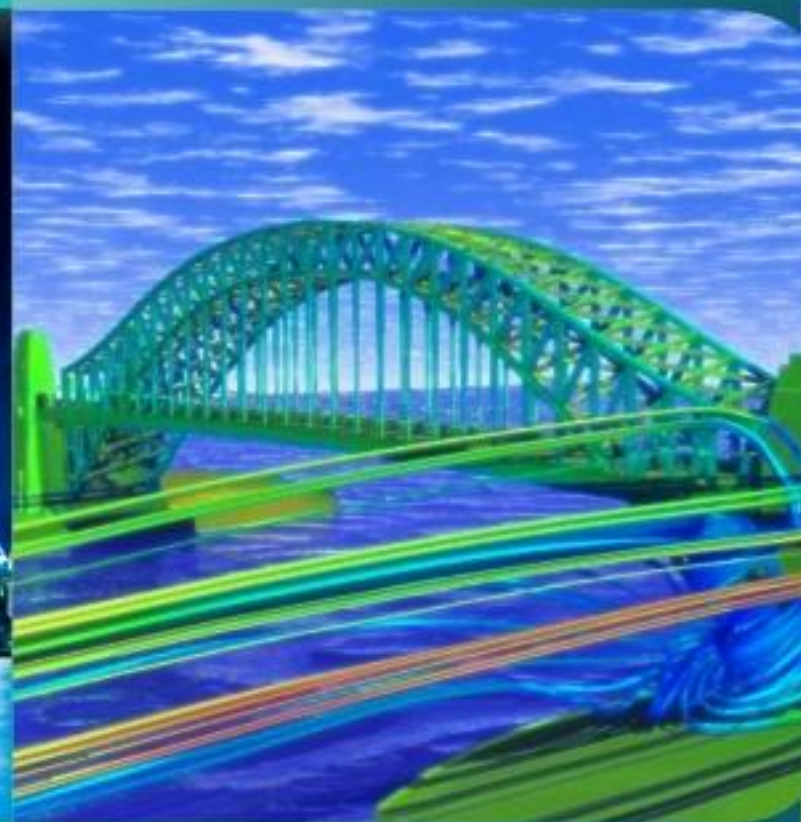




2010

**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 DIVERSOS TIPOS DE
CONTRAVENTAMENTO EM
TRELIÇAS PLANAS USANDO O
MÉTODO DOS ELEMENTOS
FINITOS**

ESTUDO DE DIVERSOS TIPOS DE CONTRAVENTAMENTO EM TRELIÇAS PLANAS USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

INTRODUÇÃO

O exemplo apresentado a seguir visa o estudo de diversos tipos de contraventamento (geometria) para treliças planas e as alterações que provocam nos esforços internos (axiais) de suas barras. Trata-se de uma treliça plana formando um cavalete com 6 metros de altura e 2 metros de largura submetida a 1 condição de carregamento. A figura 1 mostra 3 tipos de contraventamento (geometria) propostos e o carregamento atuante. A figura 2 apresenta o modelo de elementos finitos para a treliça com contraventamento tipo K.

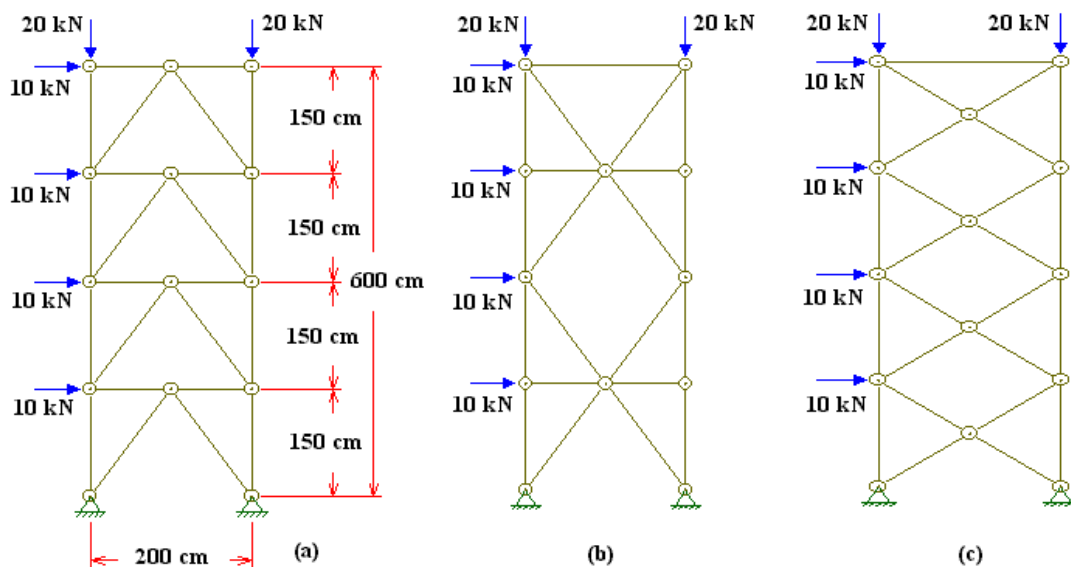


Figura 1 – Geometria da treliça a ser analisada. (a) Contraventamento tipo K. (b) Contraventamento em diamante. (c) Contraventamento em X.

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

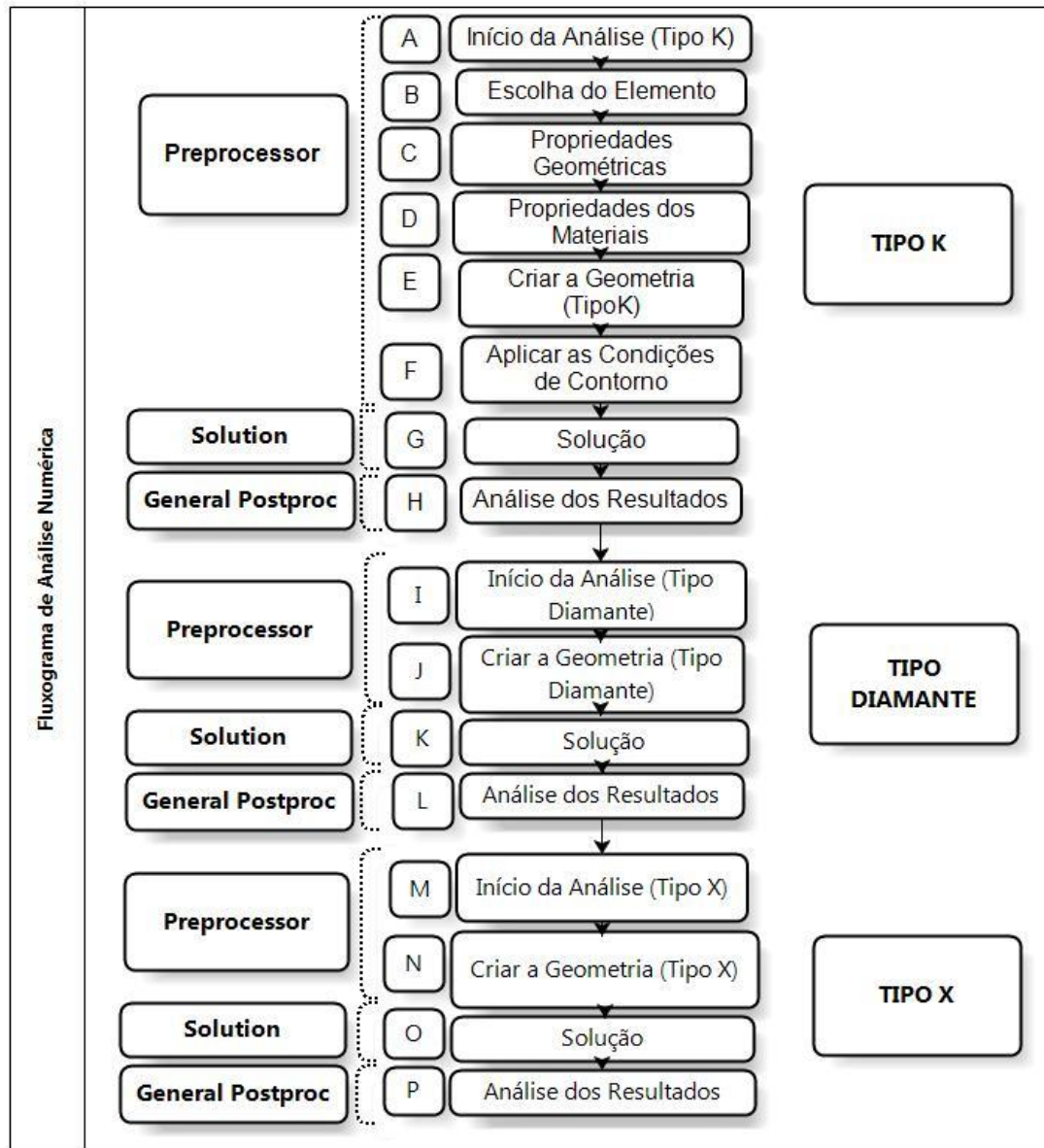
- Área das seções transversais das barras que compõe as colunas (montantes): 9.27 [cm²] (L 76.2 x 6.35);
- Área das seções transversais das diagonais: 7.66 [cm²] (L 63.5 x 6.35).

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

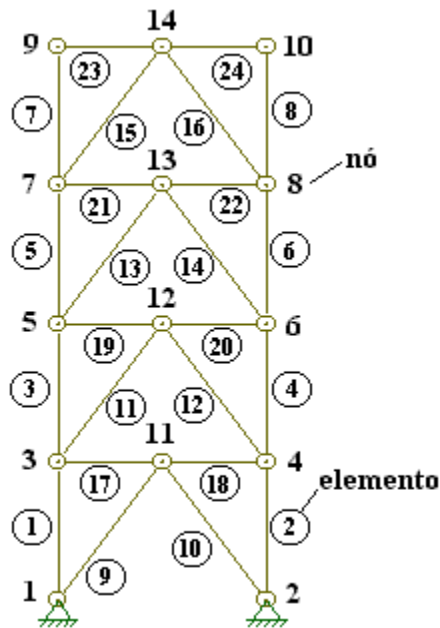
- Módulo de elasticidade do material das barras: 20500 [kN/cm²] (aço estrutural).

RESOLUÇÃO

O procedimento de resolução pode ser demonstrado no seguinte fluxograma:



A) **CONTRAVENTAMENTO TIPO K:**



A

1. INÍCIO DA ANÁLISE

1.1. Introduz o título do problema a ser resolvido:

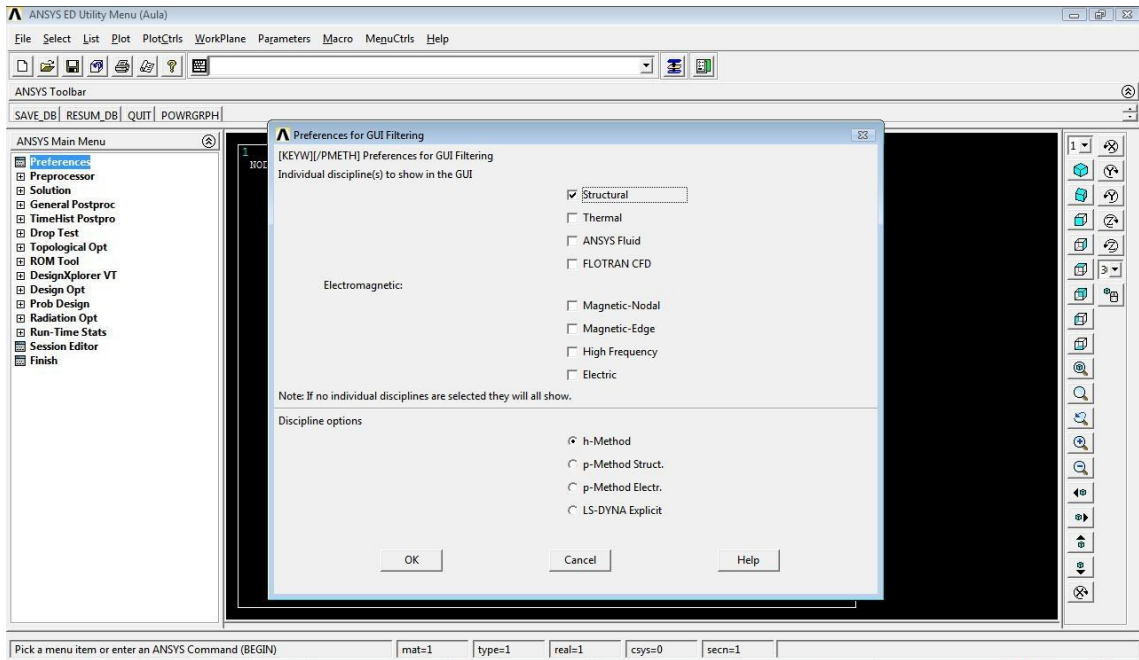
- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Title...”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, digitar novo título: “**Contraventamento tipo K**”;
- ✓ Clicar em OK.

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: “**Contrav_k**”;
- ✓ 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.



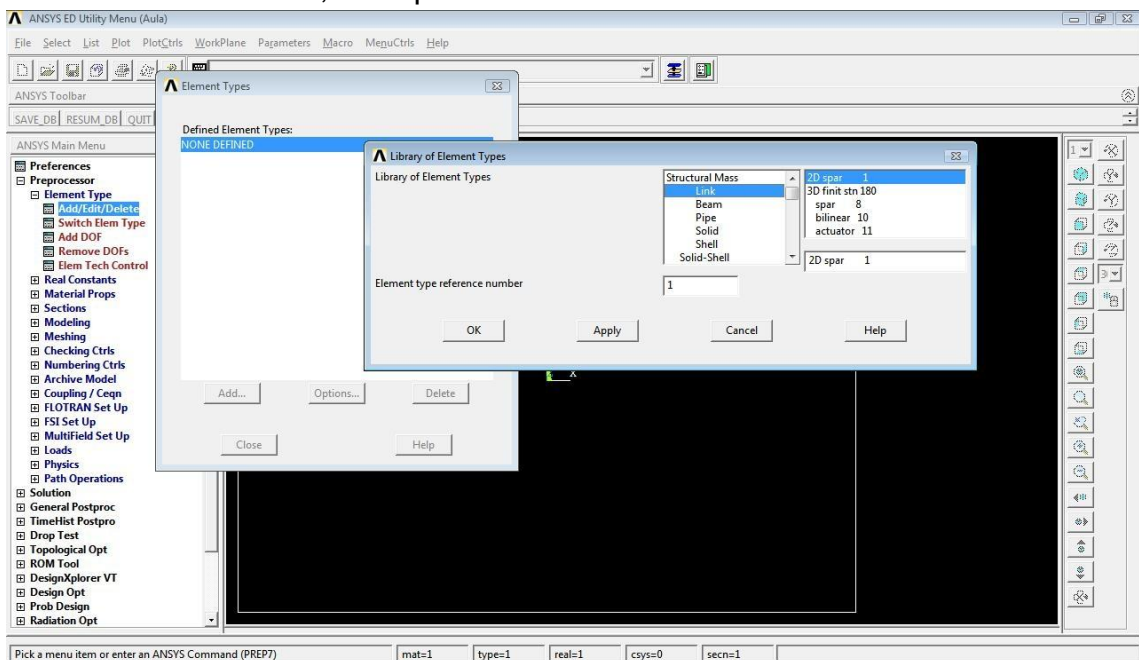
2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

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

B

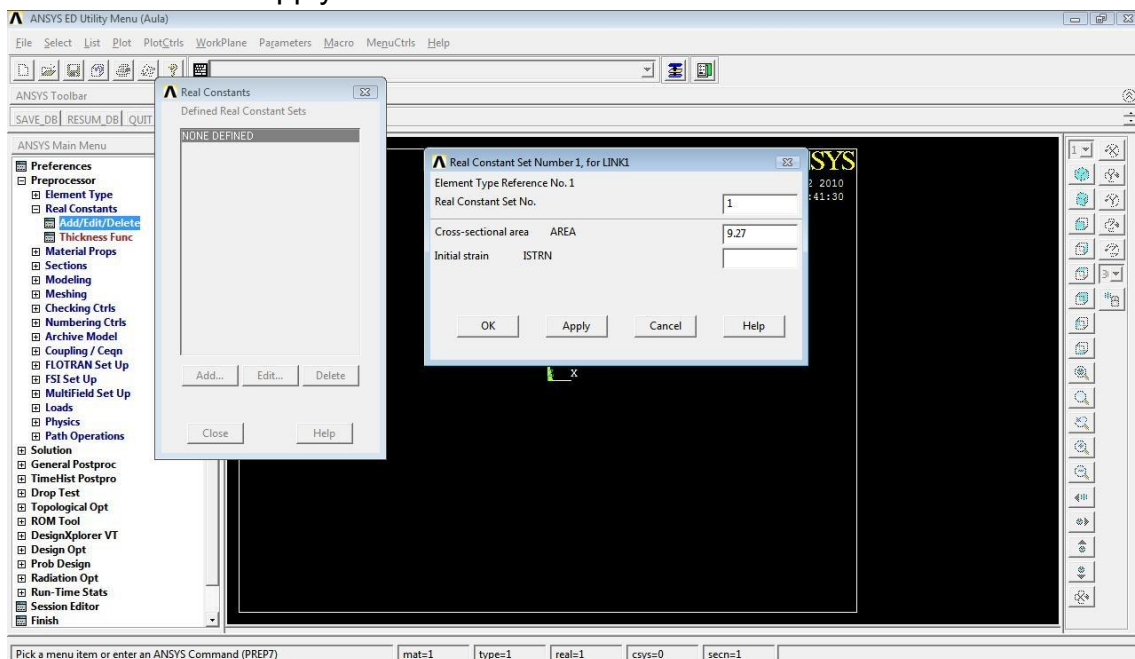
2.1. Escolhe o tipo de elemento finito que será usado:

- ✓ 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”, “2D spar 1” e clicar em OK.

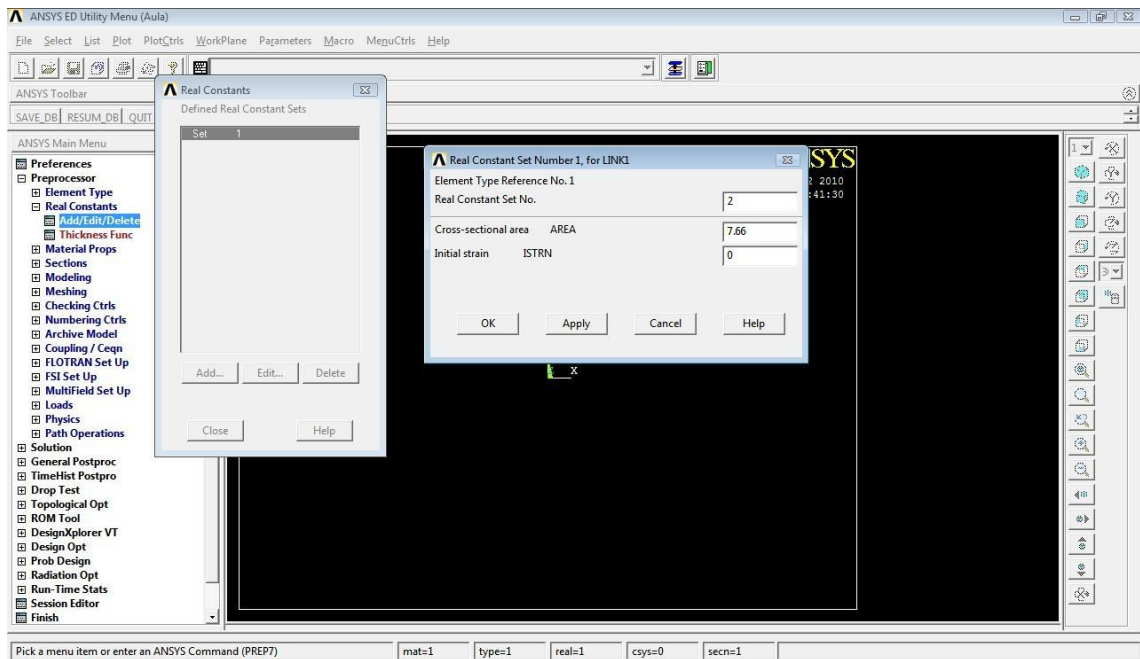


2.2. Define as constantes geométricas da seção das barras que compõe o modelo:

- ✓ 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” (no caso, haverá o elemento LINK 1) e clicar em OK;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for LINK 1” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 1
 - Cross-sectional Area AREA = 9.27
- ✓ Clicar em “Apply”.



- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for LINK 1” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 2
 - Cross-sectional Area AREA = 7.66
- ✓ Clicar em “OK”;

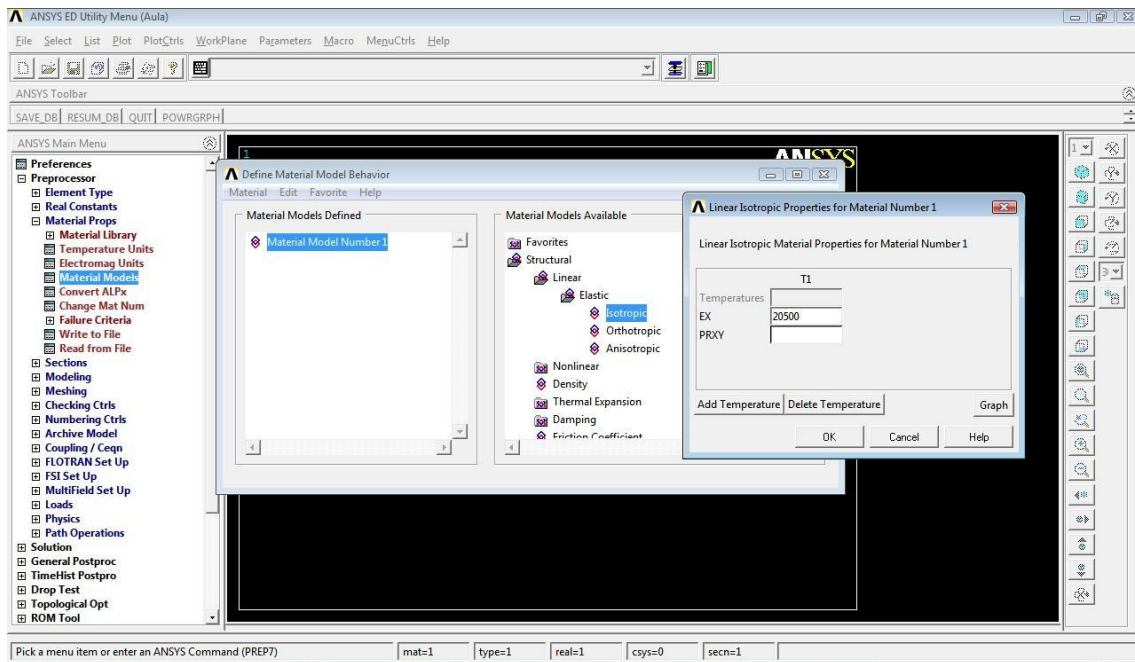


- ✓ Verificar na janela “Real Constants” se as duas constantes de seção geométrica, “Set 1” e “Set 2” foram criadas;
- ✓ Clicar em “CLOSE”.

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 = **20500**;
- ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.

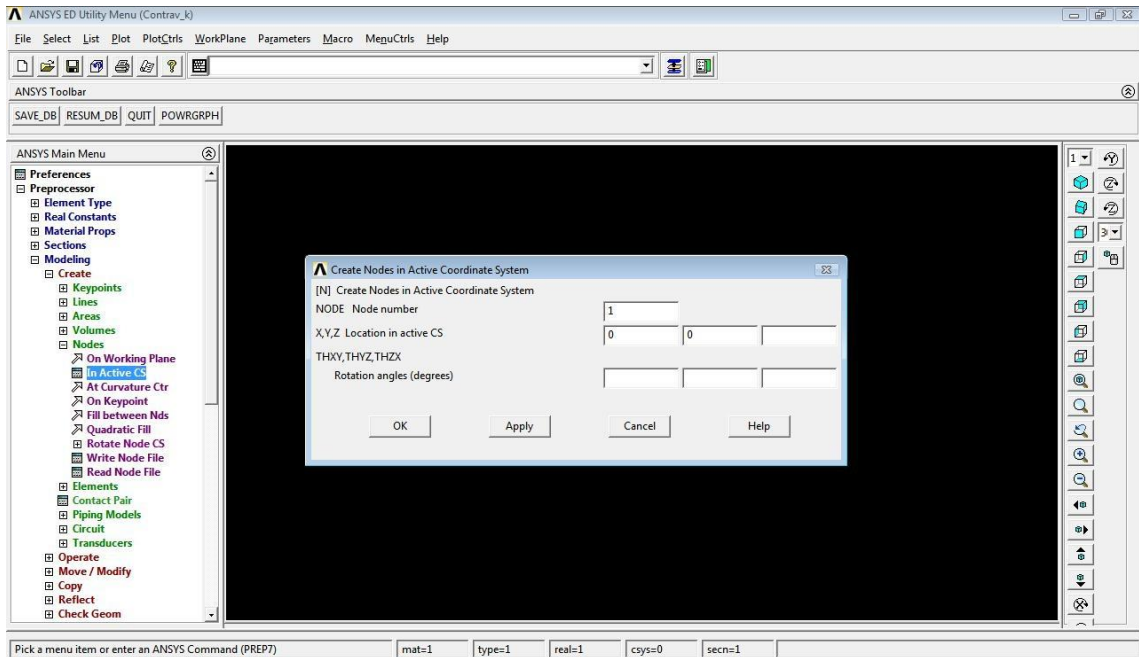


E

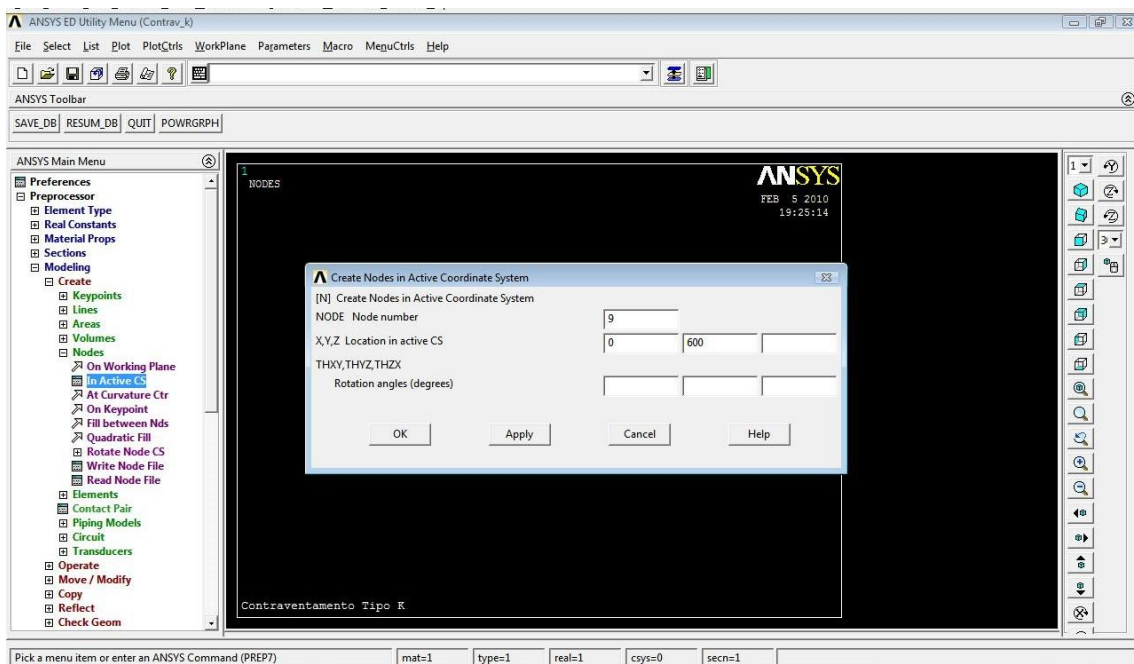
2.4. Cria o modelo geométrico:

2.4.1. Cria os nós que compõe a malha de elementos finitos no sistema de coordenadas ativo:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Na nova janela que abrir, inserir um número para o nó que será criado em “NODE Node Number” e as coordenadas X,Y e Z (no caso de estar trabalhando com um modelo 2D, utiliza-se apenas as coordenadas X e Y);
- ✓ Para criar o primeiro nó:
 - NODE Node Number : **1**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0 Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APLY”;

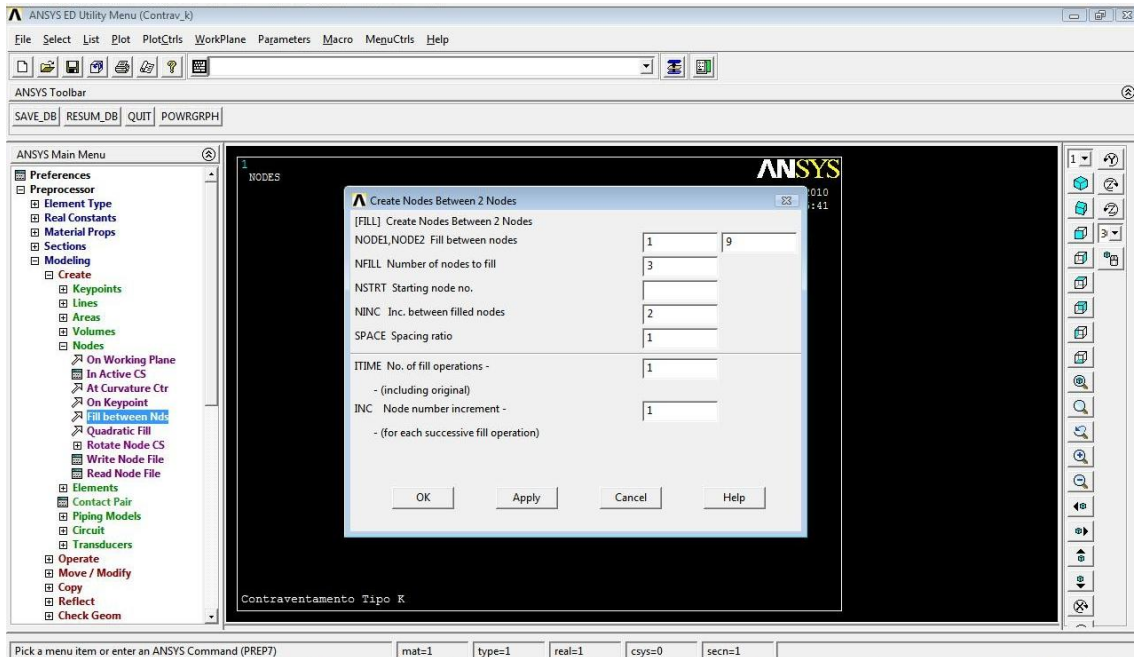


- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **9**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0** **Y = 600**;
- ✓ Clicar em “OK”;

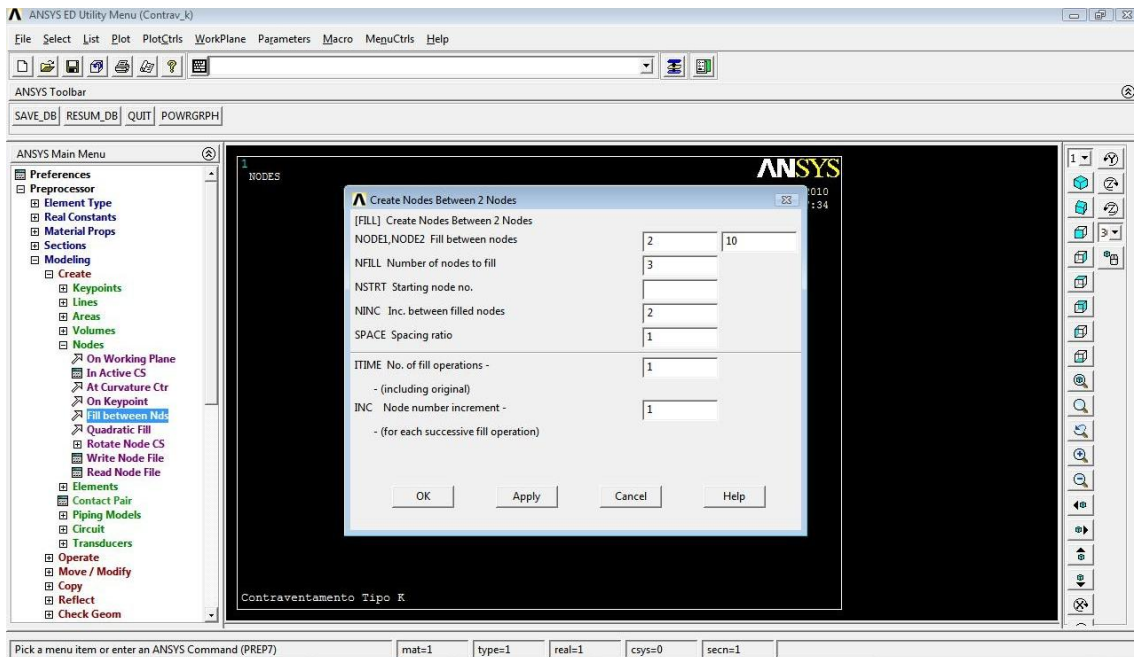


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes” (esta ferramenta serve para criar nós entre nós preexistentes);
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 1 e 9, anteriormente criados, e clicar em “OK”;

- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **3**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2**;
 - SPACE (Spacing ratio) = **1**.
- ✓ Clicar em “OK” e os nós 3, 5 e 7 serão criados entre os nós 1 e 9.



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **2**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 200 Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **10**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 200 Y = 600**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 2 e 10, anteriormente criados, e clicar em “OK”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **3**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2**;
 - SPACE (Spacing Ratio) = **1**.
- ✓ Clicar em “OK” e os nós 4, 6 e 8 serão criados entre os nós 2 e 10.



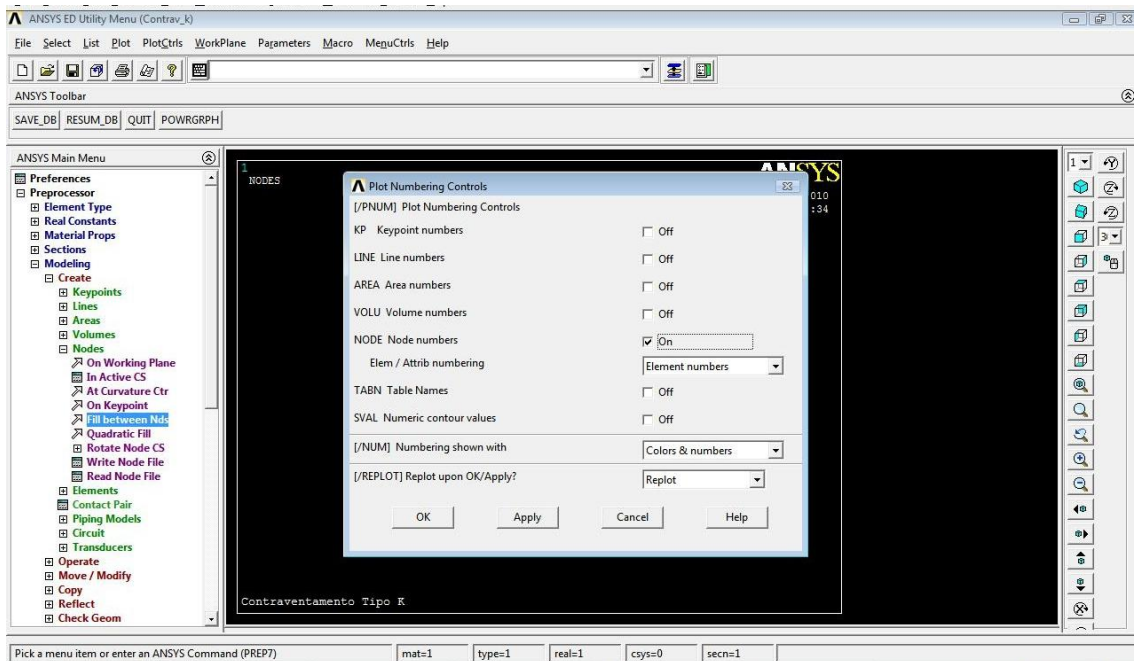
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **11**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 100 Y = 150**;
- ✓ Clicar em “APLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **14**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 100 Y = 600**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 11 e 14 anteriormente criados, e clicar em “OK”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **2**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **1**;
 - SPACE (Spacing Ratio) = **1**.

Clicar em “OK” e os nós 12 e 13 serão criados entre os nós 11 e 14.

2.4.2. Numera os nós e elementos:

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em “PlotCtrls” e acessar a opção “Numbering”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, selecionar:
 - NODE Node Numbers **ON**
 - Elem-Attrib numbering **Element Numbers**

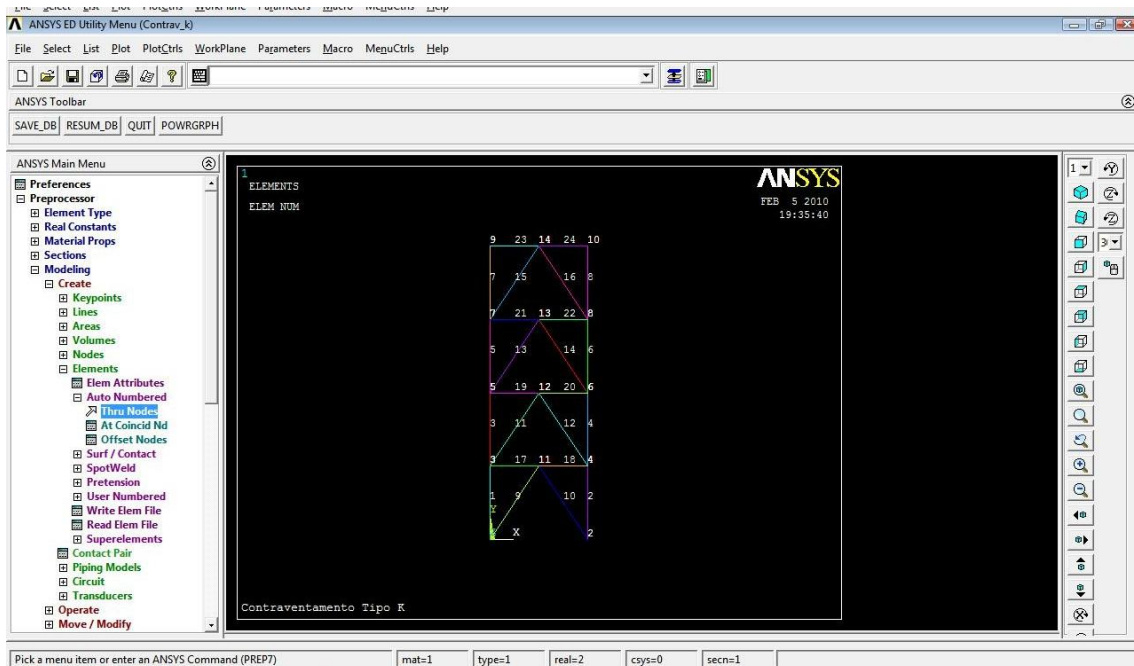
- ✓ Clicar em “OK”.



2.4.3. Cria os elementos:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para selecionar qual dos atributos definidos nos itens 2.2 e 2.3 devem ser inseridos nos elementos que serão criados;
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **1**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Para criar os elementos: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 1 e 3 e clicar em “APPLY” (então o elemento “1” será criado entre os nós 1 e 3);
- ✓ Apontar nós 2 e 4 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 3 e 5 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 4 e 6 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 5 e 7 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 6 e 8 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 7 e 9 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 8 e 10 e clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para modificar os atributos dos elementos a serem criados na seqüência (as diagonais da torre);
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**

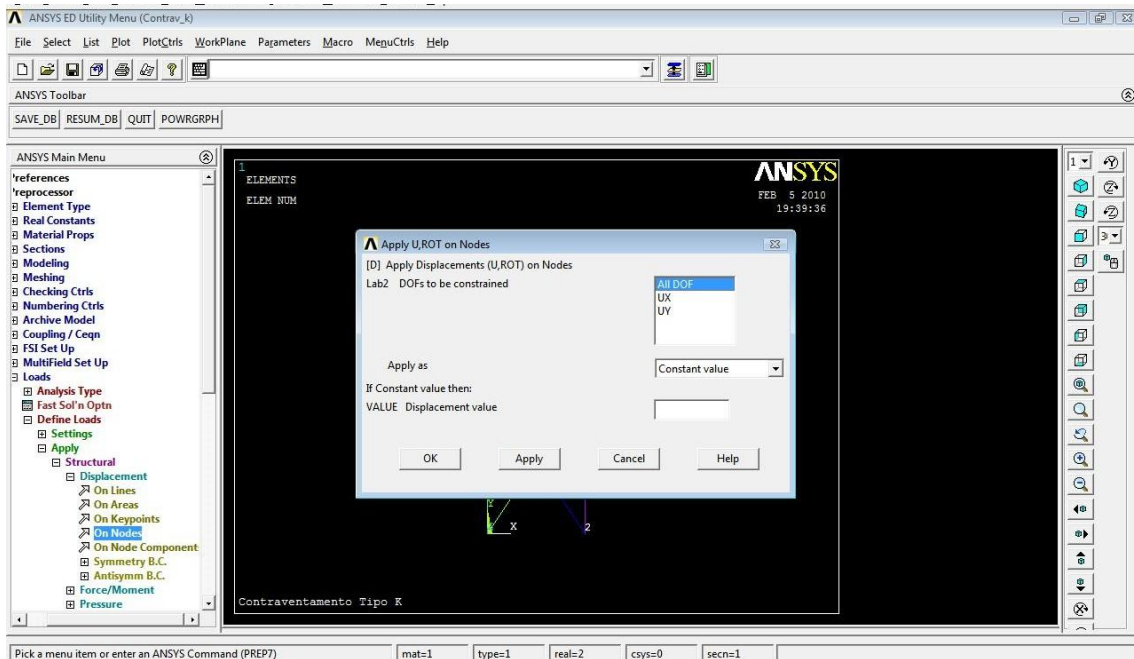
- MAT 1
- REAL 2
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Para criar os elementos que compõe as diagonais da torre: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela que aparecer apontar os nós 1 e 11 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 2 e 11 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 3 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 4 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 5 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 6 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 7 e 14 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 8 e 14 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 3 e 11 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 4 e 11 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 5 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 6 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 7 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 8 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 9 e 14 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 10 e 14 e clicar em “OK”;
- ✓ A geometria da torre está pronta.



2.5. Aplicar as condições de contorno:

2.5.1. Aplicar apoios:

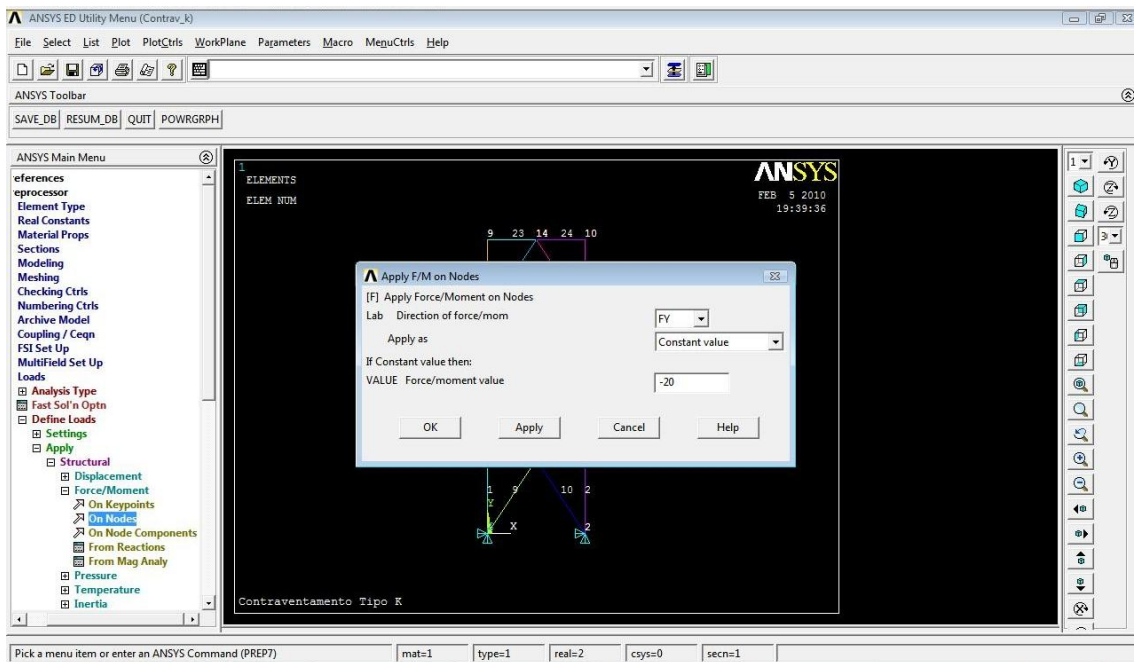
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir apontar o nó 1 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “ALL DOF” (irá restringir o movimento do nó 1 em todas as direções) e clicar em “APPLY”;



- ✓ Da mesma forma, apontar o nó 2 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “ALL DOF” (irá restringir o movimento do nó 2 em todas as direções) e clicar em “OK”;

2.5.2. Aplicar as cargas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar o nó 10 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-20**
- ✓ Clicar em “APLY”.



- ✓ Apontar o nó 9 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-20**
- ✓ Clicar em “APLY”.
- ✓ Apontar os nós 3,5,7 e 9 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FX**
 - VALUE Force/moment value **10**
- ✓ Clicar em “OK”.

2.5.3. Salvando dados no arquivo contrav_k.db

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

G

3. SOLUÇÃO

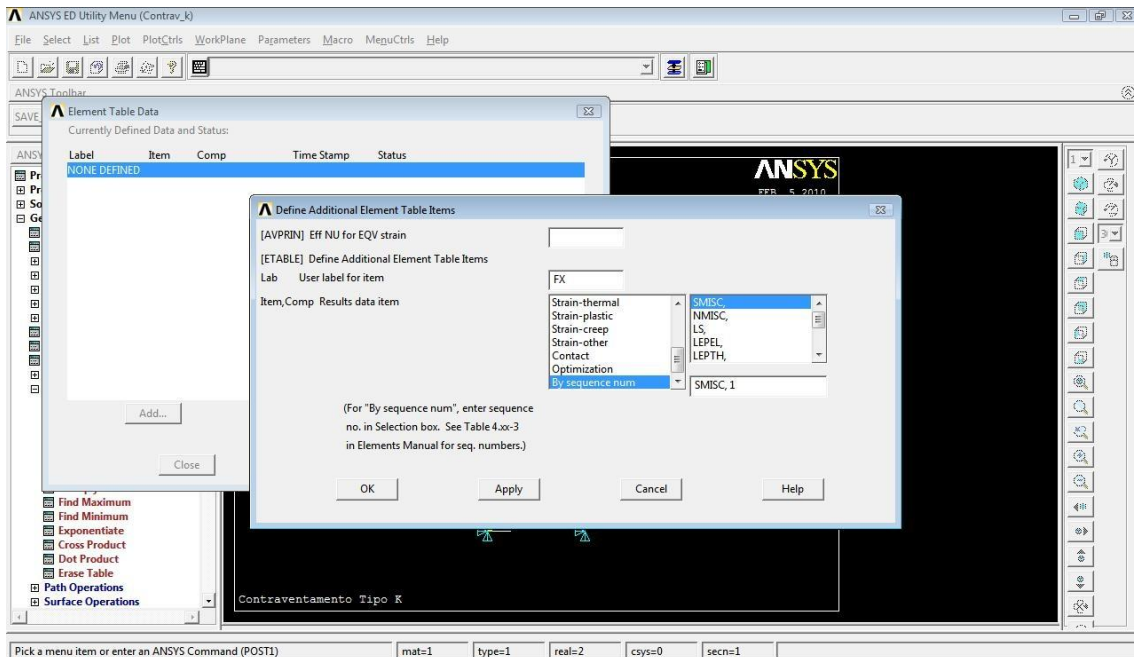
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS” (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em “OK” (information: solution is done).
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

H

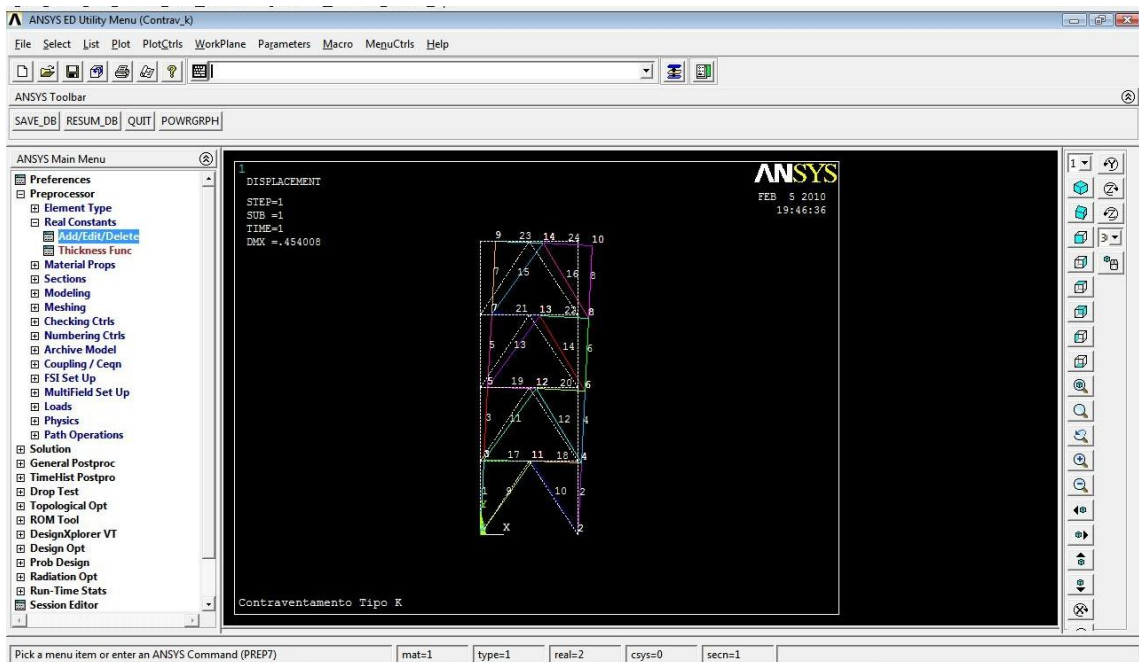
4. PÓS PROCESSAMENTO

4.1. Gera, lista e plota os resultados para o primeiro tipo de contraventamento:

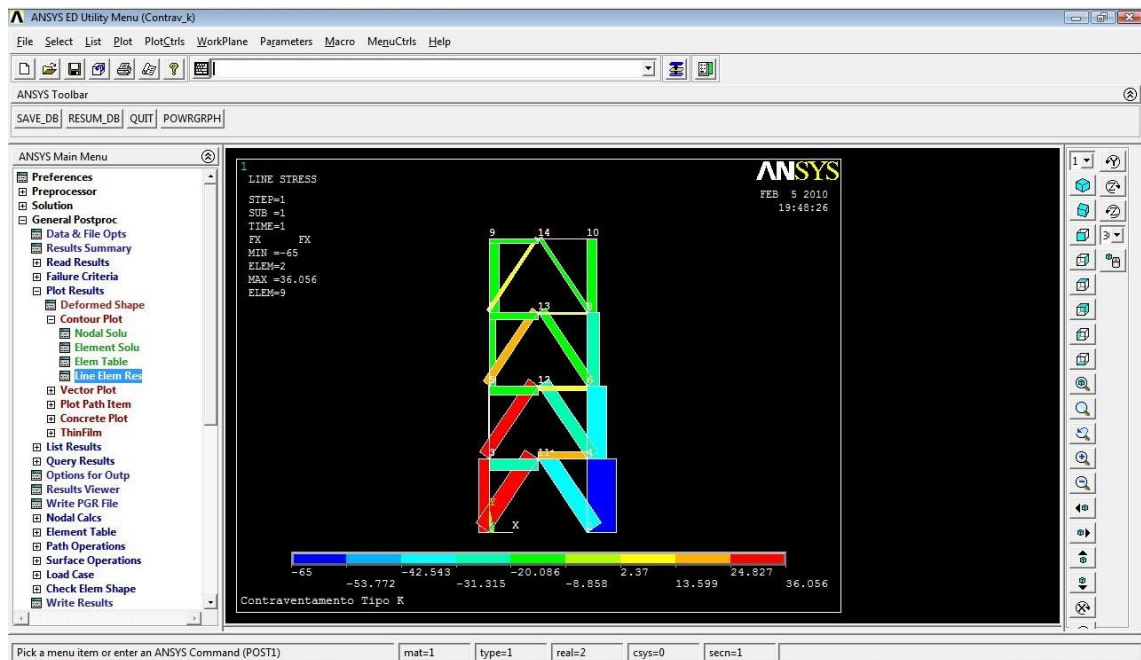
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Add”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - LAB **FX**
 - Item, comp By sequence number **SMISC**
SMISC,1
- ✓ Clicar em “OK” (Definir itens adicionais para a tabela de resultados).
- ✓ Após, verificar a listagem 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”;

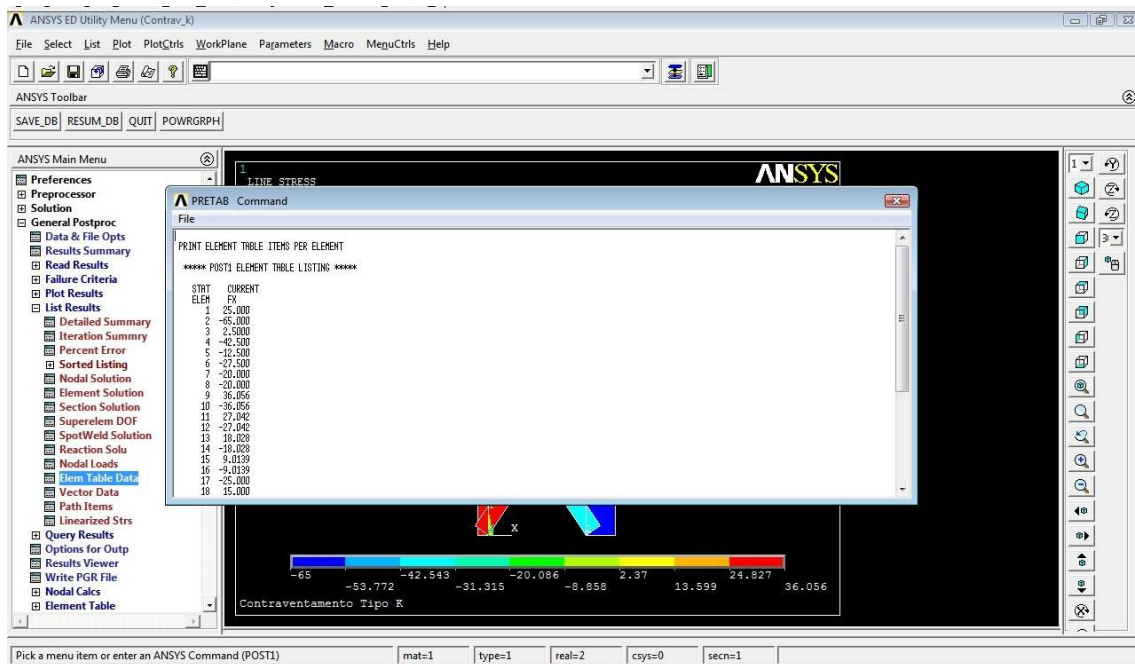


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results”, selecionar:
 - LABI **FX**
 - LABJ **FX**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Os resultados aparecerão em uma escala de cores;



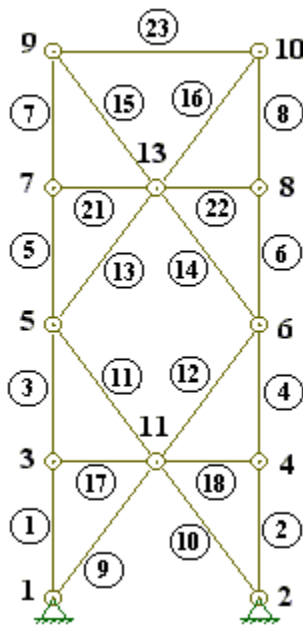
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;

- ✓ 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”, seleccionar:
 - Lab 1-9 **FX**
- ✓ Clicar em “OK”.



- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

B) CONTRAVENTAMENTO EM DIAMANTE:



I

5. INÍCIO DA ANÁLISE

5.1. *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: “**Contraventamento em Diamante**” (ignorar erro);
- ✓ Clicar em OK.

5.2. *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: “**contrav_diam**”;
- ✓ Clicar em OK.

6. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ No ANSYS Main Menu, clicar em “Preprocessor” para alterar o modelo geométrico.

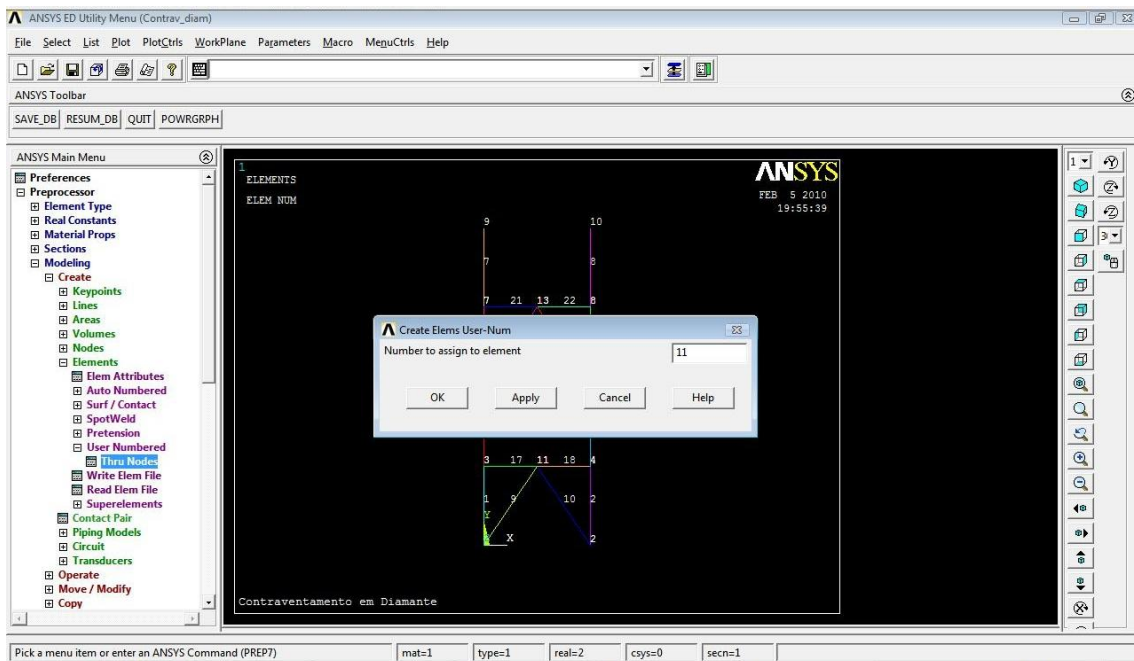
J

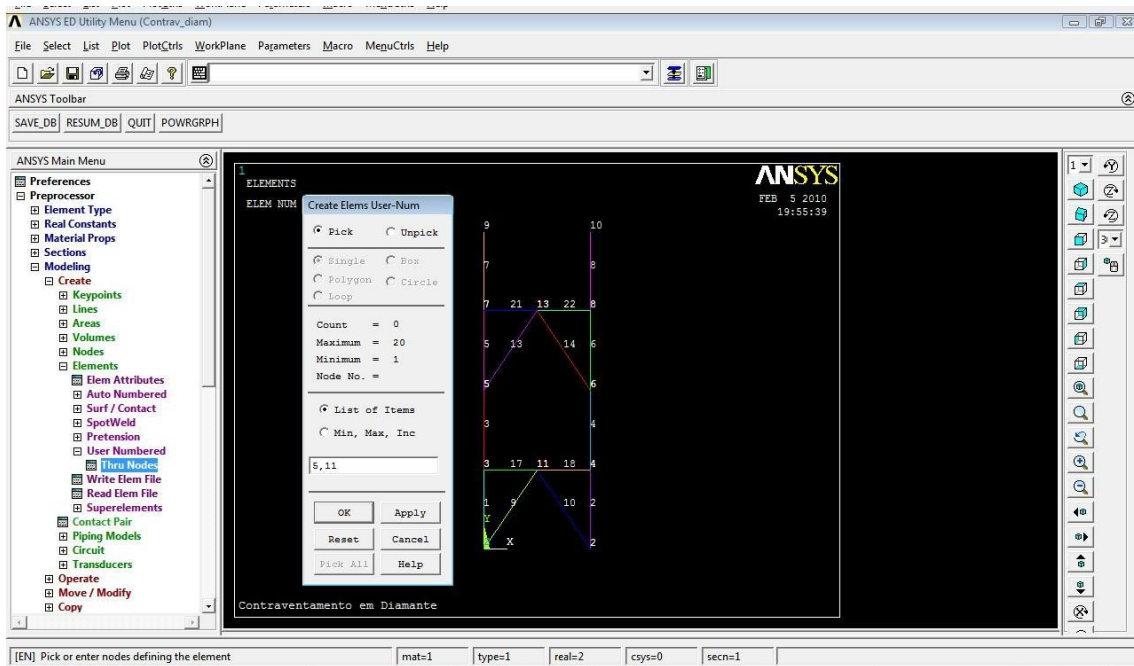
6.1. *Alterar a estrutura:*

6.1.1. *Deletar elementos e nós:*

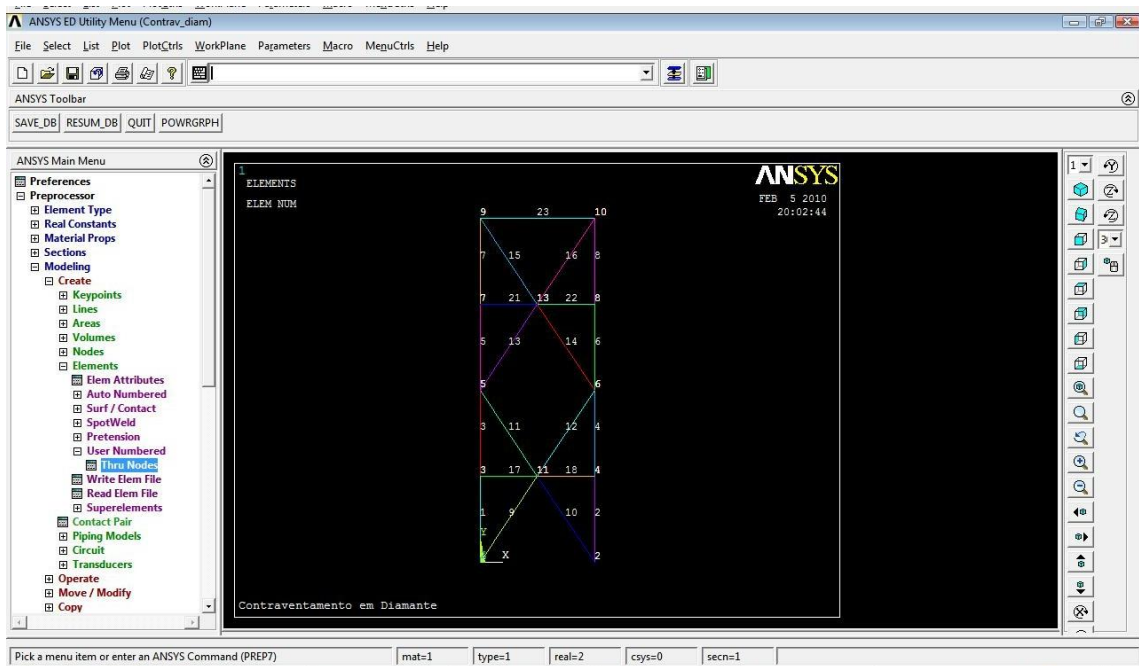
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Delete”, “Elements”;
- ✓ Apontar os elementos 11, 12, 15, 16, 19, 20, 23 e 24.
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Delete”, “Nodes”;

- ✓ Apontar os nós 12 e 14;
 - ✓ Clicar em “OK”.
- 6.1.2. *Criar novos elementos:*
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para modificar os atributos dos elementos a serem criados na seqüência (as diagonais da torre);
 - ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **2**
 - ✓ Clicar em “OK”.
-
- ✓ Para criar os elementos que compõe as diagonais da torre: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “User Numbered”, “Thru Nodes”;
 - ✓ Na nova janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **11** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 5 e 11 e clicar em “APPLY”;





- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **12** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 6 e 11 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **15** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 9 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **16** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 10 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **23** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 9 e 10 e clicar em “OK”;
- ✓ A geometria da torre está pronta.



6.1.3. Salvando dados no arquivo contrav_diam.db

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

K

7. SOLUÇÃO

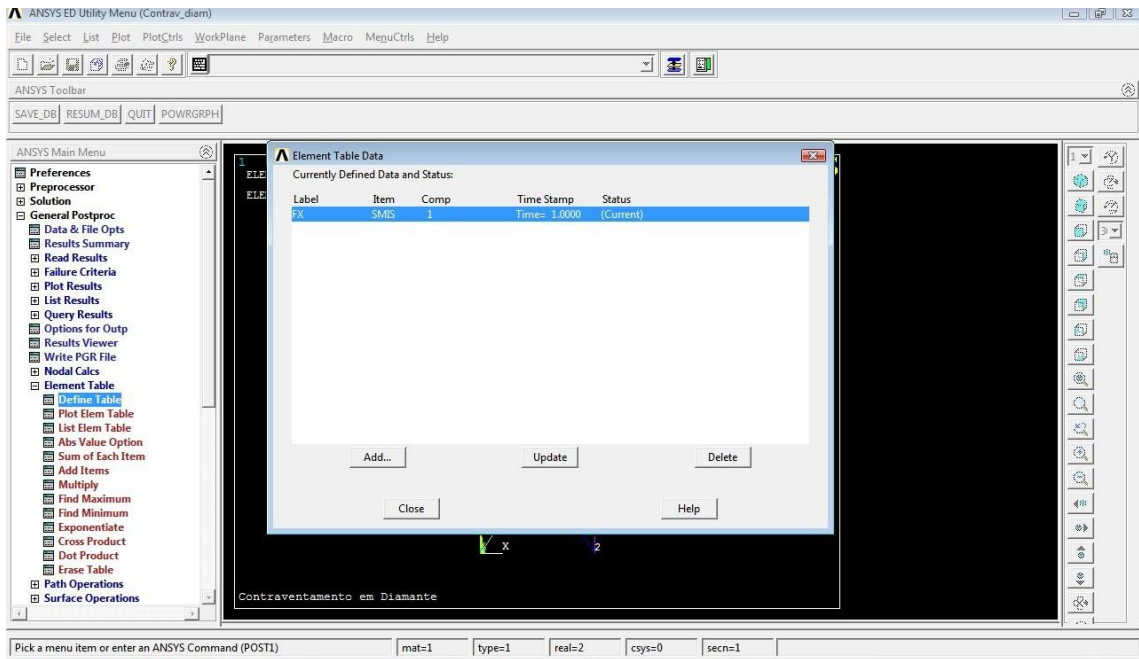
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS” (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em “OK” (information: solution is done).
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

L

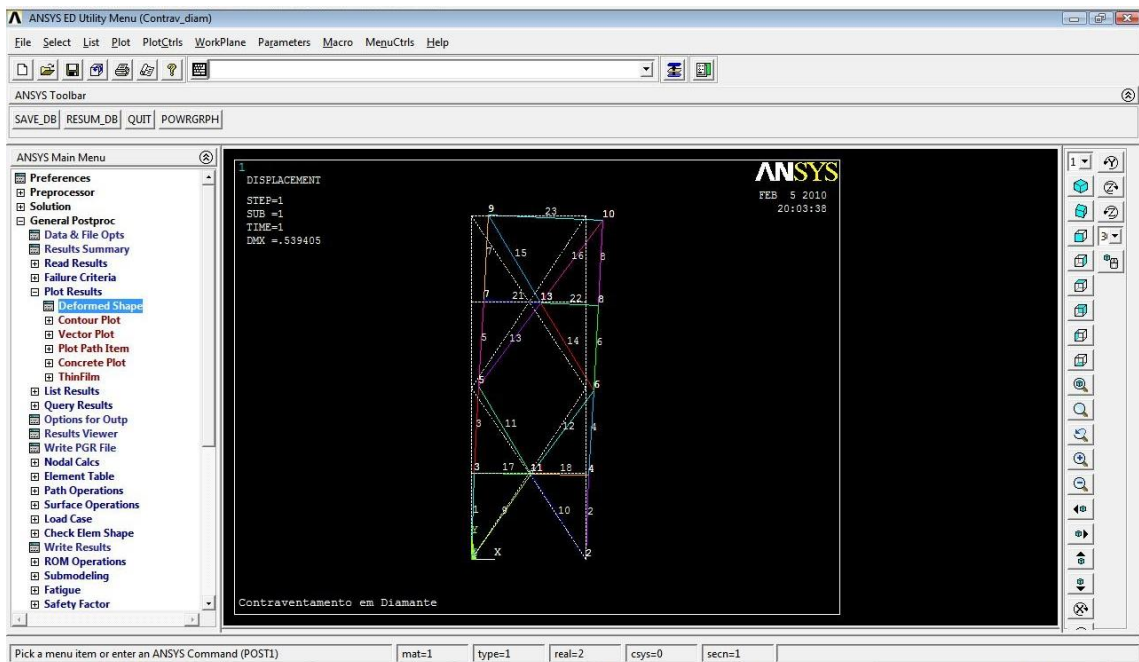
8. PÓS PROCESSAMENTO

4.1. Gera, lista e plota os resultados para o segundo tipo de contraventamento:

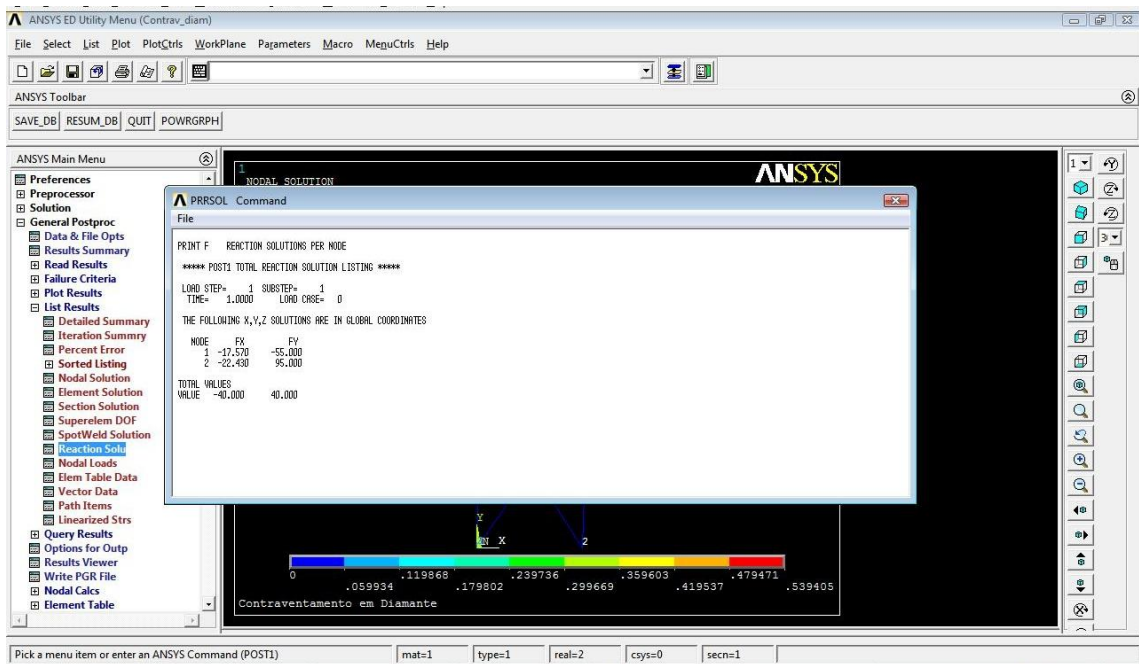
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Update” (atualiza a tabela para o segundo tipo de contraventamento);
- ✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.



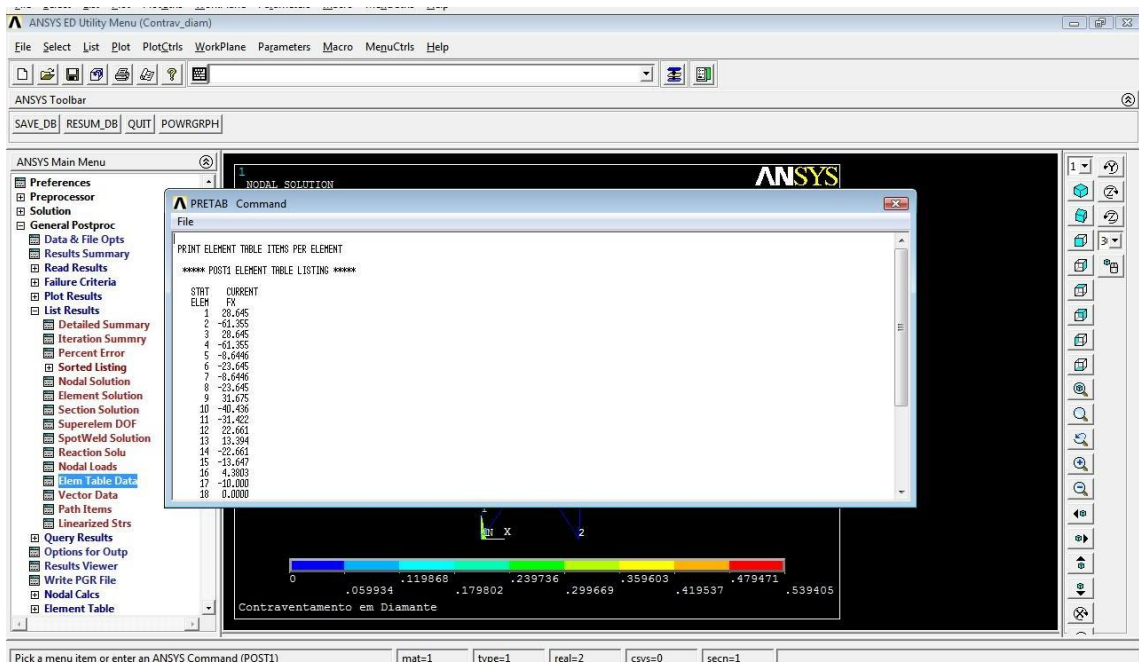
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, seleccionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;



- ✓ 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**

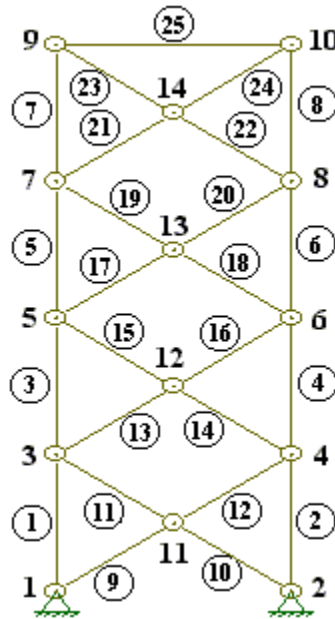


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data” para listar o conteúdo da tabela obtida como comando “ETABLE” (“Element Table”, definido no início do pós processamento);
- ✓ Na janela “List Element Table Data”, seleccionar:
 - Lab 1-9 **FX**
- ✓ Clicar em “OK”.



- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

C) CONTRAVENTAMENTO EM X:



M

9. INÍCIO DA ANÁLISE

9.1. *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: “**Contraventamento em X**” (ignorar erro);
- ✓ Clicar em OK.

9.2. *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: “**contrav_x**”;
- ✓ Clicar em OK.

10. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ No ANSYS Main Menu, clicar em “Preprocessor” para alterar o modelo geométrico.

N

10.1. *Alterar a estrutura:*

10.1.1. *Deletar elementos e nós:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Delete”, “Elements”;
- ✓ Apontar os elementos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22 e 23.
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Delete”, “Nodes”;

- ✓ Apontar os nós 11 e 13;
- ✓ Clicar em “OK”.

10.1.2. Criar novos nós:

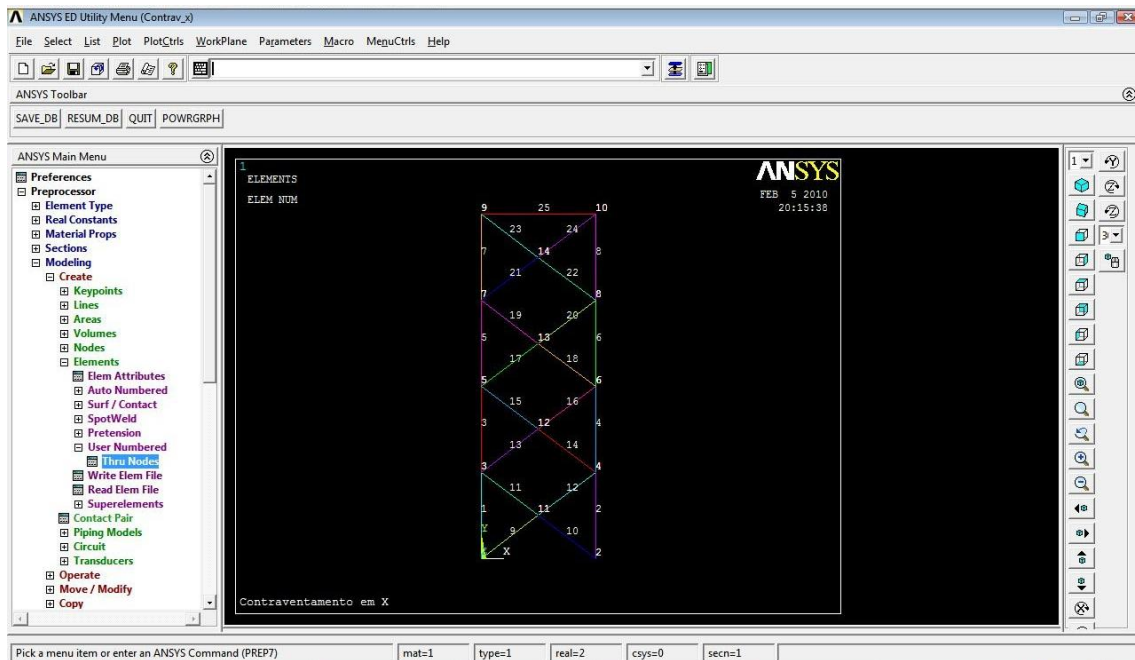
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **11**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 100 Y = 75**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **14**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 100 Y = 525**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 11 e 14 anteriormente criados e clicar em “OK”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **2**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **1**;
 - SPACE (Spacing Ratio) = **1**.
- ✓ Clicar em “OK” e dois nós serão criados entre os nós 11 e 14.

10.1.3. Criar novos elementos:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para modificar os atributos dos elementos a serem criados na seqüência (as diagonais da torre);
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **2**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Para criar os elementos que compõe as diagonais da torre: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “User Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **9** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 11 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **10** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 2 e 11 e clicar em “APPLY”;

- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **11** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 3 e 11 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **12** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 4 e 11 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **13** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 3 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **14** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 4 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **15** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 5 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **16** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 6 e 12 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **17** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 5 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **18** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 6 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **19** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 7 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **20** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 8 e 13 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **21** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 7 e 14 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **22** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 8 e 14 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **23** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós 9 e 14 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **24** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 10 e 14 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **25** e clicar em “APPLY”;

- Apontar nós 9 e 10 e clicar em “OK”;
- ✓ A geometria da torre está pronta.



- 10.1.4. *Salvando dados no arquivo contrav_x.db*
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

○

11. SOLUÇÃO

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS” (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em “OK” (information: solution is done).
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

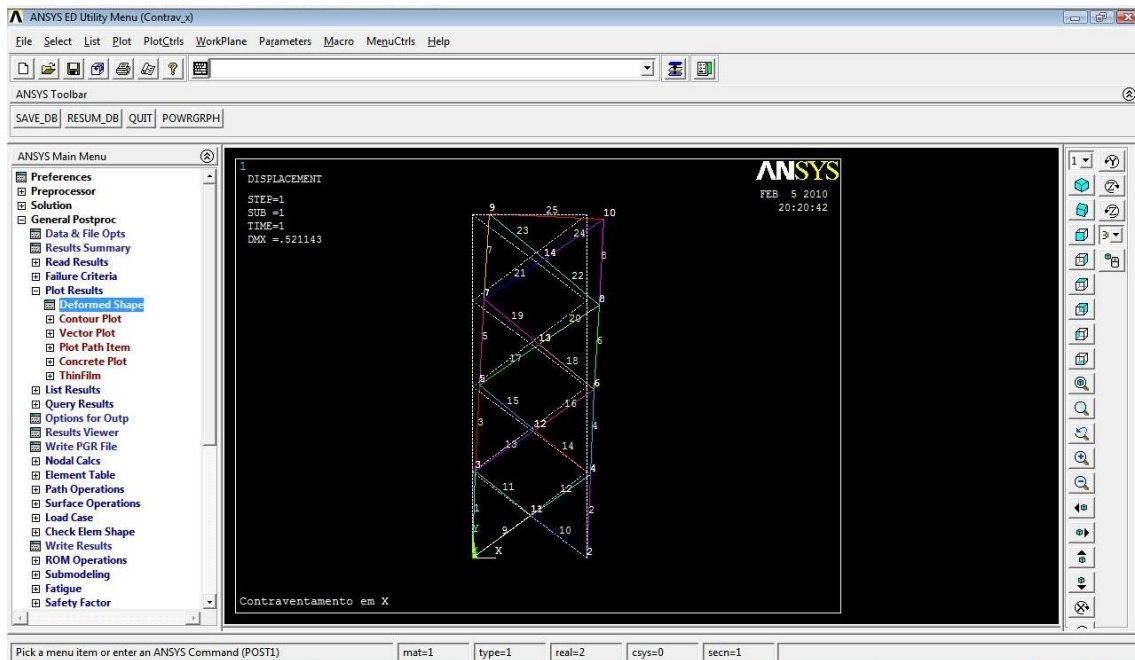
P

12. PÓS PROCESSAMENTO

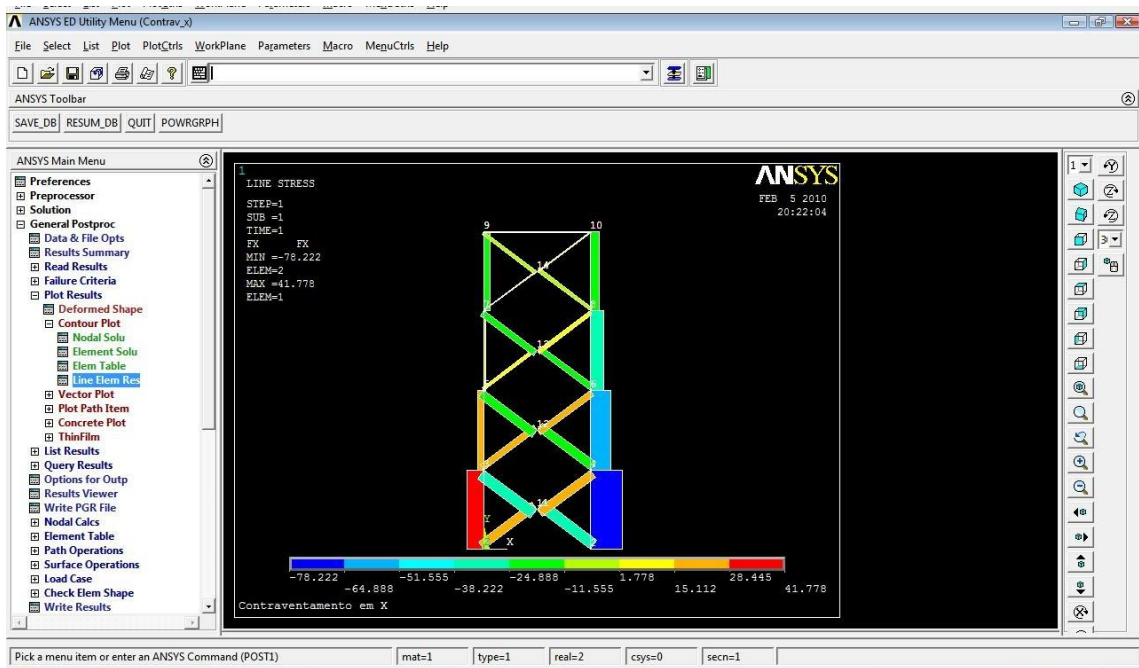
4.1. *Gera, lista e plota os resultados para o terceiro tipo de contraventamento:*

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Update” (atualiza a tabela para o terceiro tipo de contraventamento);
- ✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.

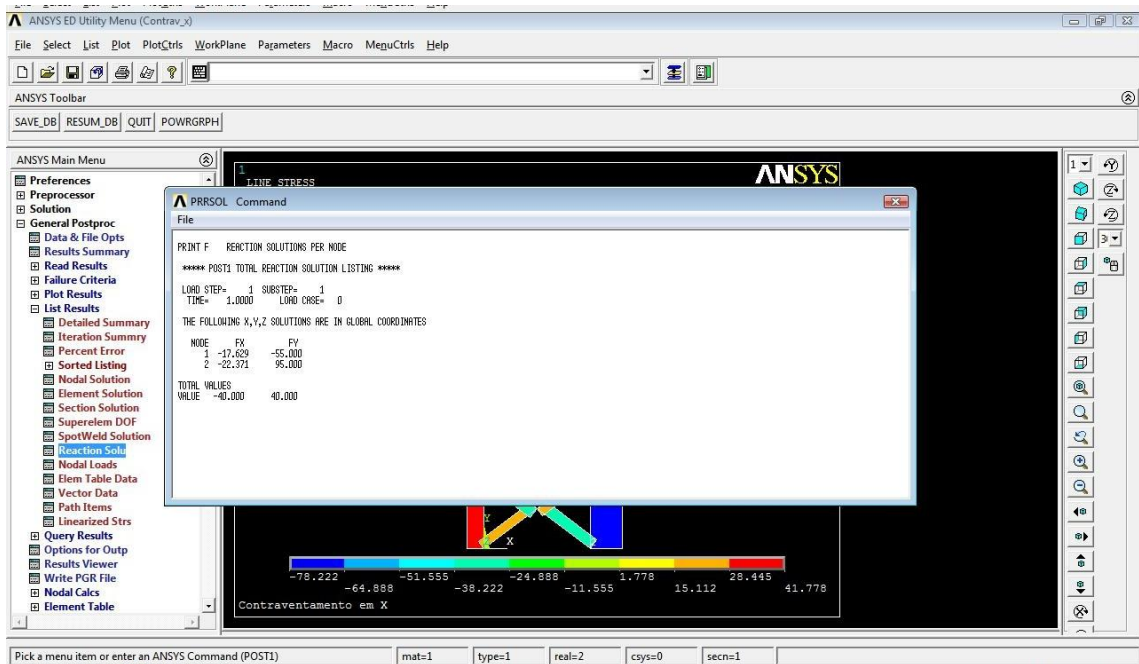
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, seleccionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;



- ✓ 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”;



RESULTADOS

Seguem os resultados do presente exemplo.

Para o primeiro caso de carga:

DESLOCAMENTOS NODAIS (nó 9)		
TIPO	U(X)	U(Y)
K	0,44358	-0,39466E-2
Diamante	0,52554	0,31573E-1
X	0,50329	0,31573E-1

REAÇÕES DE APOIO (kN)				
TIPO	NÓ 1		NÓ 2	
	FX	FY	FX	FY
K	-20	-55	-20	95
Diamante	-17,57	-55	-22,43	95
X	-17,629	-55	-22,371	95

ESFORÇOS NORMAIS NAS BARRAS			
BARRA	TIPO K	TIPO DIAMANTE	TIPO X
1	25	28,645	41,778
2	-65	-61,355	-78,222
3	2,5	28,645	15,722
4	-42,5	-61,355	-51,778
5	-23,5	-8,6446	-3,2216
6	-27,5	-23,645	-33,222
7	-20	-8,6446	-14,278
8	-20	-23,645	-21,778