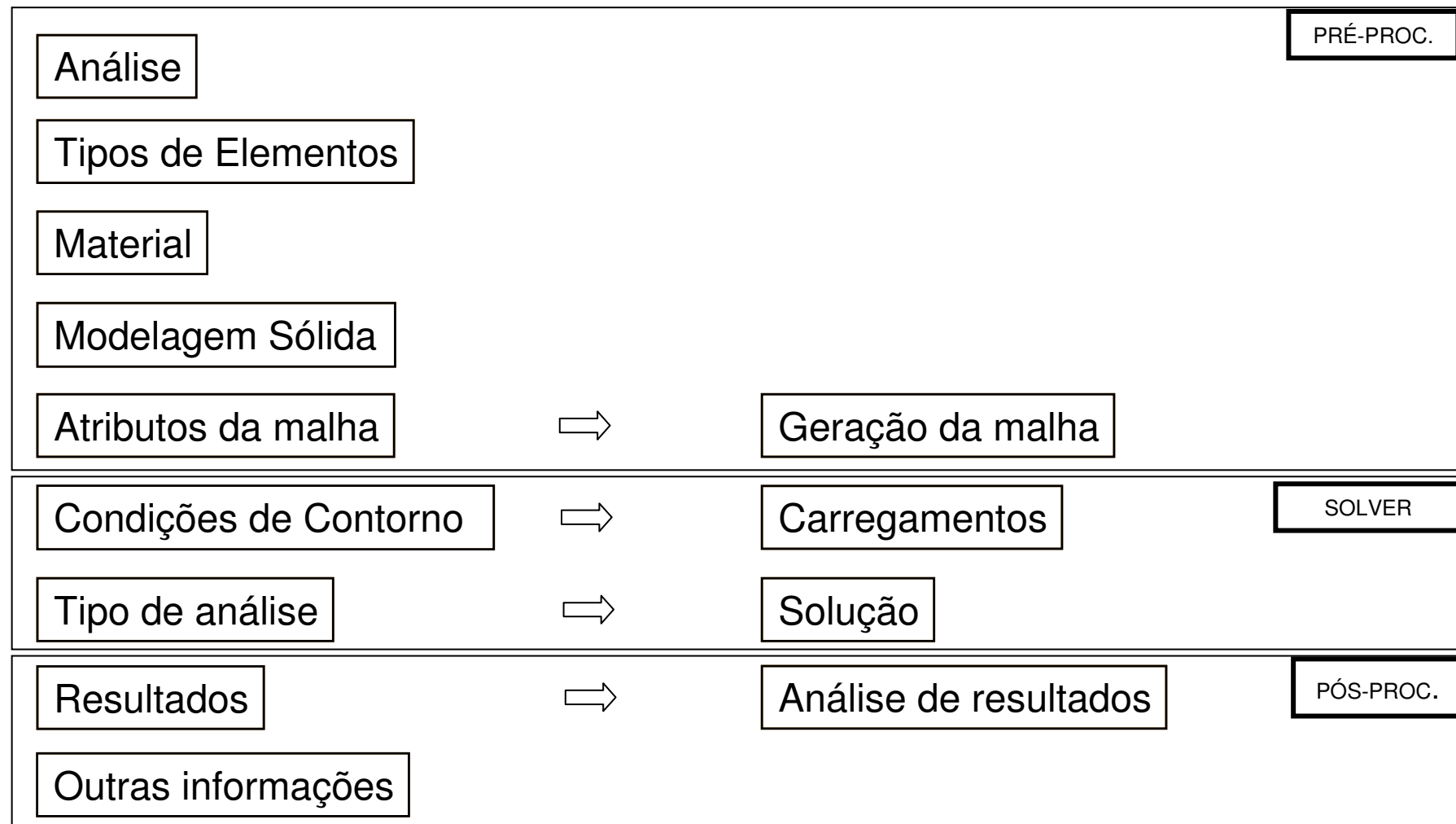
**LABORATÓRIO CAD/CAE  
São Carlos  
Fevereiro, 2000**

# FLUXOGRAMA - MEF





## Procedimento Padrão





## Condições de Contorno Constraints

Condições de contorno Citado em 2B-30

Deslocamentos

Vínculos elásticos Citado em 2B-30

Simetrias

Anti-simetrias

Mudança de coordenadas



## Condições de Contorno

### Deslocamentos

- Define a imposição de deslocamentos específicos para nós ou elementos da malha (DOFs).
- Representa as “constraints” do problema, modeladas por valores fixos para as direções  $x$ ,  $y$ ,  $z$
- Abrangem também os valores de rotação definidos.
- Ex. : deslocamentos totais nulos para a base de uma máquina
- Tipos de constraints : após seleção dos nós ou elementos

Translação :  $UX, UY, UZ$

Rotação :  $ROTX, ROTY, ROTZ$

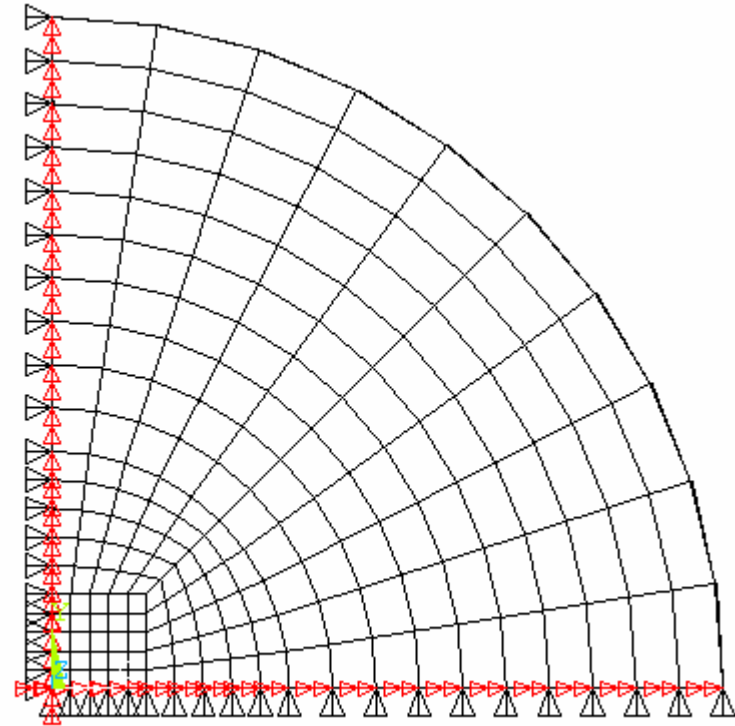
Térmica :  $TEMP$

## Condições de Contorno

### Simetrias

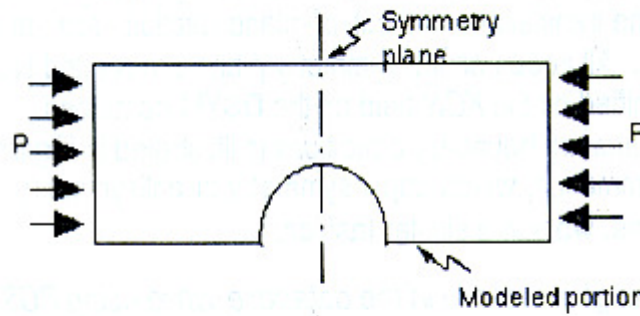
#### Tipos :

- Distribuição de detalhes
- Reflexiva
- Axi-simétrica (eixo de revolução)

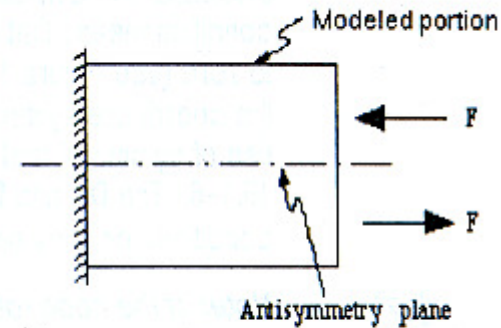


Vantagens : Simetria de geometria, cargas, constraints  
e propriedades do material → Redução do modelo

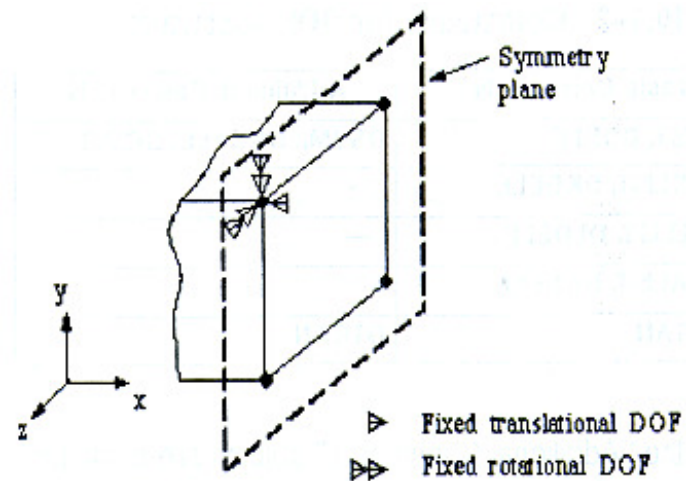
## Simetrias e anti-simetrias



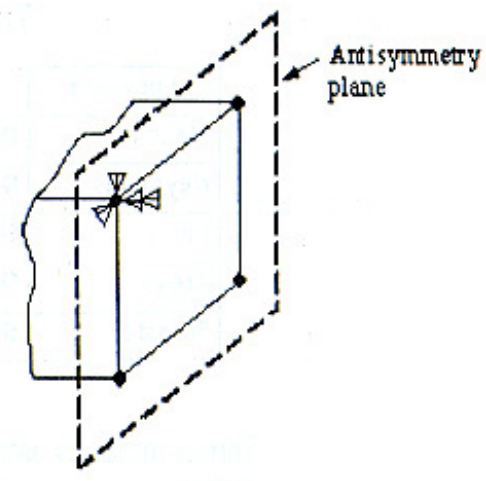
(a) Two-dimensional plate model with symmetry



(b) Two-dimensional plate model with antisymmetry



(a) Symmetry



(b) Antisymmetry



## Carregamentos Loads

### Carregamentos

Para o caso de análise estrutural, definem-se as “loads” conforme :

- Constraints ou vínculos de graus de liberdade : vistos anteriormente
- Forças : aplicadas puntualmente
- Pressões : aplicadas sobre superfícies
- Body loads, inertia loads e couple-field loads

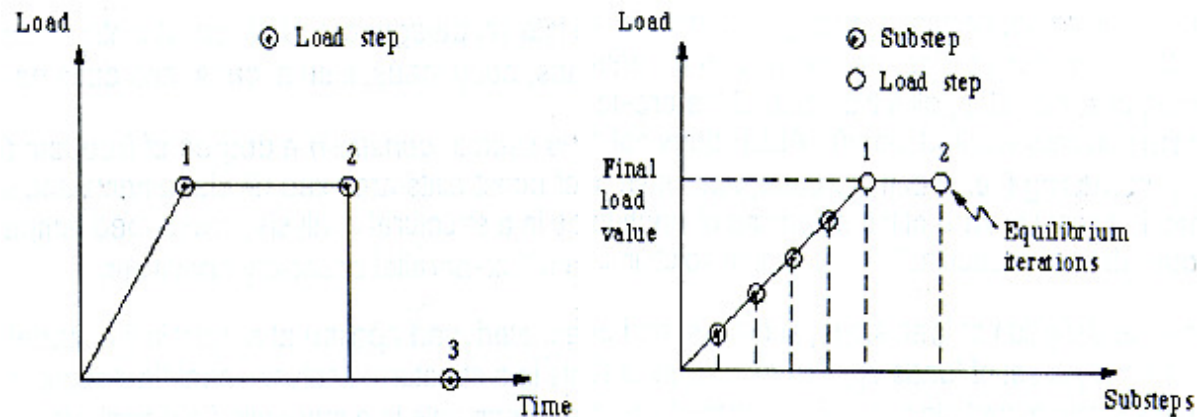
Basicamente têm-se : forças, momentos e pressões



## Carregamentos

Aspectos :

- Escolha dos nós ou elementos para aplicação
- Estudo da forma de aplicação
- Aplicação no modelo sólido ou na malha
- Forças :  $F_X$ ,  $F_Y$ ,  $F_Z$
- Momentos :  $M_X$ ,  $M_Y$ ,  $M_Z$
- Pressão : PRESS





Tipo de análise	Type of Analysis
-----------------	------------------

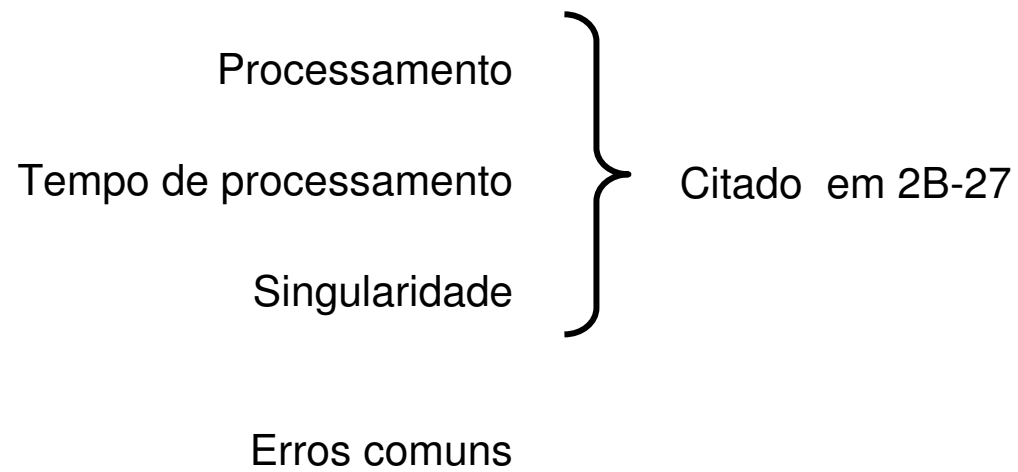
Estática

Dinâmica

- Modal
- Harmônica
- Transiente
- Espectro



## Solução Solution





## Solução

### Erros comuns

Em relação à obtenção da solução :

- Constraints insuficientes e junções sem vínculos
- Valores de propriedades inconsistentes com o sistema de medidas
- Flambagem
- Estimativa de “Run time”
- Estimativa de “file size”
- Estimativa de “Memory requirements”
- “Sujeira” no arquivo de geometria e carregamentos
- Sequência de trabalho incompleta



## Resultados Post-Processing

Validação

Otimização

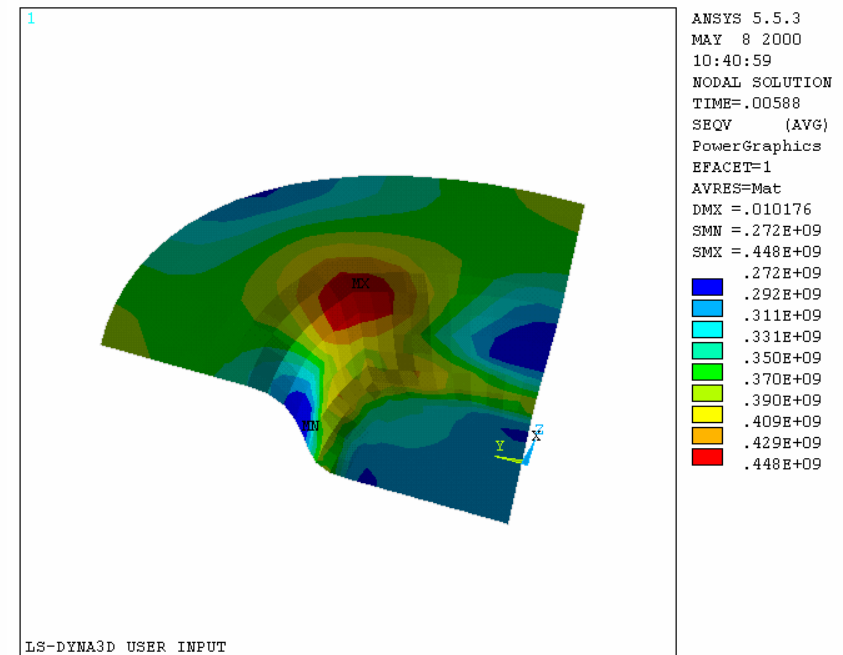
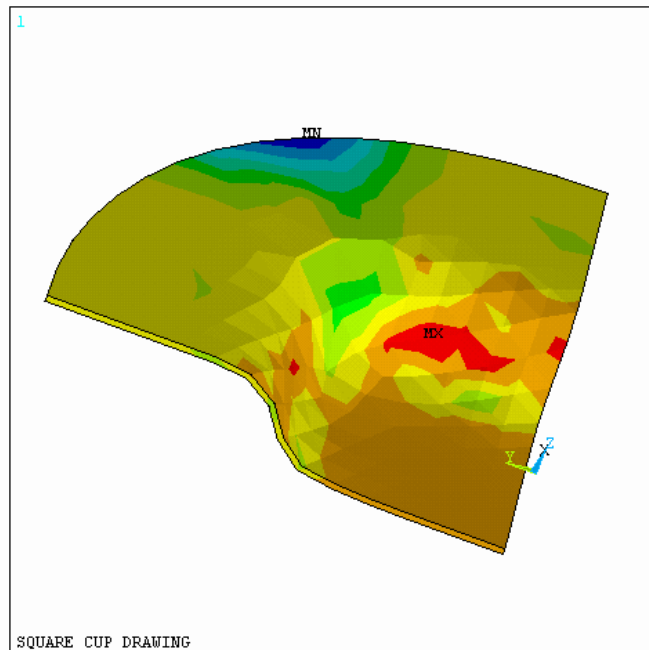
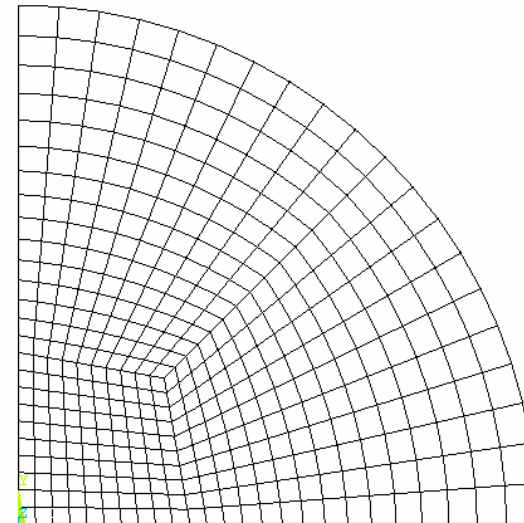
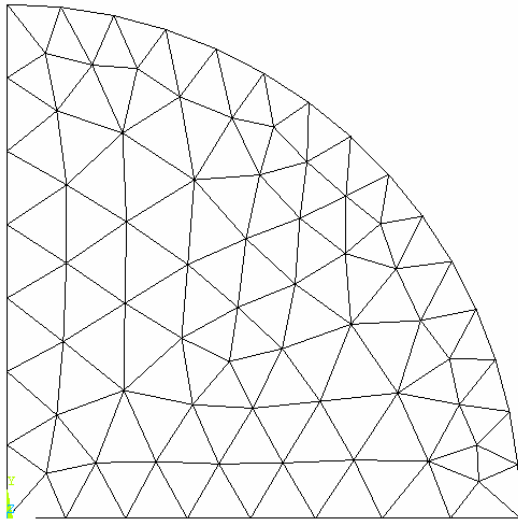
} Citado em 2B-5 e 2B-7

Malha x Resultados



## Resultados

### Malha x Resultados



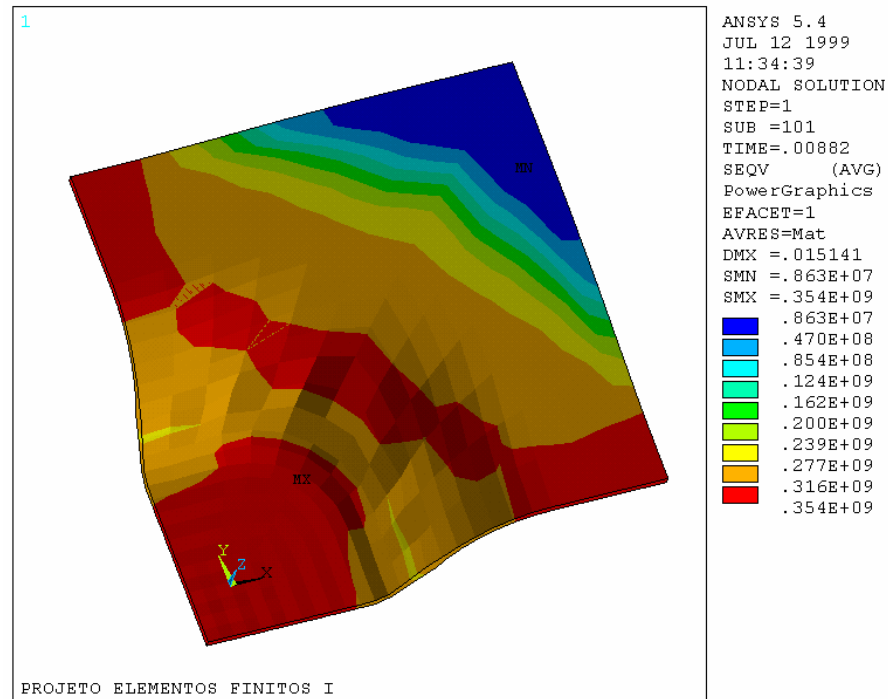
## Análise de resultados

- A análise é definida por valores diversos, calculados ao longo do desenvolvimento do problema (sub-steps).
- Obtém-se contornos sobre a geometria especificando-se o comportamento de uma variável.
- Todos estes valores ficam armazenados no arquivo de resultados.

### Análise de resultados : Contornos

- Valores nodais
- Valores elementares

Citado em 3A-40



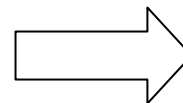
## Valores nodais

## Análise de resultados

Ex.:  $[K]\{u\} = \{F\}$

$$10^4 \cdot \begin{bmatrix} 4.68 \cdot 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6.14 & 0.145 & 1.555 & 0 & 0 & -1.875 & -3.07 \\ 0 & 0.145 & 4.68 & -1.875 & 0 & 0 & -0.355 & -0.145 \\ 0 & 1.555 & -1.875 & 6.14 & 0 & 0 & 0.145 & -4.625 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4.68 \cdot 10^6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6.14 \cdot 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & -1.875 & -0.355 & 0.145 & 0 & 0 & 4.68 & 1.875 \\ 0 & -3.07 & -0.145 & -4.625 & 0 & 0 & 1.875 & 6.14 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ V_2 \\ U_3 \\ V_3 \\ U_4 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -200 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -100 \end{bmatrix}$$

$$\text{DESLNODAIS1} := 10^{-4} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -21.998 \\ -96.58 \\ -133.614 \\ 0 \\ 0 \\ 45.768 \\ -144.189 \end{bmatrix} \quad (\text{mm})$$



Deslocamentos  
nodais “u”

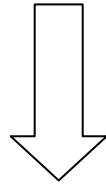




Valores elementares

Análise de resultados

$$\{u(x, y, z)\} = [N] \cdot \{u\}_{nós}$$



$$\{\epsilon\} = [L] \cdot \{u\}$$



$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yz} \end{Bmatrix}$$

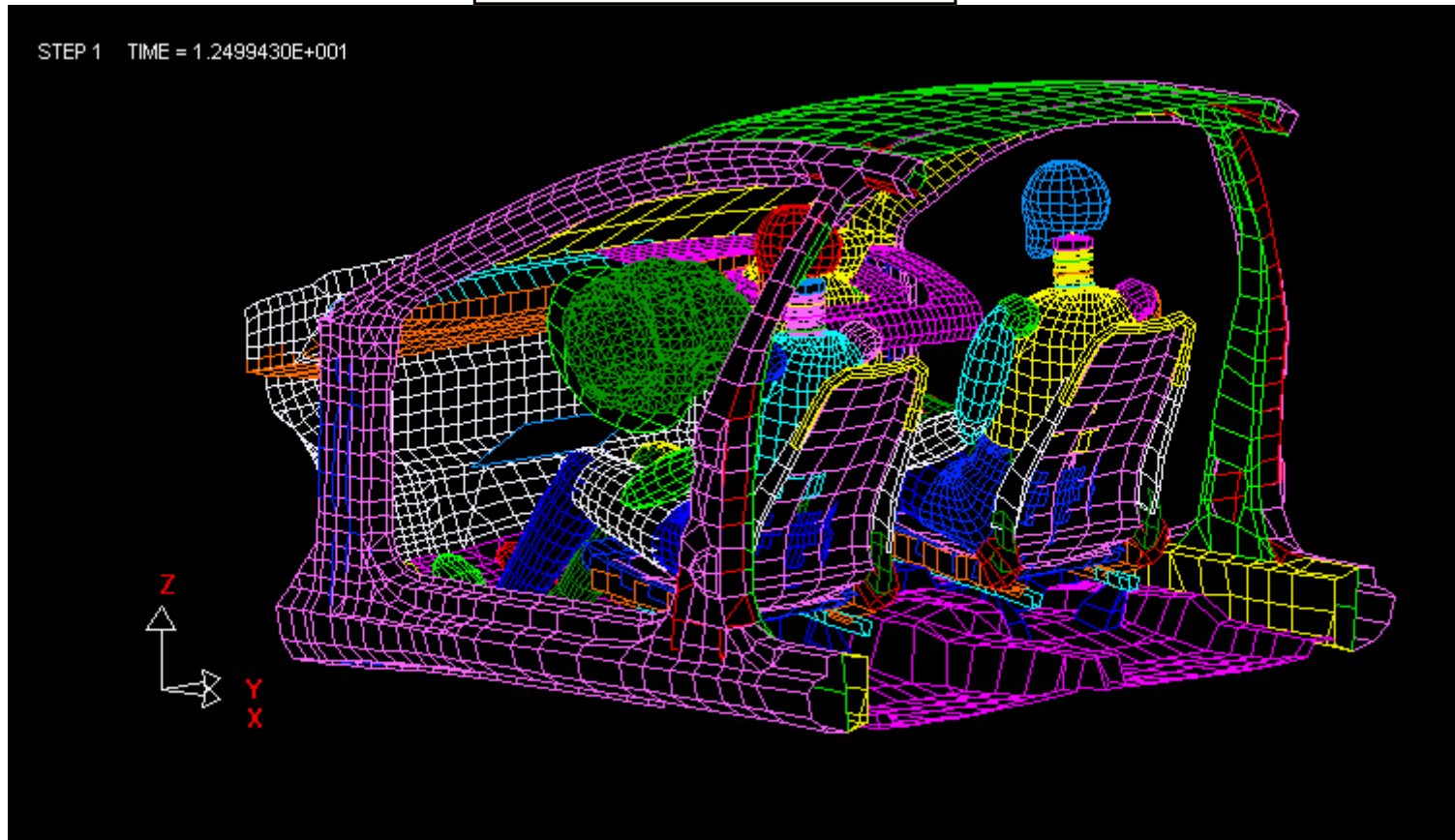
ou

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{Bmatrix}$$

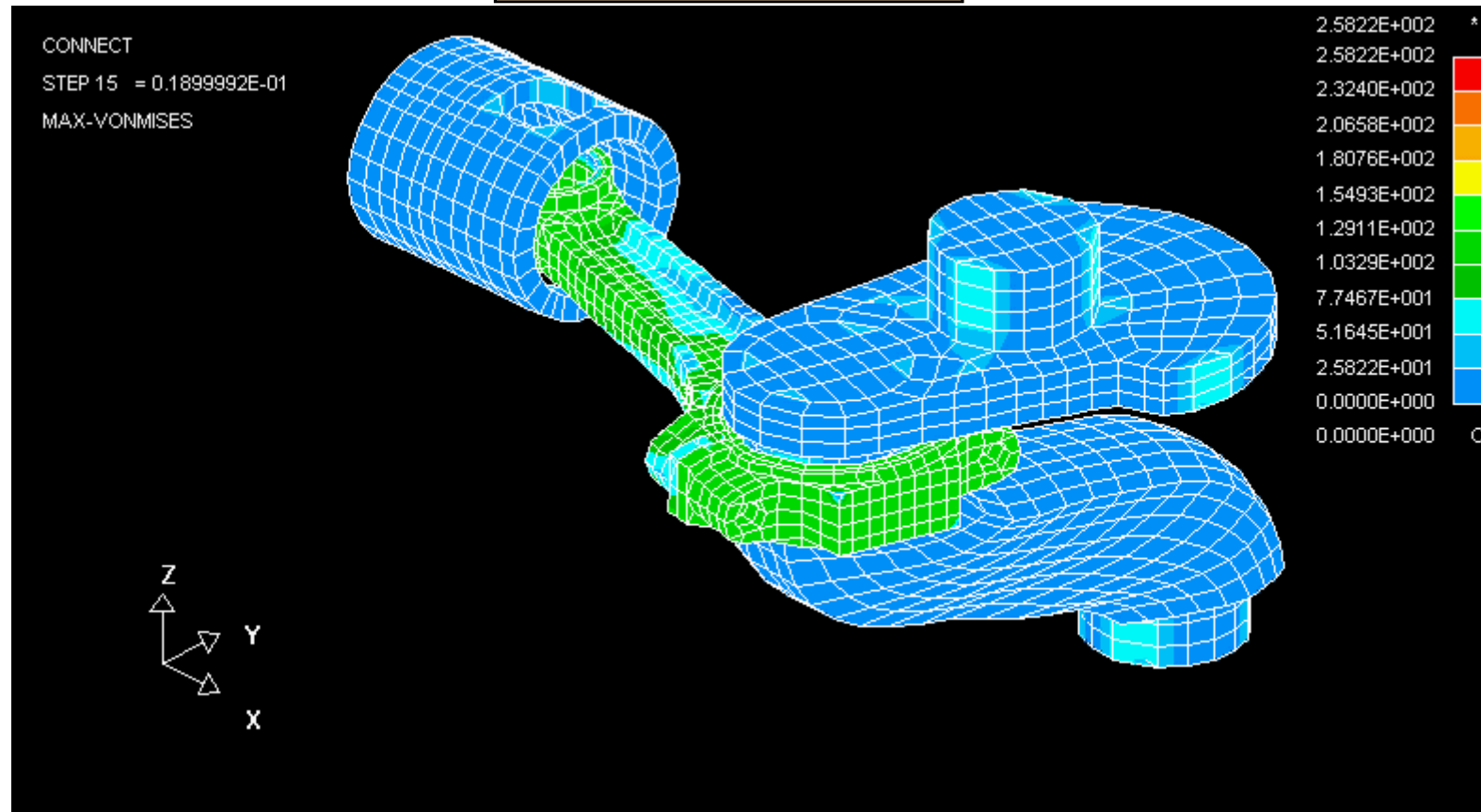
Idem para

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\epsilon\}$$

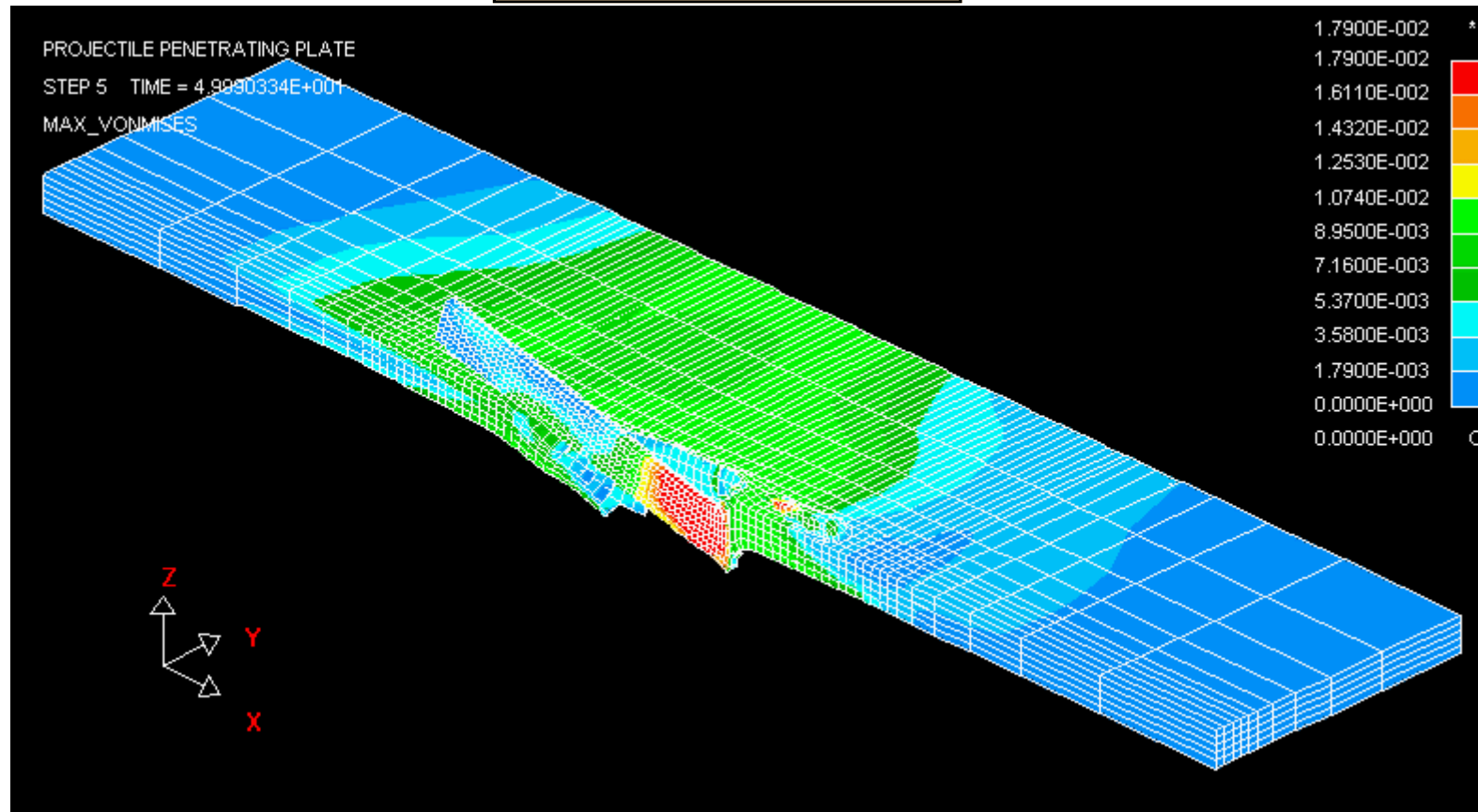
## Análise de resultados



## Análise de resultados

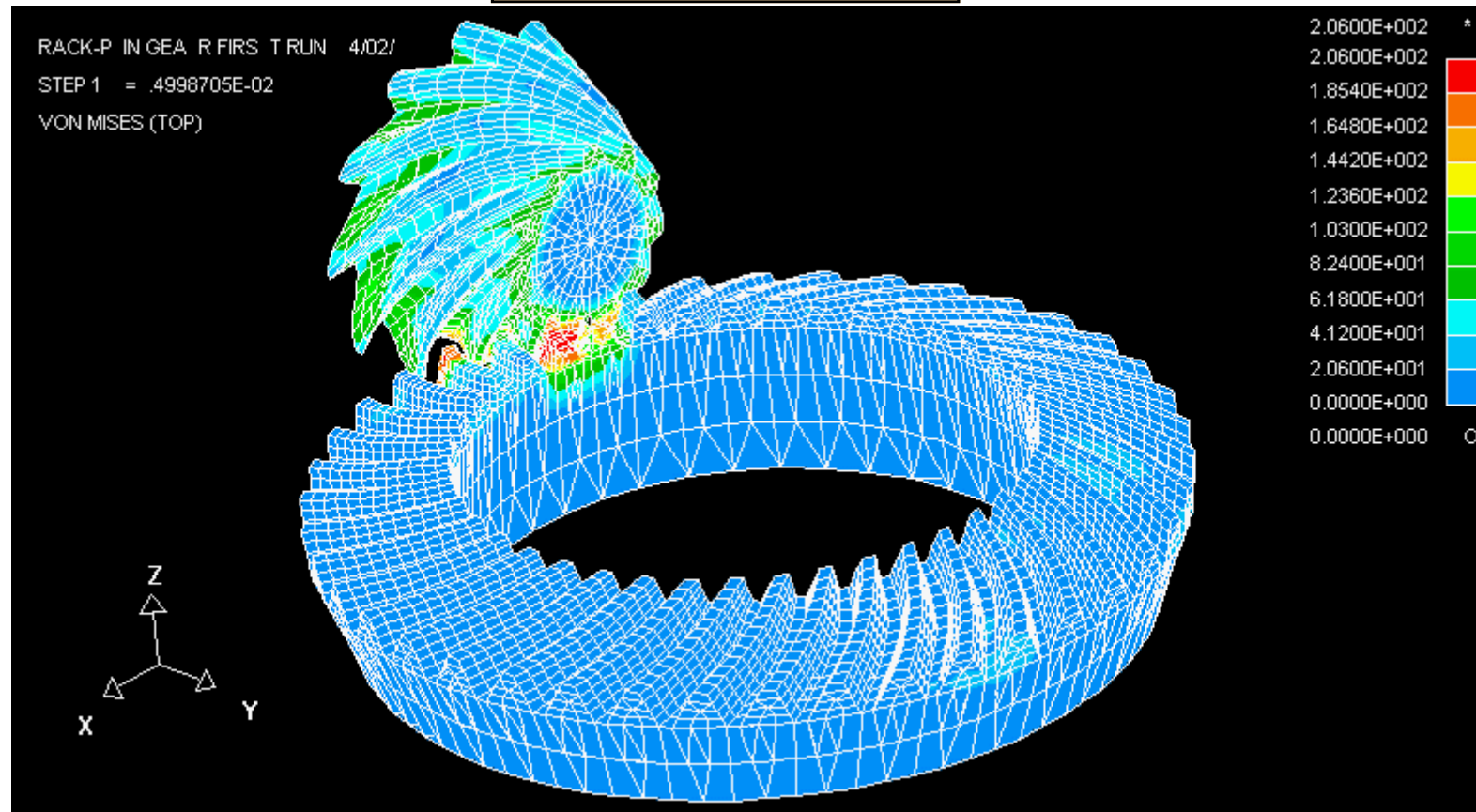


## Análise de resultados

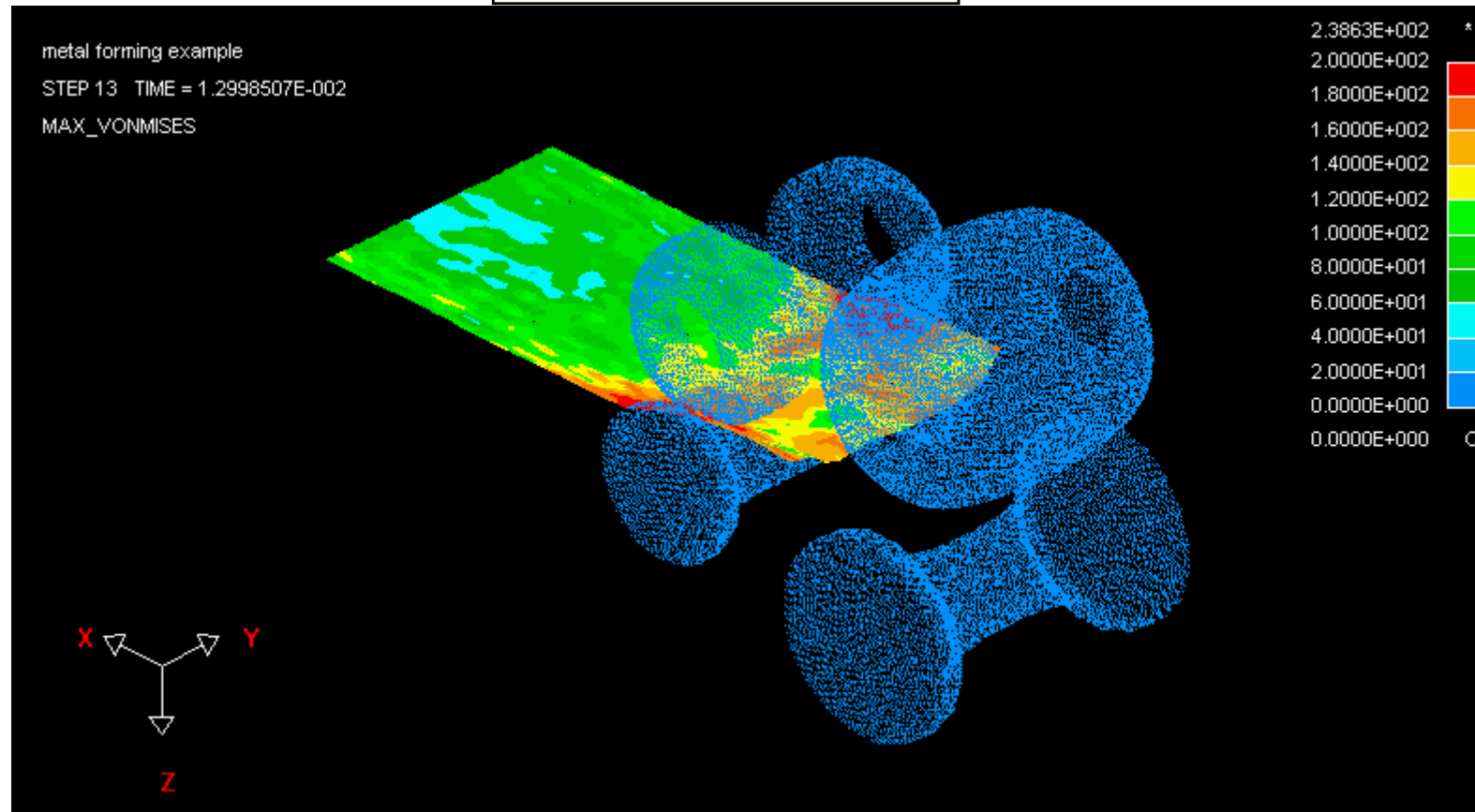




## Análise de resultados

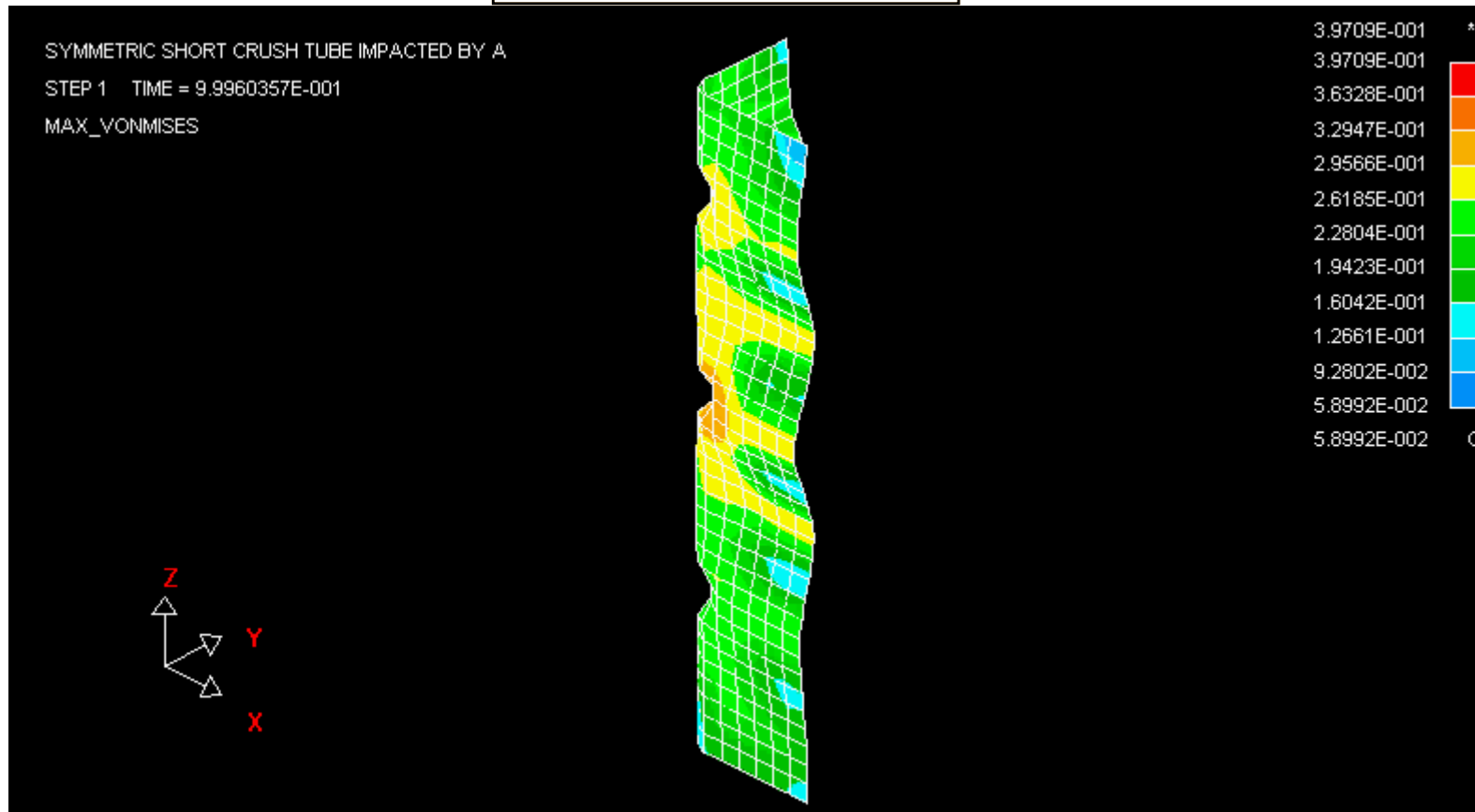


## Análise de resultados

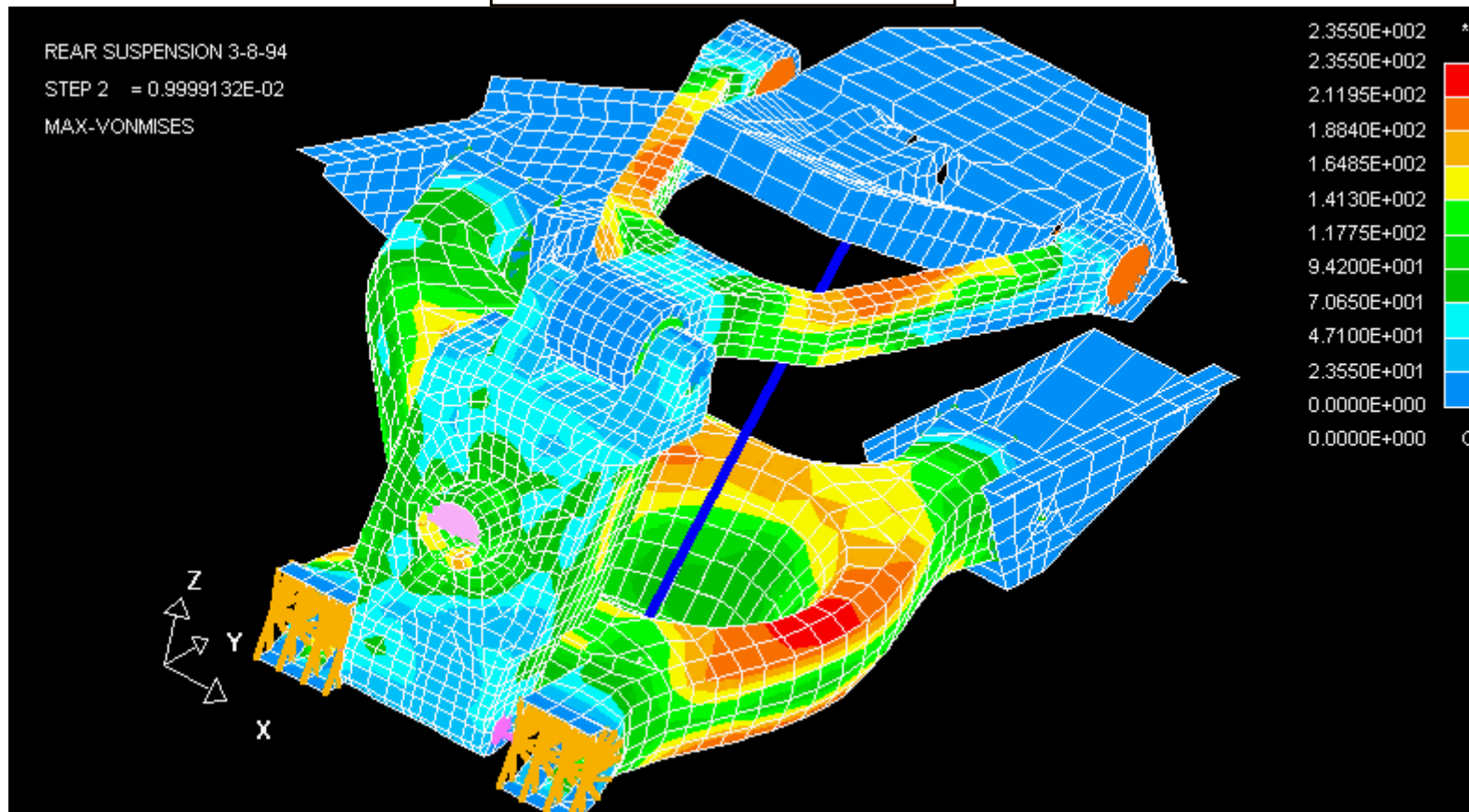




## Análise de resultados



## Análise de resultados







## Outras informações

Forma deformada

Vetores

Path plot

Cortes

Listagens



## Outras informações

### Forma deformada

- Utilizada em análise estrutural para ver-se como acontecem as deformações após aplicação das cargas
- A visualização da escala das deformações pode ser modificada



## Outras informações

### Vetores

- Apresentam através de setas a variação da magnitude e direção de uma grandeza vetorial do problema analisado.
- Exemplos : Deslocamentos, rotações, tensões principais, gradiente térmico



## Outras informações

### Path plot

- Recurso para obtenção de resultados nodais em gráficos.
- Sequência : Menu “path operations” do “general postprocessing”
  - Definição do path (caminho) através de nós
  - Mapeamento do path (tensões e deformações)
  - Plotagem no gráfico ou na própria geometria
- Sequência : Menu “time history postprocessing”
  - Definir variáveis
  - Plotagem



## Outras informações

Visibilidade :

- Visualização seletiva do problema :
- Selecionam-se elementos, nós, etc. conforme :
  - Número do material
  - por atributos
  - por resultados
  - etc.

Corte :

Alguns softwares permitem o corte do sólido e visualização dos gradientes no plano de corte.



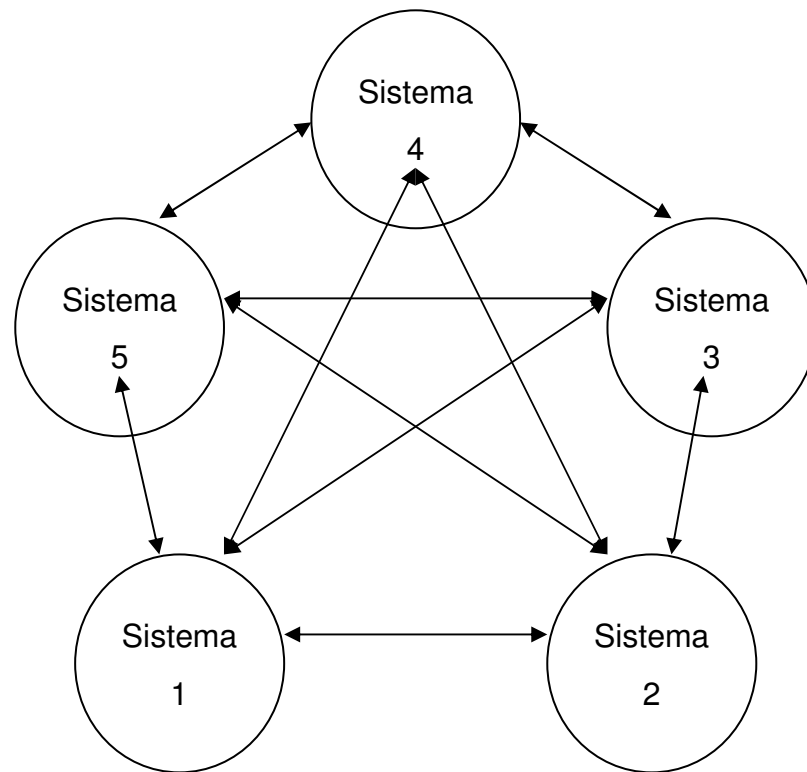
## Outras informações

### Listagens

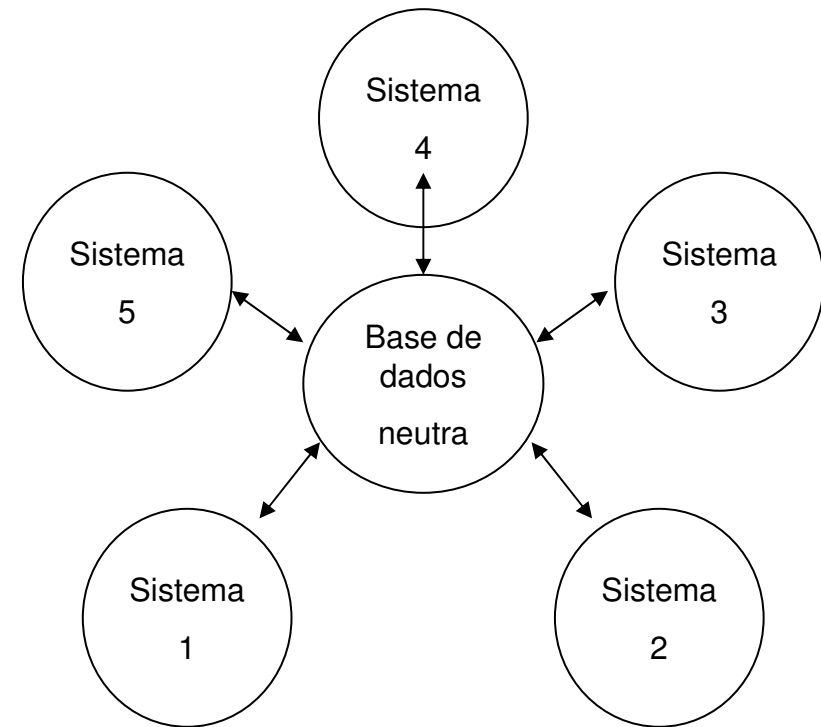
- Obtenção de resultados na forma de listas



## INTERFACE CAD / CAE :



Direto



Indireto



## Outras informações

Protocolos de troca de arquivos :

- **STL** ( Surface Triangle List)
- **IGES** ( Internal Graphical Exchange System)
- **PDDI** (Product Definition Data Interface)
- **PDES** (Product Data Exchange Specification)
- **SET** (Standard d'Echange et de Transfert)
- **VDAFS** (Verband der Automobilindustrie Fl'a'chenschnittstelle)
- Interface **CAD\*I**
- **STEP** (*Standard for External Representation of Product Data*)





## Outras informações

### Protocolo **STL**

- É muito usado em Prototipagem Rápida.
- É um formato que transmite a forma de superfícies através da triangularização das mesmas.
- O software que lê este formato recupera a superfície e transforma em sólido, se for o caso



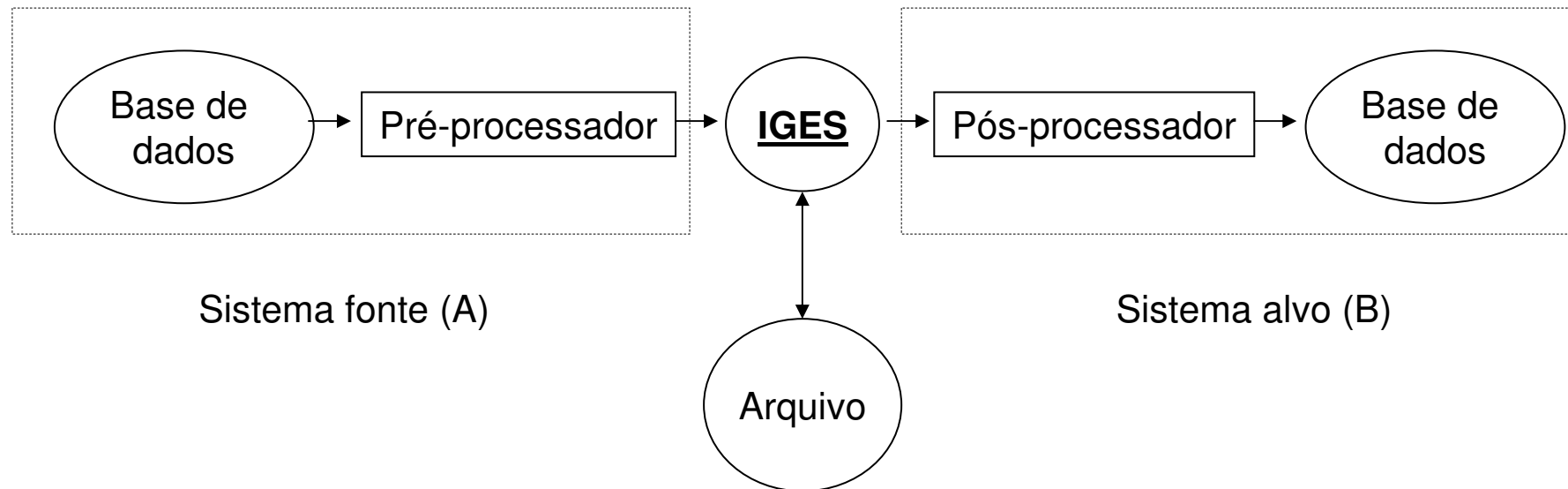
## PROTOCOLO IGES

Características do arquivo :

ASCII	Seção de Flag (opcional)	Indicação de arquivo binário (> compactação) ou ASCII
	Seção de início	Comentários para o usuário e para o sistema receptor
	Seção global	Informações necessárias ao pré e pós-processador
	Seção de entrada de diretório	Descrição das entidades geométricas
	Seção de parâmetros de dados	Parâmetros das entidades geométricas
	Seção de encerramento	Indicador estatístico sobre cada seção

## PROTOCOLO IGES

- Interface de troca de dados e descrição do produto entre sistemas CAD
- Formato de dados neutro



- Voltado à representação de desenhos técnicos; wireframe tridimensional, modelos de superfície e volume; modelos de FEM e representações simbólicas em um formato de dados neutro.



## Outras informações

### PROTOCOLO **IGES**

Aspectos gerais :

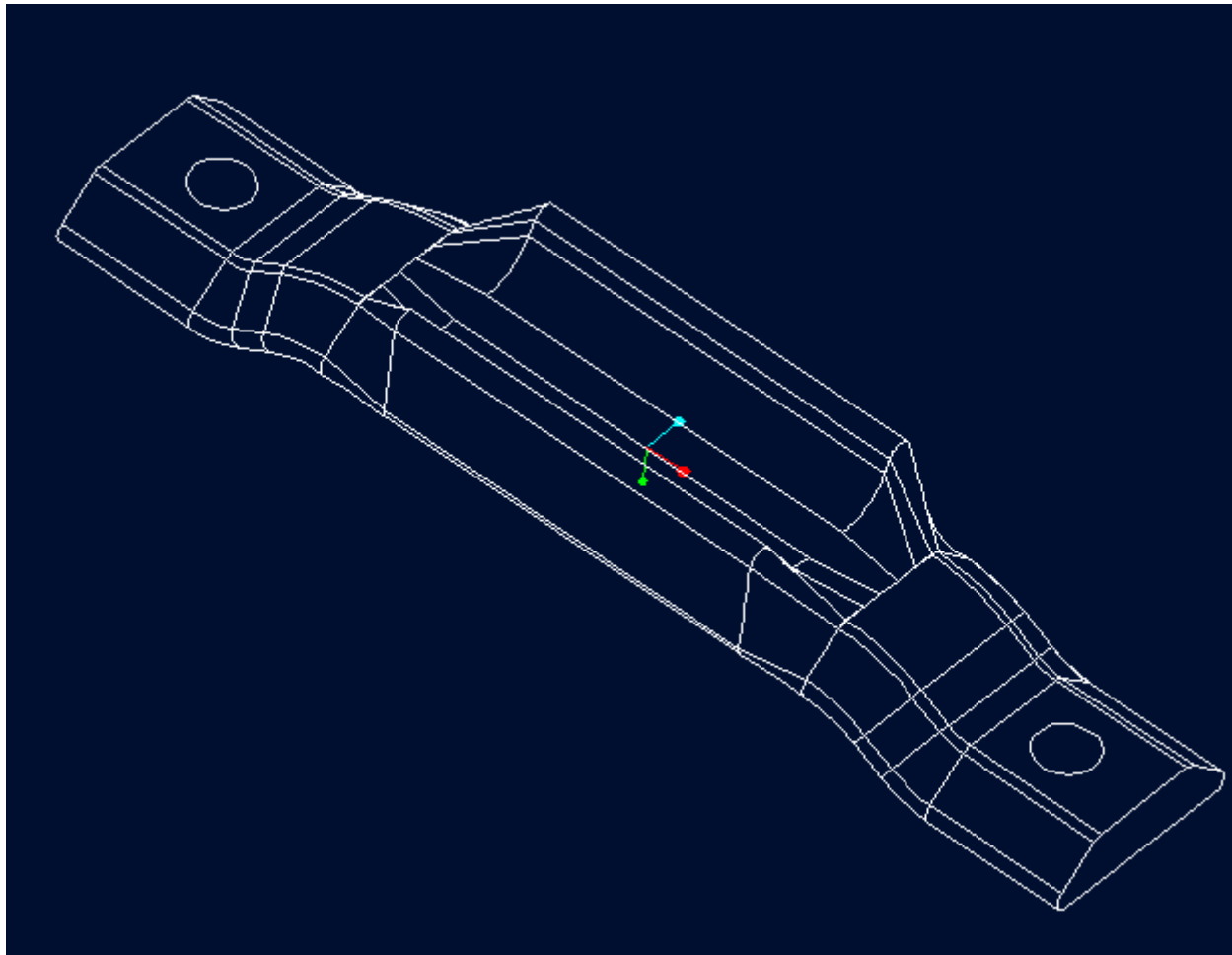
- Pode não haver ampla compatibilidade entre os arquivos gerados e lidos entre softwares diferentes de CAD
- As versões atuais do ANSYS já permitem a importação conveniente de dados do PROE (ferramentas de filtragem)
- Quando não se dispõe destas ferramentas, exportar de modo seletivo quais informações deverão ser utilizadas no software de recepção de dados (ex.: pontos e linhas)
- As versões IGES mais recentes permitem poucas informações a respeito dos sólidos, o que pode deixar o interfaceamento ineficiente.
- Exemplo do suporte de AL -(caminhão)



Exemplo

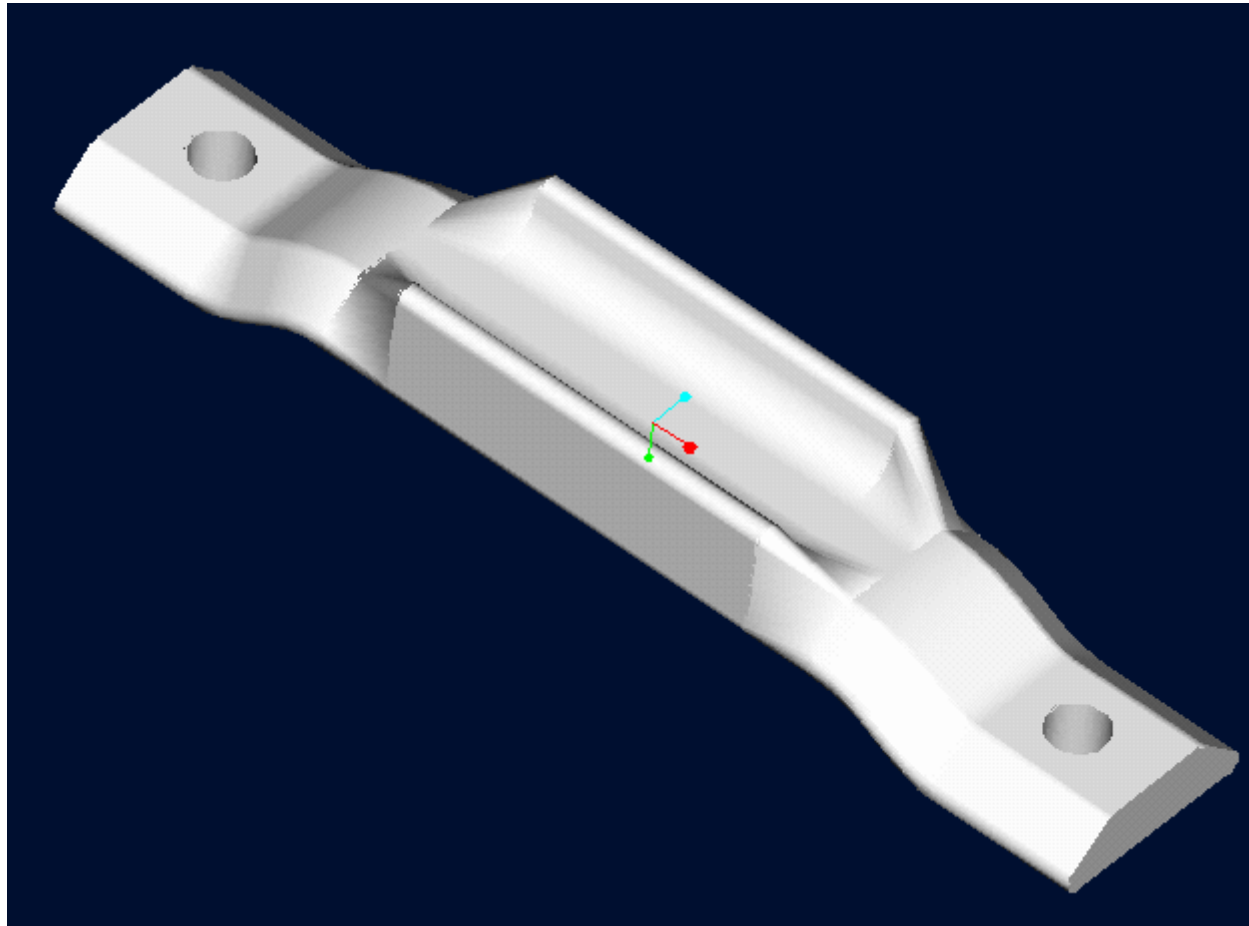


Arquivo em formato TIFF : linhas do PROE2000





Arquivo em formato TIFF : renderizado no PROE2000





## Arquivo em formato IGES : 130 kb, 28 págs com letra 10

```
PTC IGES file: suporteiges1.igs          S      1
1H,,1H;,13HF81A-6A065-AA,16Hsuporteiges1.igs,          G      1
49HPro/ENGINEER by Parametric Technology Corporation,7H1999390,32,38,7, G      2
38,15,13HF81A-6A065-AA,1.,1,4HINCH,32768,0.5,13H990917.110435,          G      3
0.0258116,258.126,3Hgmt,7HUnknown,10,0,13H990917.110435;          G      4
    110      1      1      1      0      0      0      000000000D      1
    110      0      0      1      0          LINE      1D      2
    110      2      1      1      0      0      0      000000000D      3
    110      0      0      2      0          LINE      2D      4
    110      4      1      1      0      0      0      000000000D      5
    110      0      0      2      0          LINE      3D      6
    110      6      1      1      0      0      0      000000000D      7
    110      0      0      2      0          LINE      4D      8
    110      8      1      1      0      0      0      000000000D      9
    110      0      0      1      0          LINE      5D     10
    124      9      1      1      0      0      0      001000000D     11
    124      0      0      1      0          XFORM      1D     12
    100     10      1      1      0      0     11      000000000D     13
    100      0      0      1      0          ARC        1D     14
    110     11      1      1      0      0      0      000000000D     15
    110      0      0      2      0          LINE      6D     16
    110     13      1      1      0      0      0      000000000D     17
    110      0      0      2      0          LINE      7D     18
    110     15      1      1      0      0      0      000000000D     19
    110      0      0      2      0          LINE      8D     20
```

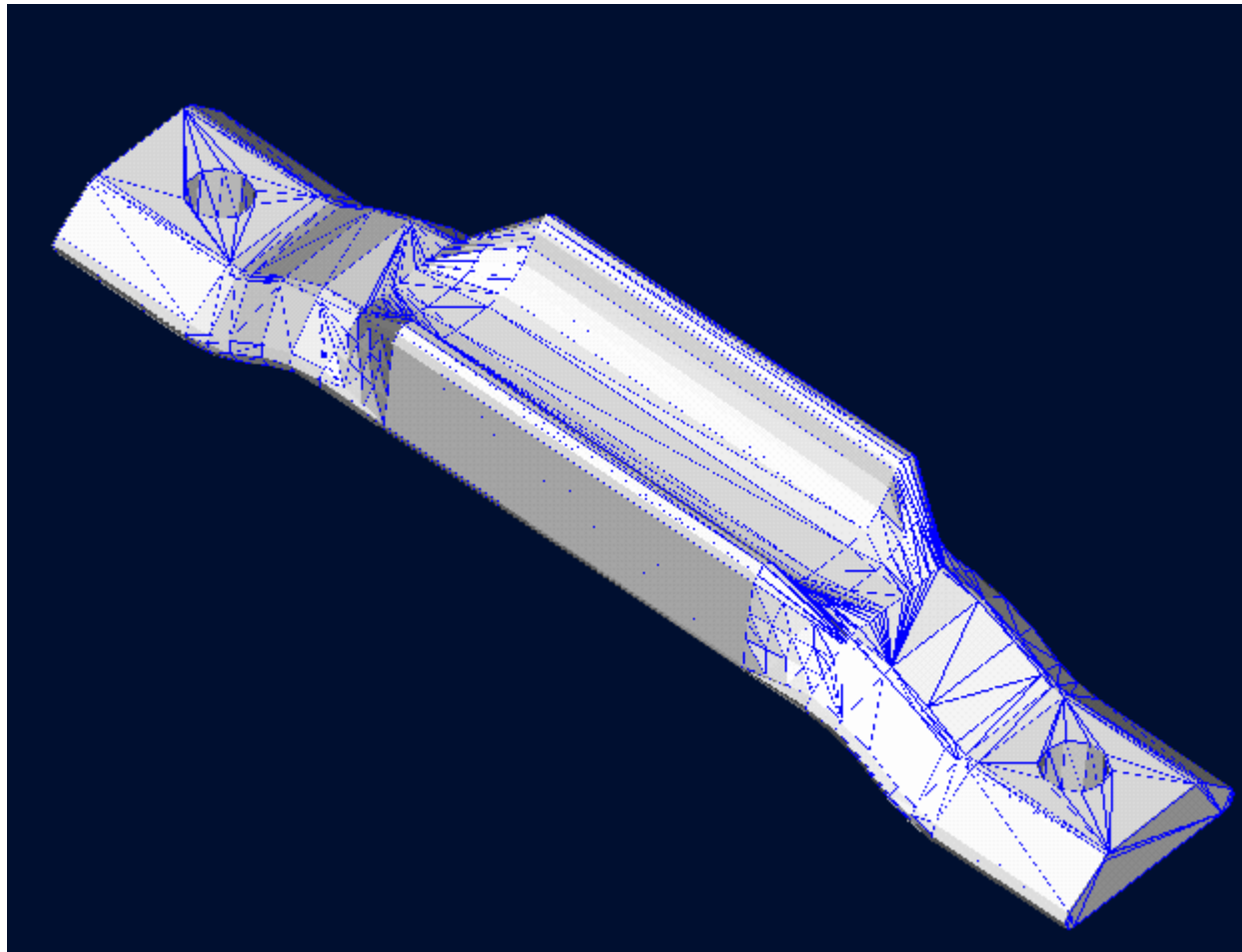
.....etc.....

Obs.: Construção das linhas somente.



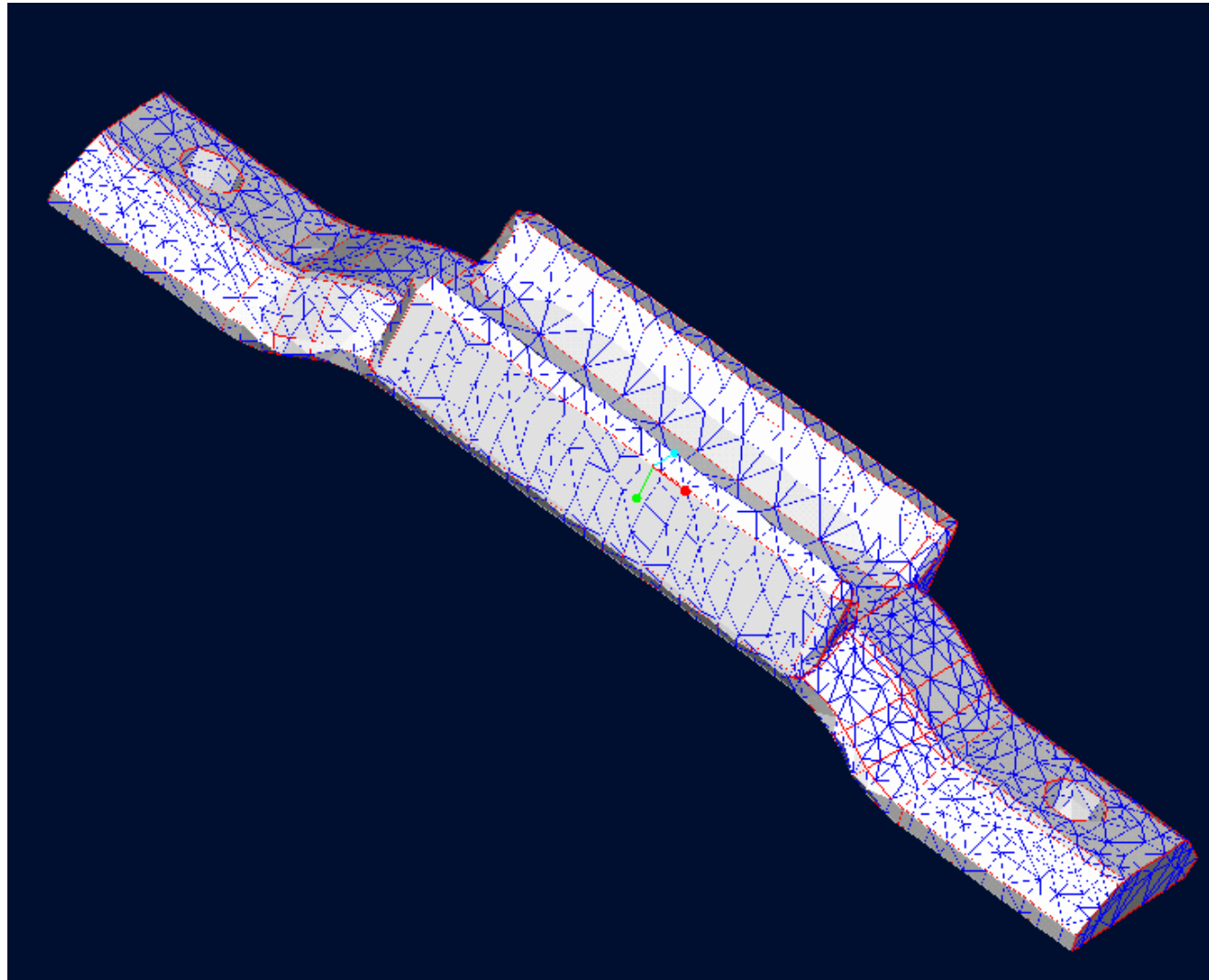


Arquivo em formato STL : 964 triângulos de face



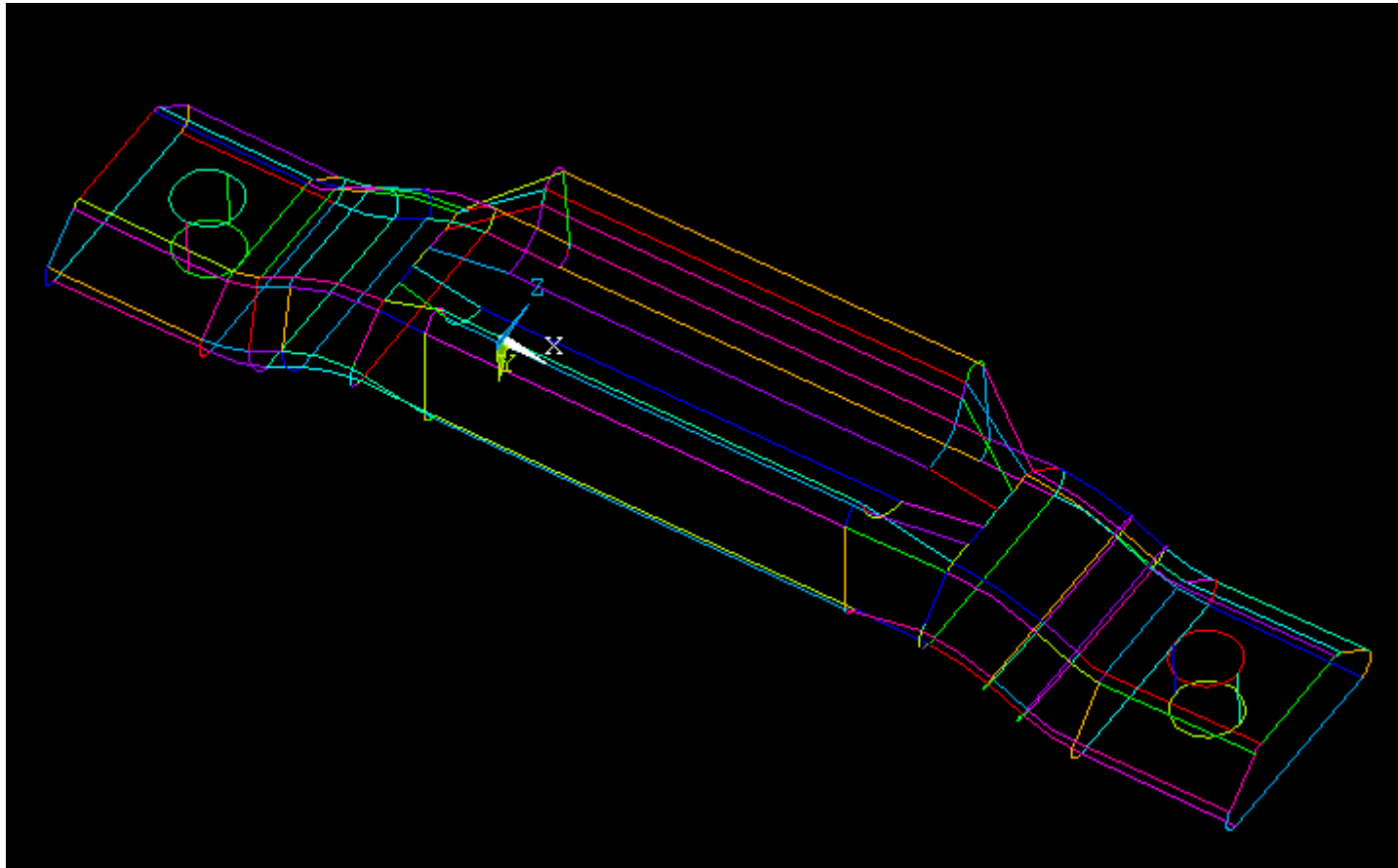


Malha livre no PROE :



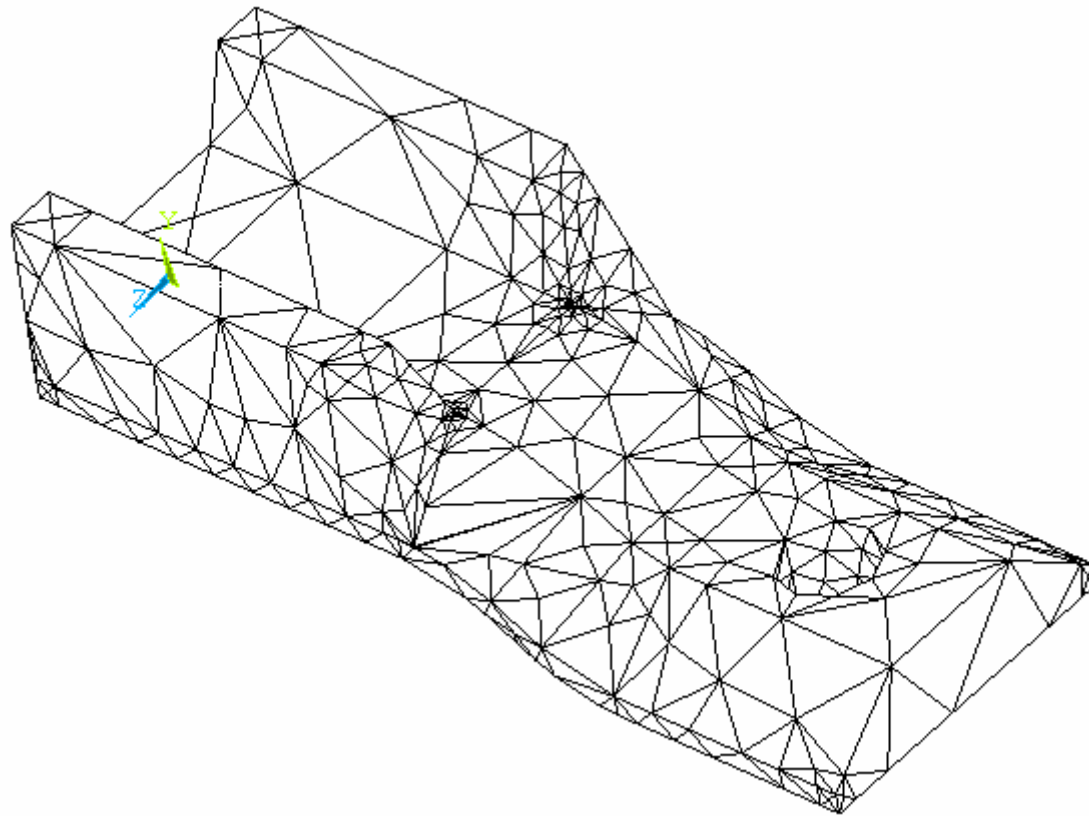


Arquivo em formato IGES lido no ANSYS



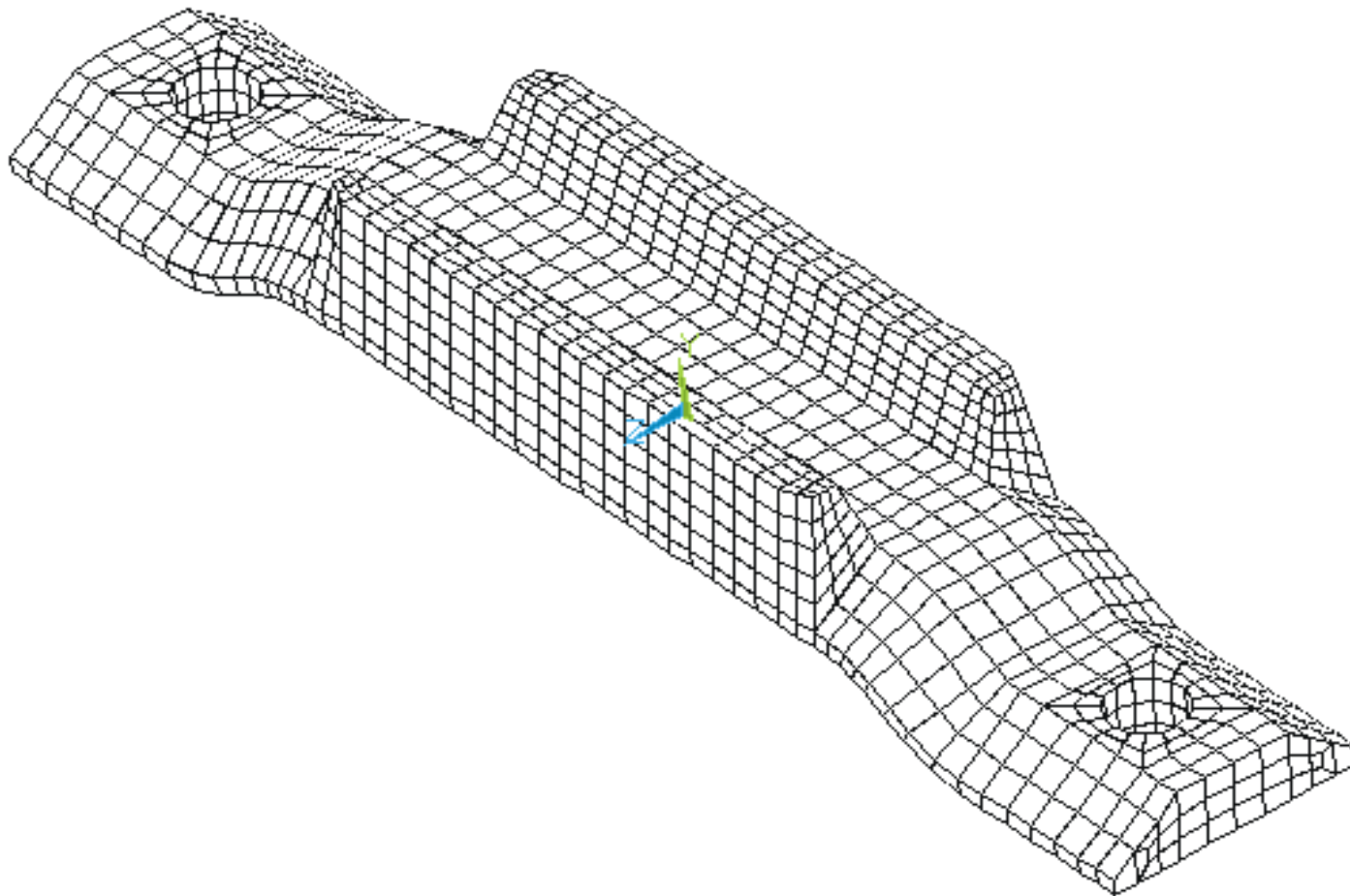


Malha livre no ANSYS :





Malha mapeada no ANSYS :





FIM