



2010

**Método dos
Elementos
Finitos Aplicados à
Engenharia de
Estruturas**



Prof^a. Mildred B. Hecke
Universidade Federal do Paraná
Versão 1.0.0.0



**ESTUDO DE UMA PONTE
ROLANTE EM TRELIÇA ESPACIAL
ENVOLVENDO MÚLTIPAS
CONDIÇÕES DE
CARREGAMENTO**

ESTUDO DE UMA PONTE ROLANTE EM TRELIÇA ESPACIAL ENVOLVENDO MÚLTIPAS CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO

INTRODUÇÃO

O exemplo apresentado a seguir visa o estudo de uma ponte rolante industrial submetida a múltiplas condições de carregamento devidas às diversas posições em que a talha (guincho) pode estar posicionada.

Trata-se de uma treliça espacial com 18,96 metros de vão e 9,10 metros de altura, conforme mostram as figuras a seguir. A talha tem capacidade máxima de içamento de 5000 Kgf (carga que a ponte suporta, além do peso próprio). As cargas atuantes sobre a estrutura, devidas ao peso próprio, são : $P1 = 120$ Kgf e $P2 = 240$ Kgf. A carga $P1$ é aplicada a cada um dos 4 nós que compõem as extremidades do banzo inferior da viga e a carga $P2$ é aplicada em cada um dos 26 nós que correspondem aos demais nós do banzo inferior da viga, que não estão sujeitos ao carregamento $P1$. A figura 1 mostra a geometria da ponte rolante e o carregamento devido à talha. As figuras 2 a 4 mostram as vistas e dimensões da ponte rolante.

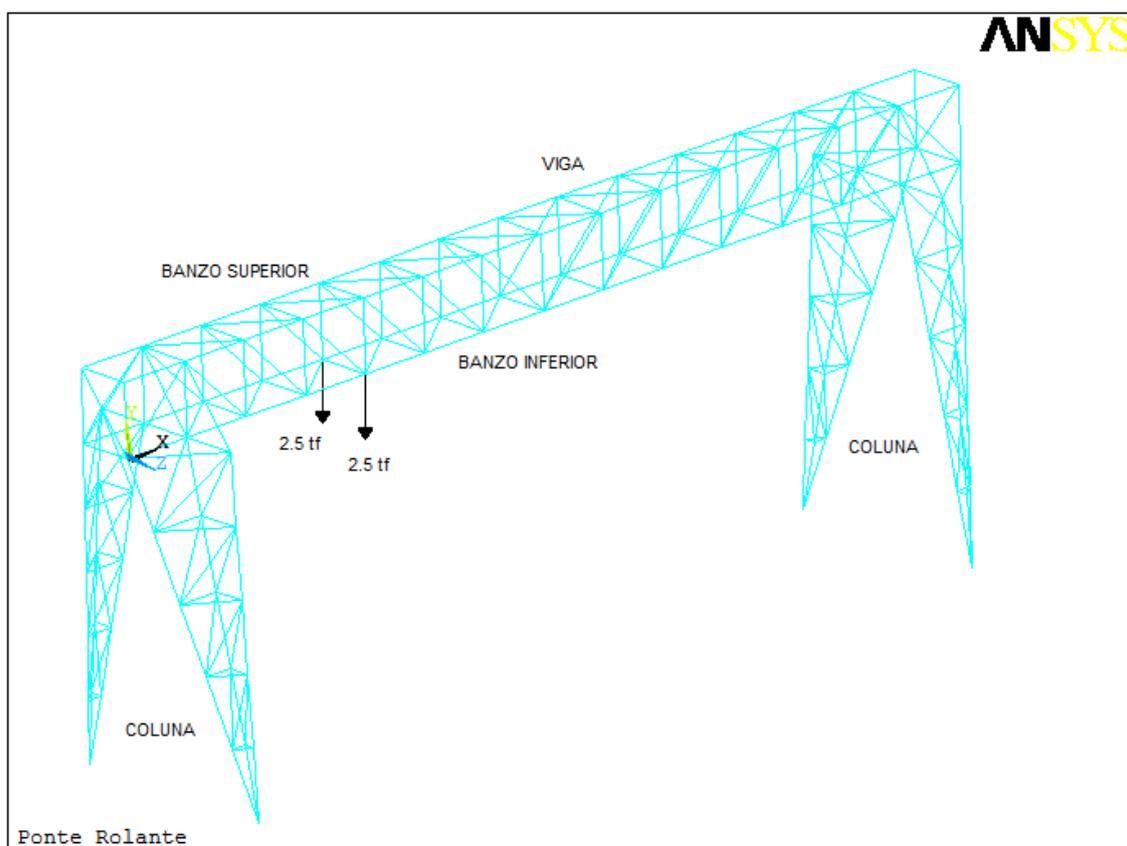


Figura 1 – Geometria da Ponte Rolante.

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

- Área das seções transversais das barras que compõem o banzo horizontal inferior e superior da viga e barras principais das colunas : $A = 11.1 \text{ cm}^2$;
- Área das seções transversais das diagonais, montantes e transversais da viga: $A = 5.52 \text{ cm}^2$;
- Área das seções transversais das diagonais e horizontais das colunas: $A = 3.95 \text{ cm}^2$.

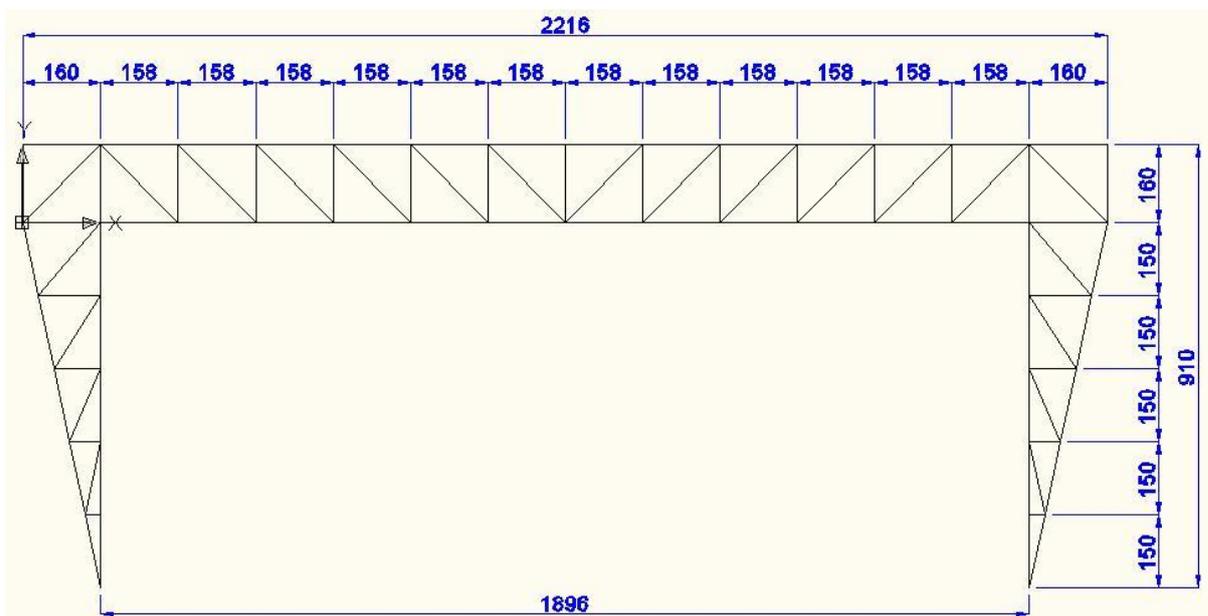


Figura 2 – Vista frontal e dimensões da ponte rolante (em cm).

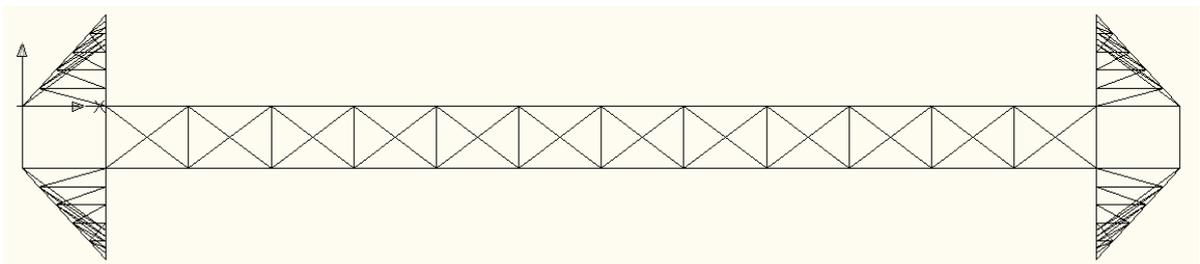


Figura 3 – Vista superior da ponte rolante.

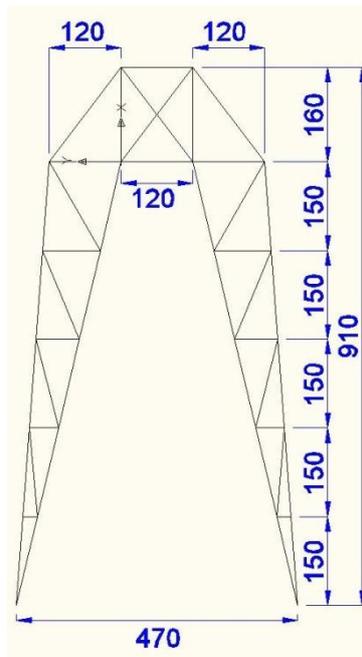


Figura 4 – Vista lateral e dimensões da ponte rolante (em cm).

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

- Módulo de elasticidade do material das barras: 2.1×10^6 Kgf/cm² (aço estrutural).

Observação:

Este exemplo também tem como objetivo apresentar formas importar a geometria de estruturas de barras a partir de arquivos gerados em programas CAD. Serão apresentadas duas formas de importação de dados de programas CAD:

- a) através de arquivo formato IGES;
- b) através de arquivo de dados em formato texto gerado pelo usuário (Ansys Parametric Design Language – APDL ou através do aplicativo Vcondxf).

O ANSYS possui entidades chamadas de pontos chave (keypoints) e linhas (lines) que podem ser geradas antes dos nós e elementos do modelo e auxiliam na geração da malha de elementos. Na primeira forma de importação de dados estudada estaremos criando keypoints e lines e depois os converteremos em nós e elementos.

RESOLUÇÃO

A) Importação de dados utilizando arquivos formato IGES:

Existem diversos formatos atualmente utilizados para arquivos gráficos como: DWG, DXF, IGES, GIF, JPEG, SAT, etc. Dentre estes formatos gráficos, o formato DXF é um dos mais utilizados em sistemas CAD. O ANSYS9.0 ED permite a importação de dados utilizando o formato IGES (Initial Graphics Exchange Specification), que é um formato gráfico neutro desenvolvido e utilizado pelo governo americano. Os arquivos gráficos neste formato possuem a extensão ".igs". Este formato pode ser obtido através de programas CAD comerciais como o AutoCad R12 ou através de programas de conversão de outros formatos como DWG e DXF no formato IGES. Para utilização do arquivo IGES é necessário carregá-lo no ANSYS utilizando a opção "Import >" do menu "file". Para geração do modelo é necessário definir o tipo do elemento e suas propriedades, e então, utilizar o comando "MESH" para transformar os pontos chave em nós e as linhas em elementos do modelo.

O programa ANSYS versão 11.0 importa arquivos com outros formatos, inclusive o formato SAT que poderá ser exportado a partir do programa AUTOCAD.

B) Importação de dados utilizando arquivo de dados em formato texto gerado pelo usuário:

No ANSYS não é possível a importação de arquivos no formato DXF, mas, é possível a entrada de dados a partir de um arquivo texto (APDL) com os comandos de geração de nós e elementos. O arquivo texto deve ter a forma :

/PREP7

N, nn, x, y, z,,,

E, ni, nf

Onde N é o comando de geração do nó, nn é o número do nó e x, y e z são as coordenadas x, y e z respectivamente dos nós. E é o comando que cria um elemento unindo os nós de número ni e nf.

Outra forma para gerar o arquivo de texto (que contem os dados dos nós e elementos que compõe a estrutura) é utilizar o aplicativo Vcondxf (versão 2.0), disponível no site:

http://www.cesec.ufpr.br/disciplinas/tc430/aula1_7_ponterolante/vcondxf.zip

Este aplicativo foi desenvolvido por Marcos Arndt, sob a coordenação do Prof. Sergio Scheer, na disciplina de Desenvolvimento de Sistemas Interativos em Engenharia do Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia da UFPR. O Vcondxf permite a visualização e conversão, em arquivos de entrada de dados para os softwares SAP90 e ANSYS, de arquivos

formato DXF gerados por sistemas CAD, de estruturas de barras bidimensionais e tridimensionais com até 1000 barras e 1000 nós.

O aplicativo escreve um arquivo com mesmo nome do arquivo DXF e com extensão ASY que contém uma sequência de comandos N e E para geração da estrutura no ANSYS.

Para utilização do arquivo gerado é necessário carregá-lo no ANSYS utilizando a opção “Read Input from ...” do menu “file”.

1. Descrição geral do funcionamento do aplicativo Vcondxf:

O aplicativo inicia-se em uma janela tipo texto informando o nome e a versão atual, da seguinte forma :

“Visualizador e Conversor de Arquivos DXF – versão 2.0”.

A seguir, é solicitado o nome do arquivo DXF que será aberto. O nome do arquivo deve ser informado sem extensão e, caso o arquivo encontre-se em diretório diferente daquele que contém o aplicativo, deve ser precedido do caminho onde se encontra.

Na sequência, deve ser informada a precisão desejada para as coordenadas dos nós. A precisão fornecida serve para que o aplicativo possa unir linhas cuja distância entre nós seja inferior a este valor. Isto evita a desconexão de barras do modelo devido a erros de arredondamento e de desenho no sistema CAD.

Aparece, então, a seguinte pergunta : “Deseja converter o arquivo (S/N) ?”. Se a resposta for “S” iniciará o processo de conversão do arquivo, caso contrário, a execução será desviada diretamente para a visualização gráfica da estrutura descrita no arquivo.

No processo de conversão, o usuário é consultado sobre qual a conversão desejada, da seguinte forma : “Escolha a conversão : [1]SAP90 [2]ANSYS [3]AMBOS :”. De acordo com a opção escolhida, o aplicativo efetuará a conversão necessária. Se o arquivo de entrada de dados for gerado com sucesso, uma mensagem informará a conclusão do processo. Os arquivos gerados terão o mesmo nome do arquivo DXF, a menos da extensão, e estarão no mesmo diretório deste.

Concluído ou rejeitado o processo de conversão do arquivo, aparecerão na tela as instruções de manipulação da imagem do visualizador, conforme segue:

“Comandos de manipulação da imagem no visualizador :

Translação na direção x : [Left] e [Right]

Translação na direção y : [K] e [L]

Translação na direção z : [Up] e [Down]

Rotação em torno do eixo x : [X]

Rotação em torno do eixo y : [Y]

Rotação em torno do eixo z : [Z]

Aumentar escala : [1]
Reduzir escala : [2]
Retornar à posição inicial : [Enter]
Pressione qualquer tecla para continuar !”

Assim que alguma tecla for pressionada uma nova janela será aberta apresentando a estrutura descrita no arquivo DXF desenhada ao centro. As teclas descritas acima permitem a manipulação da imagem.

Quando fechada a janela de visualização, o aplicativo será encerrado.

A

1. INÍCIO DA ANÁLISE

1.1. *Introduz o título do problema a ser resolvido:*

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Title...”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, digitar novo título: **“Ponte Rolante”**;
- ✓ Clicar em OK.

1.2. *Altera o nome dos arquivos:*

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Jobname...”;
 - Na nova janela que aparecer, digitar novo nome do arquivo: **“Ponte_Rolante”**;
- ✓ Clicar em OK.

1.3. *Escolhe o tipo de análise que se pretende executar, visando filtrar comandos a serem apresentados na telas de entrada:*

- ✓ No ANSYS Main Menu clicar em “Preferences”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, em “Discipline for filtering GUI Topics”, selecionar a opção “Structural”;
- ✓ Clicar em OK.

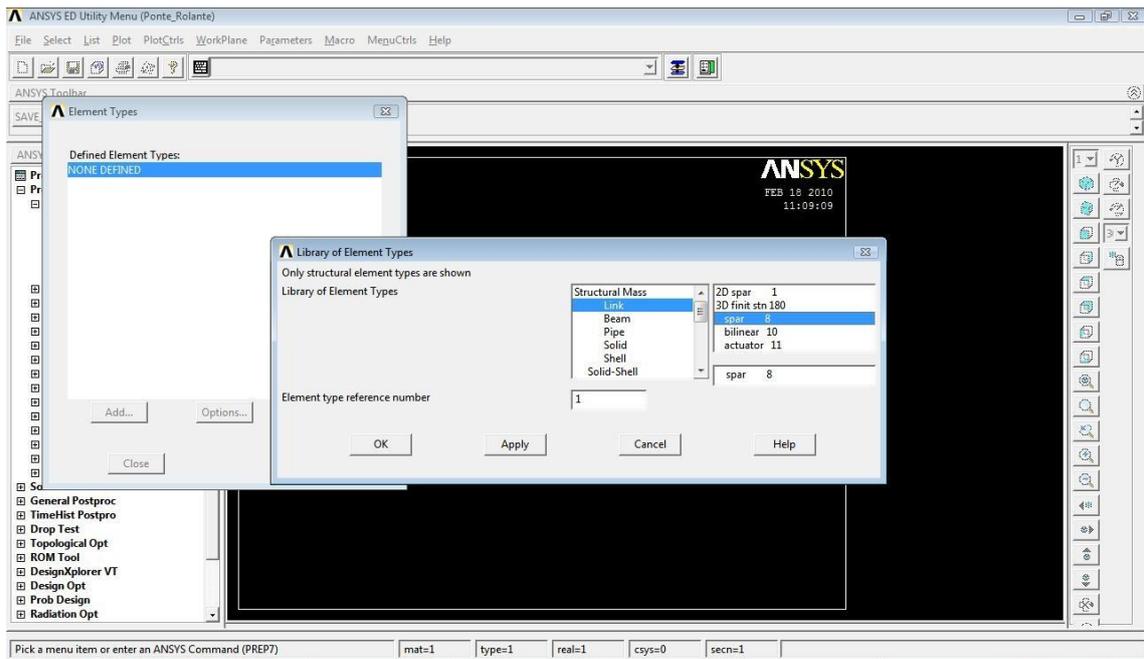
2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ No ANSYS Main Menu, clicar em “Preprocessor”.

B

2.1. *Escolhe o tipo de elemento finito que será usado:*

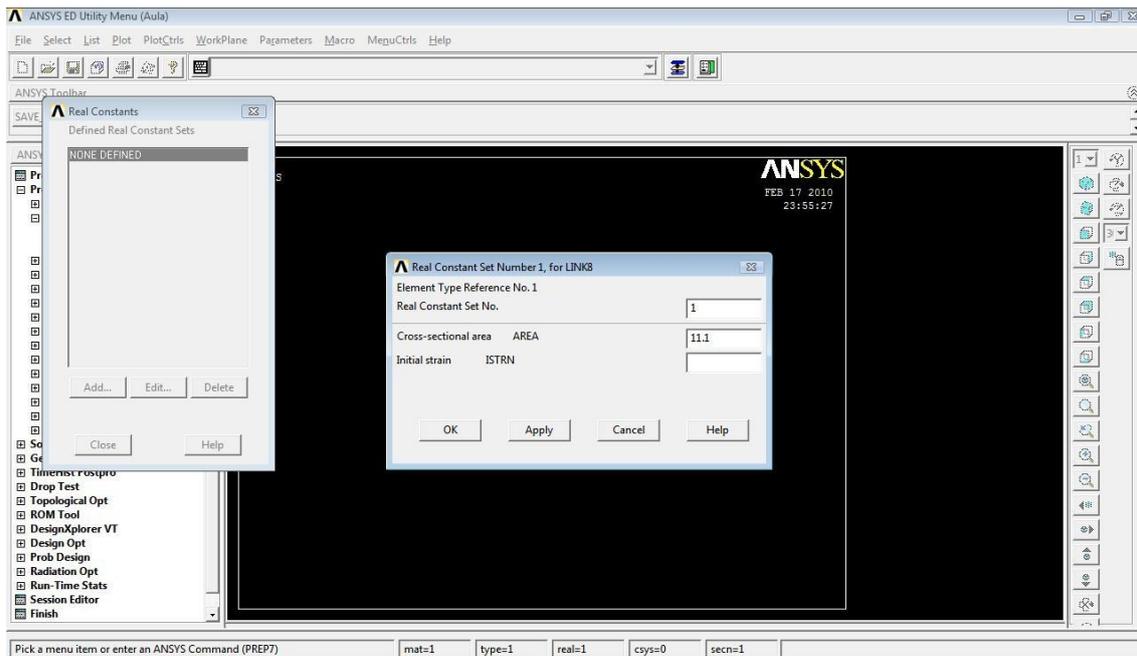
- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Element Type”;
- ✓ Dentro do “Element Type”, selecionar “ Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para selecionar um novo elemento.
- ✓ Outra janela se abrirá, então no “Library of Element Types” selecionar o elemento **“Link”**, **“3D spar 8”** e clicar em “OK”.



C

2.2. *Define as constantes geométricas da seção das barras que compõe o modelo:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar uma nova área de seção transversal;
- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element type” e clicar em OK;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for LINK 8” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 1
 - Cross-sectional Area AREA = 11.1
- ✓ Clicar em “APPLY”.
 - Real Constant Set No. = 2
 - Cross-sectional Area AREA = 5.52
- ✓ Clicar em “APPLY”.
 - Real Constant Set No. = 3
 - Cross-sectional Area AREA = 3.95
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Clicar em “CLOSE”.



D

2.3. **Define as propriedades do material que compõe as barras:**

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Material Props”;
- ✓ Dentro do “Material Props”, selecionar “Material Models”;
- ✓ Na nova janela que abrir, para o “Material Model Number 1”, no quadro “Material Models Available” selecionar: “Structural>Linear>Elastic>Isotropic”;
- ✓ Dar um duplo clique em “Isotropic”;
- ✓ A janela “Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1” irá abrir. Inserir na lacuna “EX” o valor referente ao Módulo de Elasticidade do material e clicar em “OK”:
 - EX = **2.1E6**;
- ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.

E

2.4. **Cria o modelo geométrico:**

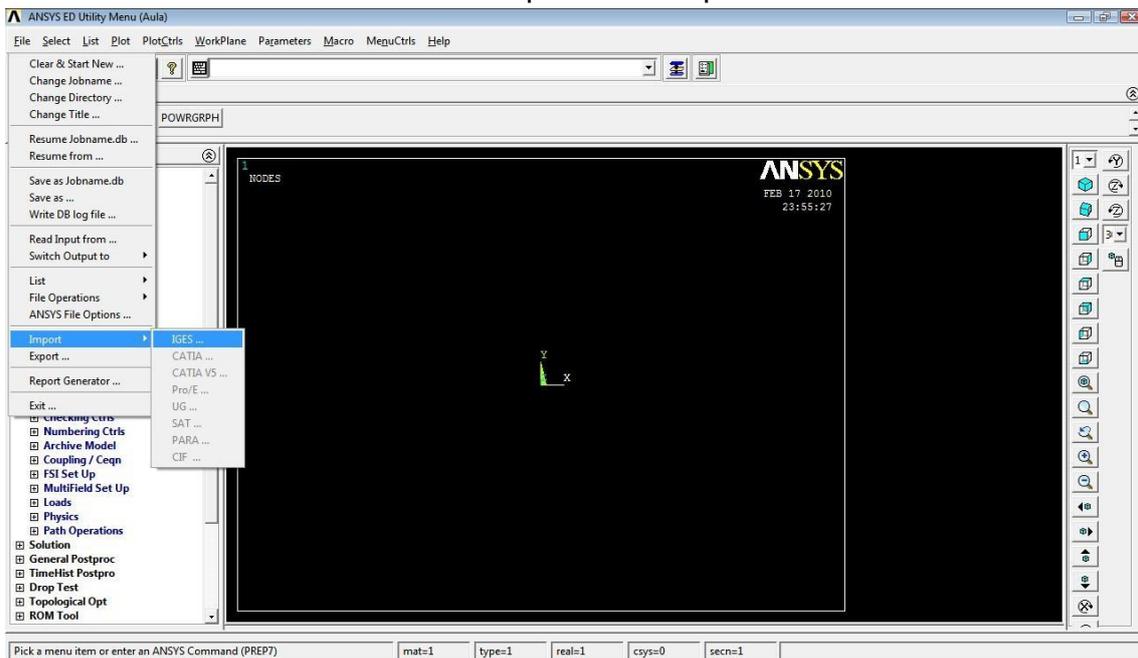
Para criar o modelo geométrico temos três opções: importar os dados utilizando arquivo formato IGES, utilizando o aplicativo Vcondxf ou através da APDL.

Para importar os arquivos utilizando o formato IGES execute os passos 2.4.1. até o 2.4.5.; utilizando o aplicativo Vcondxf execute os passos 2.4.6. e 2.4.7.; e utilizando APDL execute o passo 2.4.8.

2.4.1. **Importa Arquivo no formato IGES:**

- ✓ No Ansys Utility Menu selecionar “File”, “Import”, “IGES”;

- ✓ Escolher o arquivo a ser carregado pelo ANSYS;
- ✓ Clicar em “OK” e o ANSYS importará o arquivo.



2.4.2. Plota lines e keypoints importados:

- ✓ No Ansys Utility Menu selecionar a opção para plotar:
 - Keypoints;
 - Lines.

2.4.3. Definição da malha de elementos finitos a ser gerada (transformar lines e keypoints em elements e nodes, respectivamente):

- ✓ No Ansys Main Menu, dentro do “Preprocessor”, selecionar “Meshing”, “Size Cntrl”, “Lines”, “All Lines”;
- ✓ Na nova janela [LESIZE] definir o tamanho e número de elementos a serem criados;
 - NDIV (número de divisões da linha) = 1
 - SPACE (spacing ratio) = 1
- ✓ Clicar em “OK”.

2.4.4. Definição dos atributos dos elementos a serem criados:

- ✓ No Ansys Main Menu, dentro do “Preprocessor”, selecionar “Meshing”, “Attributes”, “Define”, “All Lines” (irá definir atributos aos elementos que serão criados);
 - MAT Material Number 1;
 - Real Real Constant Set Number 2;
 - TYPE Element Type Number 1;
- ✓ No Ansys Main Menu, dentro do “Preprocessor”, selecionar “Meshing”, “Attributes”, “Define”, “Picked Lines”;

- ✓ Na nova janela apontar as lines que compõe o banzo inferior e superior da viga e as barras principais das colunas e clicar em “OK”;
 - MAT Material Number **1**;
 - Real Real Constant Set Number **1**;
 - TYPE Element Type Number **1**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No Ansys Main Menu, dentro do “Preprocessor”, selecionar “Meshing”, “Attributes”, “Define”, “**Picked Lines**”;
- ✓ Na nova janela apontar as lines que compõe as diagonais e horizontais d as colunas e clicar em “OK”;
 - MAT Material Number **1**;
 - Real Real Constant Set Number **3**;
 - TYPE Element Type Number **1**;
- ✓ Clicar em “OK”;

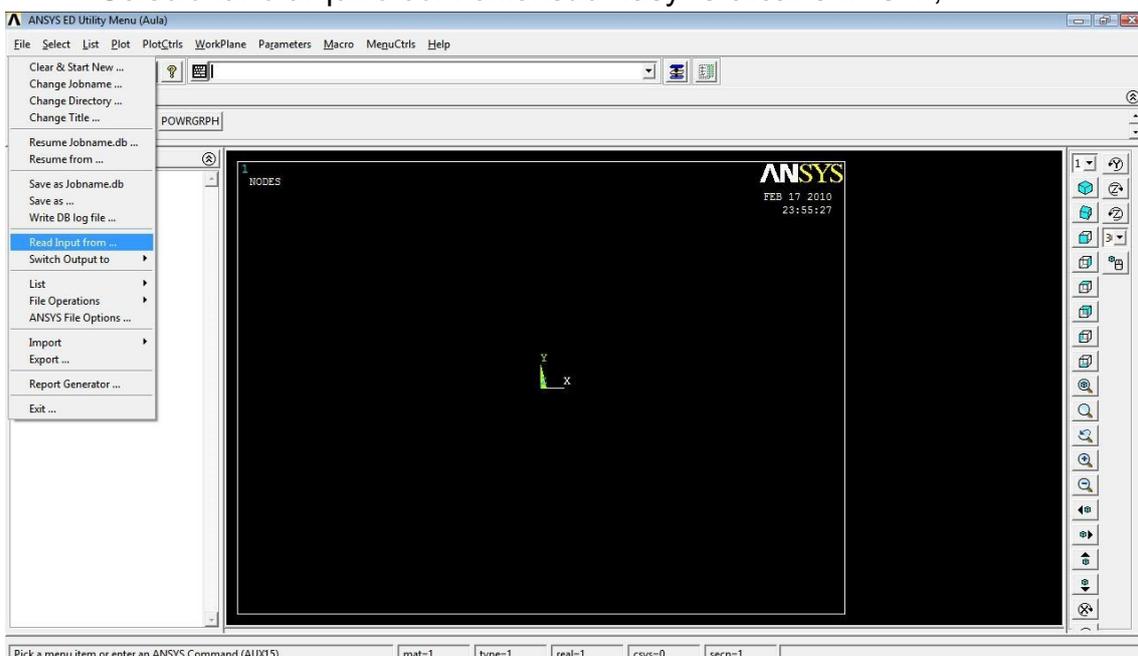
2.4.5. Geração automática da malha de elementos finitos;

- ✓ No Ansys Main Menu, dentro do “Preprocessor”, selecionar “Meshing”, “Mesh”, “Lines+”, “**Pick All**” e clicar em “OK” e a malha de elementos finitos será criada;

“PULE PARA O PASSO 2.4.9.”

2.4.6. Importa arquivo de dados em formato texto gerado pelo Vcondxf:

- ✓ No Ansys Utility Menu, clicar em “File”, “Read Input From”;
- ✓ Selecionar o arquivo com extensão “.asy” e clicar em “OK”;



- ✓ A geometria será carregada (neste caso, a geometria já é composta por nós e elementos, logo já possuímos a malha de elementos finitos).

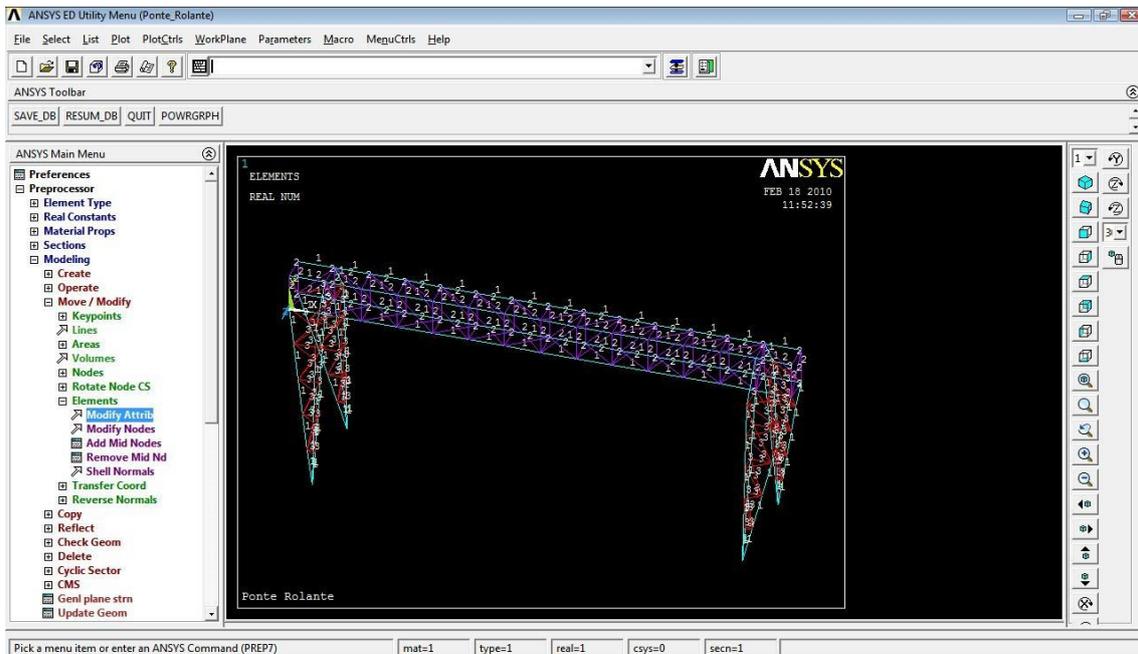
- Para criar o nó 1, com coordenadas (X,Y,Z) 1, 0, 3, devemos inserir: N,1,1,0,3
- Para criar um elemento, com incidência nos nós 3 e 4, devemos inserir: E,3,4
- ✓ Antes de se inserir os comandos para criar os nós e elementos no arquivo de texto, devemos inserir os seguintes códigos:

/BATCH	<i>(Início da análise)</i>
/TITLE,Ponte Rolante	<i>(Muda o título do problema)</i>
/FILENAME,Ponte_Rolante,0	<i>(Muda o Jobname)</i>
/PREP7	<i>(Inicia o pré-processamento)</i>
ET,1,LINK8	<i>(Escolhe elemento LINK 8)</i>
R,1,11.1, ,	<i>(Atribui cte geométrica 1)</i>
R,2,5.52,0,	<i>(Atribui cte geométrica 2)</i>
R,3,3.95,0,	<i>(Atribui cte geométrica 3)</i>
MPTMP,,,,,,,,,	<i>(Atribui cte dos materiais)</i>
MPTMP,1,0	
MPDATA,EX,1,,2.1E6	
MPDATA,PRXY,1,,	

- ✓ Os comandos devem ser inseridos em arquivo de texto (.txt). Para carregar os arquivos, vamos no “ANSYS Utility Menu”, “File”, “Read Input From...” e escolher o arquivo, que a estrutura será carregada.
- ✓ DICAS:
 - Para criar a geometria da ponte rolante, de modo a reduzir o “trabalho braçal”, é interessante utilizar comandos como o NFILL (cria nós entre nós pré-existentes) e REFLECT (reflete nós e elementos, no caso de simetria na estrutura).
 - Coordenada dos principais nós:
 - Nós dos cantos da viga (X,Y,Z):
 - 0,0,0
 - 0,160,0
 - 0,0,-120
 - 0,160,-120
 - 2216,0,0
 - 2216,160,0
 - 2216,0,-120
 - 2216,160,-120
 - Nós da extremidade inferior das pernas (X,Y,Z):
 - 160,-750,175
 - 160,-750,-295
 - 2056,-750,175
 - 2056,-750,-295

2.4.9. Numera os elementos:

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em “PlotCtrls” e acessar a opção “Numbering”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, selecionar:
 - Elem-Attrib numbering **Real const num**
- ✓ Clicar em “OK”.



F

2.5. Aplicar as condições de contorno:

2.5.1. Aplicar apoios:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir apontar um nó na base de uma das colunas e clicar em “OK”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “**ALLDOF**” (irá restringir o movimento do nó selecionado em todas as direções) e clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir apontar os outros nós das bases das colunas e clicar em “OK”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “**UX**” e “**UY**” (irá restringir o movimento dos nós selecionados nas direções de “X” e “Y”) e clicar em “OK”;

2.5.2. Aplicar as cargas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **4 nós que compõe as extremidades do banzo inferior da viga** e clicar em “APPLY” (carga de peso próprio);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-120**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **demais 26 nós que compõe as extremidades do banzo inferior da viga** e clicar em “APPLY” (carga de peso próprio);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-240**
- ✓ Clicar em “OK”.

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **2 nós da primeira posição da talha** e clicar em “APPLY” (carga devido à talha – primeira posição);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-2740**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o primeiro STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **1**
- Clicar em “OK”;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Delete”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela apontar os nós das posições 1 e 2 da talha e clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **2 nós da primeira posição da talha** e clicar em “APPLY” (peso próprio);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-240**

- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **2 nós da segunda posição da talha** e clicar em “APPLY” (carga devido a talha – segunda posição);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-2740**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o primeiro STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **2**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Delete”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela apontar os nós das posições 2 e 3 da talha e clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **2 nós da segunda posição da talha** e clicar em “APPLY” (peso próprio);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-240**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **2 nós da terceira posição da talha** e clicar em “APPLY” (carga devido a talha – terceira posição);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-2740**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o primeiro STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **3**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Delete”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
 - ✓ Na nova janela apontar os nós das posições 3 e 4 da talha e clicar em “OK”;
 - ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
 - ✓ Apontar os **2 nós da terceira posição da talha** e clicar em “APPLY” (peso próprio);
 - ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-240**
 - ✓ Clicar em “OK”.
 - ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
 - ✓ Apontar os **2 nós da quarta posição da talha** e clicar em “APPLY” (carga devido a talha – quarta posição);
 - ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-2740**
 - ✓ Clicar em “OK”.
 - ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o primeiro STEP de carga;
 - ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **4**
 - ✓ Clicar em “OK”;
-
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Delete”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
 - ✓ Na nova janela apontar os nós das posições 4 e 5 da talha e clicar em “OK”;
 - ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
 - ✓ Apontar os **2 nós da quarta posição da talha** e clicar em “APPLY” (peso próprio);
 - ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-240**
 - ✓ Clicar em “OK”.
 - ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
 - ✓ Apontar os **2 nós da quinta posição da talha** e clicar em “APPLY” (carga devido a talha – quinta posição);

- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-2740**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o primeiro STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **5**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Delete”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela apontar os nós das posições 5 e 6 da talha e clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **2 nós da quinta posição da talha** e clicar em “APPLY” (peso próprio);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-240**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os **2 nós da sexta posição da talha** e clicar em “APPLY” (carga devido a talha – sexta posição);
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-2740**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o primeiro STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **6**
- ✓ Clicar em “OK”;

2.5.3. Salvando dados no arquivo *Ponte_Rolante.db*

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.



3. SOLUÇÃO

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “From LS Files” para resolver lendo os dados dos arquivos LS;
- ✓ Na janela “Solve Load Step Files” inserir:
 - LSMIN **1**
 - LSMAX **6**
 - LSINC **1**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB” para salvar os dados mais a solução no arquivo.

H

4. PÓS PROCESSAMENTO

4.1. *Gera, lista e plota os resultados:*

4.1.1. *Primeiro Step de carga:*

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “First Set” para recuperar, plotar e listar os resultados para o primeiro STEP de carga;
- ✓ Então, ainda dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Add”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - LAB **FX**
 - Item, comp By sequence number **SMISC**
SMISC,1
- ✓ Clicar em “OK” (Define itens adicionais para a tabela de resultados).
- ✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results, selecionar:
 - LABI **FX**
 - LABJ **FX**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Os resultados aparecerão em uma escala de cores;

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Item, comp DOF solution All U’s UCOMP
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Lab All Struc Forc F
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data” para listar o conteúdo da tabela obtida como comando “ETABLE” (“Element Table”, definido no início do pós processamento);
- ✓ Na janela “List Element Table Data”, selecionar:
 - Lab 1-9 **FX**
- ✓ Clicar em “OK”.

4.1.2. Segundo Step de carga:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “Next Set” para recuperar, plotar e listar os resultados para o próximo STEP de carga;
- ✓ Então, ainda dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Update” para atualizar a tabela;
- ✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results”, selecionar:
 - LABI **FX**
 - LABJ **FX**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Os resultados aparecerão em uma escala de cores;

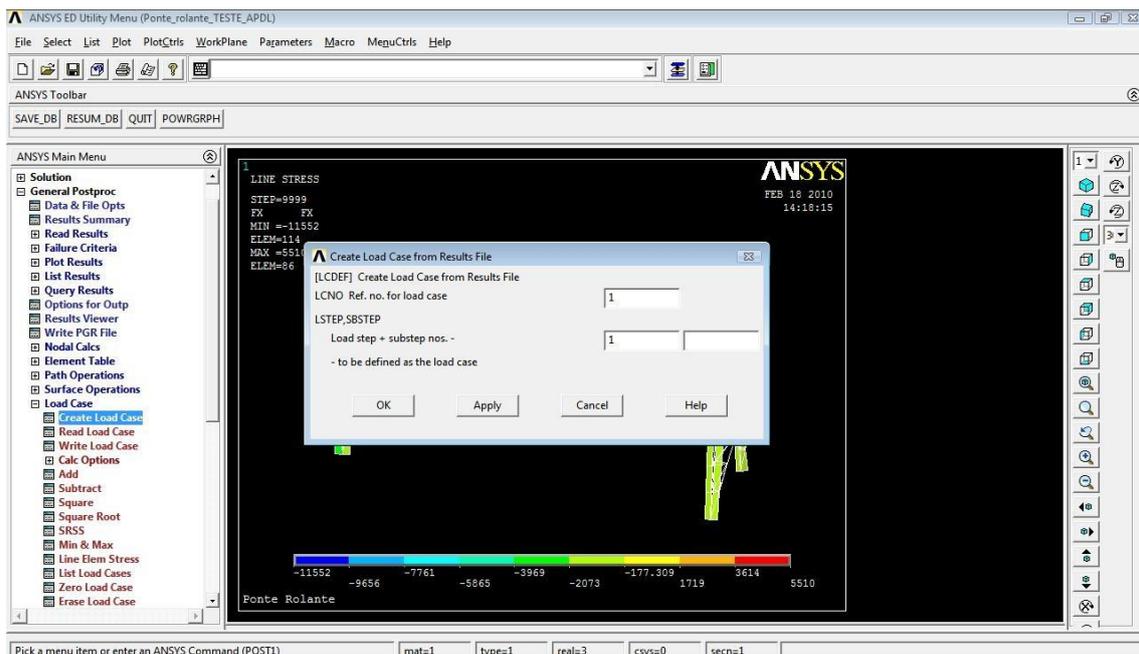
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Item, comp DOF solution All U’s UCOMP

- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Lab All Struc Forc F
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data” para listar o conteúdo da tabela obtida como comando “ETABLE” (“Element Table”, definido no início do pós processamento);
- ✓ Na janela “List Element Table Data”, seleccionar:
 - Lab 1-9 FX
- ✓ Clicar em “OK”.

“EXECUTAR ESSE PROCEDIMENTO PARA OS SEIS STEPS DE CARGA”

4.2. Gera plot e lista resultados da envoltória (máximos e mínimos):

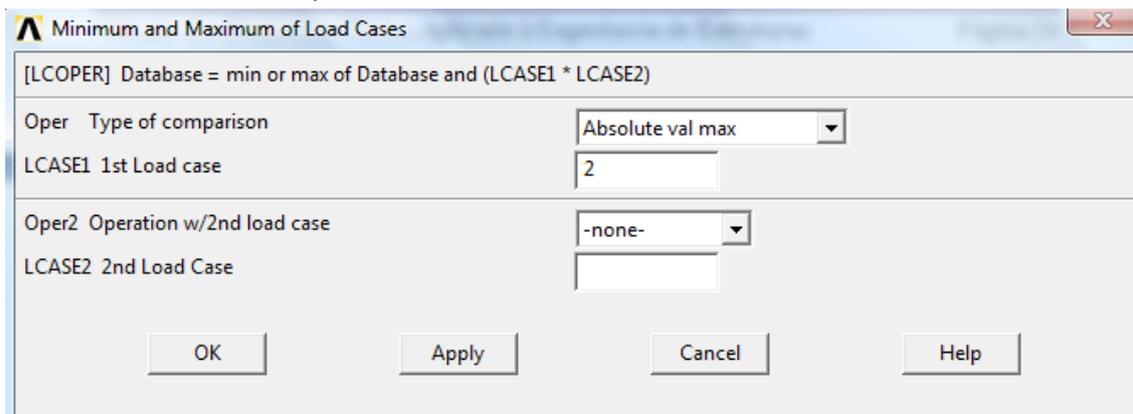
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Create Load Case”;
- ✓ Seleccionar “Results File” e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela [LCDEF] (Criar caso de carga a partir de arquivo de resultado);
 - LCNO 1;
 - LSTEP 1;
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Create Load Case”;
- ✓ Selecionar “Results File” e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela [LCDEF] (Criar caso de carga a partir de arquivo de resultado);
 - LCNO **2;**
 - LSTEP **2;**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Create Load Case”;
- ✓ Selecionar “Results File” e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela [LCDEF] (Criar caso de carga a partir de arquivo de resultado);
 - LCNO **3;**
 - LSTEP **3;**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Create Load Case”;
- ✓ Selecionar “Results File” e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela [LCDEF] (Criar caso de carga a partir de arquivo de resultado);
 - LCNO **4;**
 - LSTEP **4;**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Create Load Case”;
- ✓ Selecionar “Results File” e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela [LCDEF] (Criar caso de carga a partir de arquivo de resultado);
 - LCNO **5;**
 - LSTEP **5;**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Create Load Case”;
- ✓ Selecionar “Results File” e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela [LCDEF] (Criar caso de carga a partir de arquivo de resultado);
 - LCNO **6;**
 - LSTEP **6;**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “First Set” para recuperar o primeiro Step;

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Min & Max...”;
- ✓ Na nova janela [LCOPER], inserir: (calcula mínimos ou máximos entre o database e o caso de carga especificado e armazena novamente no database.
 - OPER Type of Comparison **Absolute val max;**
 - LCASE1 1st Load case **2;**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Min & Max...”;
- ✓ Na nova janela [LCOPER], inserir: (calcula mínimos ou máximos entre o database e o caso de carga especificado e armazena novamente no database.
 - OPER Type of Comparison **Absolute val max;**
 - LCASE1 1st Load case **3;**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Min & Max...”;
- ✓ Na nova janela [LCOPER], inserir: (calcula mínimos ou máximos entre o database e o caso de carga especificado e armazena novamente no database.
 - OPER Type of Comparison **Absolute val max;**
 - LCASE1 1st Load case **4;**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Min & Max...”;
- ✓ Na nova janela [LCOPER], inserir: (calcula mínimos ou máximos entre o database e o caso de carga especificado e armazena novamente no database.
 - OPER Type of Comparison **Absolute val max;**
 - LCASE1 1st Load case **5;**

- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Min & Max...”;
- ✓ Na nova janela [LCOPER], inserir: (calcula mínimos ou máximos entre o database e o caso de carga especificado e armazena novamente no database.
 - OPER Type of Comparison **Absolute val max;**
 - LCASE1 1st Load case **6;**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Então, ainda dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Update” para atualizar a tabela;
- ✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, seleccionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results, seleccionar:
 - LABI **FX**
 - LABJ **FX**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Os resultados aparecerão em uma escala de cores;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Item, comp DOF solution All U’s UCOMP
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Lab All Struc Forc F
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data” para listar o conteúdo da tabela obtida como comando “ETABLE” (“Element Table”, definido no início do pós processamento);
- ✓ Na janela “List Element Table Data”, seleccionar:

- Lab 1-9
- FX**
- ✓ Clicar em “OK”.

5.0 SALVANDO ARQUIVOS E SAINDO DO PROGRAMA:

- ✓ No ANSYS Tollbar, clicar em “SAVE_DB” para salvar no Data Base;
- ✓ Ainda no ANSYS Toolbar, clicar em “QUIT”;
- ✓ Na nova janela, selecionar a opção “Save everything” e clicar em “OK”.