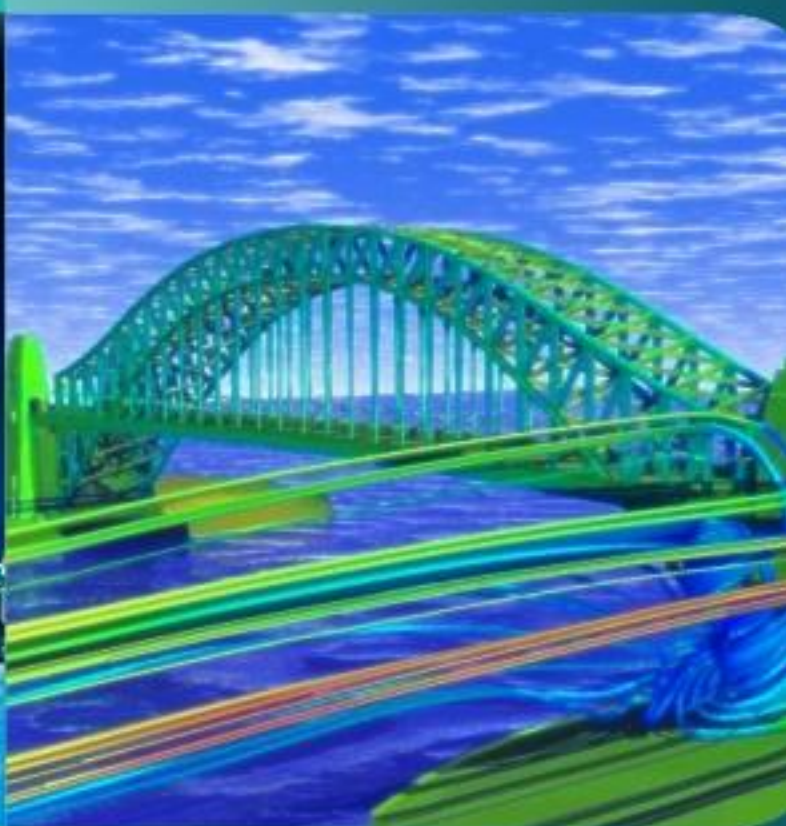




**2010**

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



**Prof<sup>a</sup>. Mildred B. Hecke**  
**Universidade Federal do Paraná**  
**Versão 1.0.0.0**



**ESTRUTURA COMPOSTA POR  
BARRAS E CABOS**

## ESTRUTURA COMPOSTA POR BARRAS E CABOS

### INTRODUÇÃO

A estrutura do presente exemplo é composta por barras submetidas à flexão e por um cabo, conforme mostra a figura abaixo, apresentado por Beer e Jonhson, 3a Edição, na referência Mecânica Vetorial para Engenheiros, Vol. 1 - Estática. Pedem-se as tensões no cabo e as reações nos apoios.

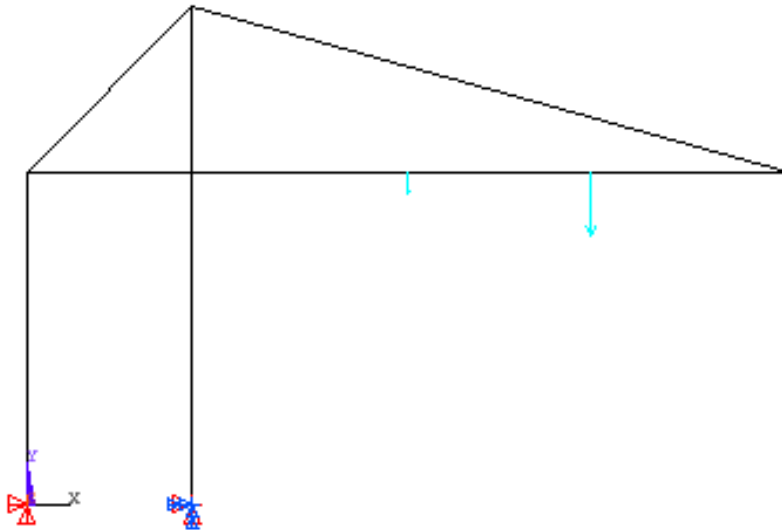


Figura 1 – Esquema do problema a ser solucionado.

Já que se trata de uma estrutura composta por vigas e cabos que só trabalharão à tração, utilizaremos os elementos BEAM4, BEAM44 e STIF10 em sua análise, com uma solução iterativa fixando em 3 o número de substeps. A figura a seguir mostra a malha de elementos finitos utilizada.

### PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

- Vigas;
  - $AREA = 0.562500E-2 \text{ m}^2$ ;
  - $IZZ = 0.263672E-5 \text{ m}^4$ ;
  - $IYY = 0.263672E-5 \text{ m}^4$ ;
- Cabos;
  - $AREA = 0.1E-2 \text{ m}^2$ ;
  - $ISTR = 0.1E-8$

### PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

- Módulo de elasticidade dos materiais:  $0.21E12 \text{ Pa}$ .

## CARGAS

- Nó 7  $F_y = -500 \text{ N}$ ;
- Nó 8  $F_y = -1500 \text{ N}$ .

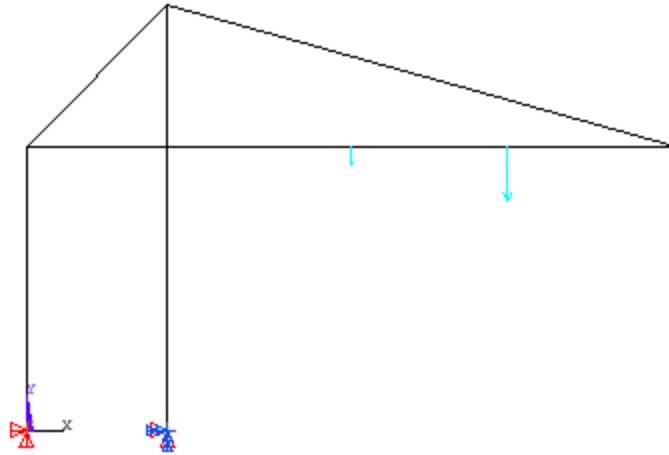


Figura 2 – Malha de elementos finitos utilizada.

## ANEXO

### A) BEAM 4 – Elemento de viga tridimensional elástica.

#### i. Descrição do elemento BEAM 4:

BEAM4 é um elemento uniaxial, tridimensional, linear com capacidades de atuar na tração, compressão, torção e flexão. O elemento tem 6 graus de liberdade por nó, sendo elas, 3 translações segundo os eixos  $x$  e  $z$ , e 3 rotações em torno de tais eixos.

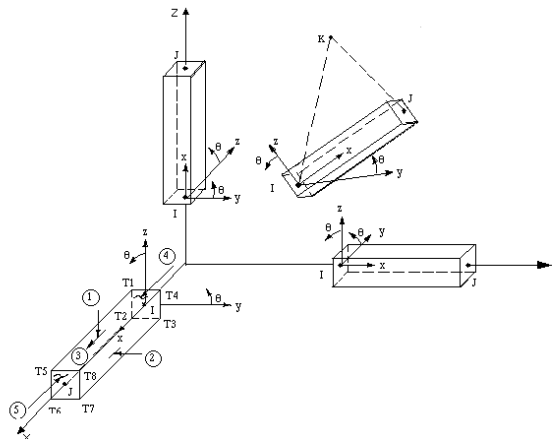


Figura 3 – Elemento BEAM 4.

- ii. **Características do elemento BEAM 4:**
- Nome na biblioteca do ANSYS ED 9.0:** BEAM 4;
  - KEYOPT (9) = N**, usado para informar o número N de pontos intermediários entre os nós i e j que se solicitam os resultados;
  - Nós:** 3 (i – j – k), sendo o nó k opcional;
  - Graus de liberdade:** 6 DOF - UX, UY, UZ, ROTX, ROTY e ROTZ, três translações segundo os eixos x y e z e três rotações ao redor dos eixos x, y e z, respectivamente;
  - Propriedades dos Materiais:** Comando MP, label, NSET, valor onde label é:
    - EX = Módulo de Elasticidade Longitudinal ou de Young  $E_{xx}$ ;
    - G = Módulo de Elasticidade Transversal;
    - ALPX = Coeficiente de dilatação térmica;
    - DENS = Densidade;
  - Constantes Geométricas:**
    - $R_1$  = área da seção transversal A;
    - $R_2$  = momento de inércia  $I_z$ ;
    - $R_3$  = momento de inércia  $I_y$ ;
    - $R_4$  = espessura na direção z;
    - $R_5$  = espessura na direção y;
    - $R_6$  = ângulo  $\theta$  de orientação;

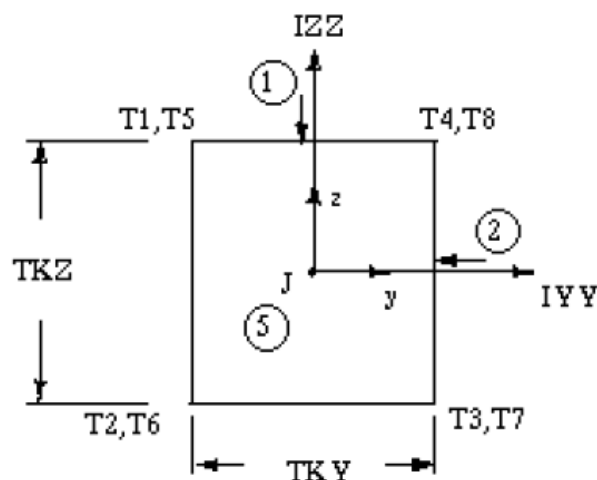


Figura 4 – Seção transversal.

- g. **Cargas:**
- Admite prescrição nos deslocamentos: comandos D, DSYM, DK;
  - Admite cargas concentradas nos nós: comandos F, FK;
  - Cargas distribuídas nos elementos: comando SFBEAM, label PRESS;
    - Load Key: 1 - sentido ij; direção  $-z$  normal;
    - Load Key: 2 - sentido ij; direção  $-y$  normal;
    - Load Key: 3 - sentido ij; direção  $+x$  tangente;

4. Load Key: 4 – sentido i; direção +x axial;
  5. Load Key: 5 – sentido j; direção -x axial;
- iv. Para inserção de cargas de inércia (por exemplo, peso próprio) utilizar ACEL;
- h. Orientação dos Elementos:** eixo xL é orientado do nó i para o nó j. Quando o elemento é fornecido utilizando-se a opção de 2 nós (isto é, não é fornecido o nó k), o ângulo q é medido no sentido anti-horário a partir do plano XG-YG. Portanto, a orientação default do eixo yL (para q=0) é automaticamente calculada como sendo paralela ao plano XG-YG. Para o caso onde o elemento é paralelo ao eixo ZG, o eixo yL é orientado paralelo ao eixo YG. Para o controle do usuário da orientação dos eixos, deve-se usar ou o ângulo q ou a opção do terceiro nó k. Se ambos forem definidos, a opção pelo terceiro nó terá preferência. O terceiro nó k, se usado, define um plano (com i e j) que conterá os eixos xL e zL. Este terceiro nó não necessariamente faz parte da estrutura.
- i. Resultados:** (os mais importantes fornecidos pelo programa):
- i. Deslocamentos e deformações: Para o KEYOPT(9)=0
    1. Esforço normal nas barras;
      - a. Nó inicial NXI=SMISC(1)
      - b. Nó final NXJ=SMISC(7)
    2. Esforço cortante;
      - a. Nó inicial QYI=SMISC(2)
      - b. Nó final QYJ=SMISC(8)
      - c. Nó inicial QZI=SMISC(3)
      - d. Nó final QZJ=SMISC(9)
    3. Momento torçor;
      - a. Nó inicial MTI=SMISC(4)
      - b. Nó final MTJ=SMISC(10)
    4. Momentos Fletores;
      - a. Nó inicial MYI=SMISC(5)
      - b. Nó final MYJ=SMISC(11)
      - c. Nó inicial MZI=SMISC(6)
      - d. Nó final MZJ=SMISC(12)
  - ii. Deslocamentos e deformações: Para o KEYOPT(9)=1
    1. Esforço normal nas barras;
      - a. Nó inicial NXI=SMISC(1)
      - b. Nó IL intermediário: NX1=SMISC(7)
      - c. Nó final NXJ=SMISC(13)
    2. Esforço cortante direção y<sub>i</sub>;
      - a. Nó inicial QYI=SMISC(2)
      - b. Nó IL intermediário: QY1=SMISC(8)
      - c. Nó final QYJ=SMISC(14)

3. Esforço cortante direção  $z_i$ ;
    - a. Nó inicial QZI=SMISC(3)
    - b. Nó IL intermediário: QZ1=SMISC(9)
    - c. Nó final QZJ=SMISC(15)
  4. Momento torçor;
    - a. Nó inicial MTI=SMISC(4)
    - b. Nó IL intermediário: MT1=SMISC(10)
    - c. Nó final MTJ=SMISC(16)
  5. Momentos Fletores em torno do eixo  $y_i$ ;
    - a. Nó inicial MYI=SMISC(5)
    - b. Nó IL intermediário: MY1=SMISC(11)
    - c. Nó final MYJ=SMISC(16)
  6. Momentos Fletores em torno do eixo  $z_i$ ;
    - a. Nó inicial MZI=SMISC(6)
    - b. Nó IL intermediário: MZ1=SMISC(12)
    - c. Nó final MYJ=SMISC(17)
- iii. E assim por diante para o KEYOPT(9)=3, 5, 7 e 9
- j. Restrições:**
- i. Comprimento do elemento deve ser positivo.
  - ii. Área da seção transversal não deve ser negativa;

## B) BEAM 44 – Elemento de viga tridimensional elástica com seção não simétrica.

### i. Descrição do elemento BEAM 44:

BEAM44 é um elemento uni axial, tridimensional, linear com capacidades de atuar na tração, compressão, torção e flexão. Este elemento permite uma seção não necessariamente simétrica, diferentes na seção inicial e final do elemento, permitindo ainda que o nó final tenha um trecho onde pode ser aplicado offset. Se estes efeitos não são necessários, o elemento BEAM4 deve ser utilizado. Está incluída a capacidade de resolver problemas com stress stiffening. Deformações devido ao cisalhamento e fundação elástica são efeitos também disponíveis neste elemento.

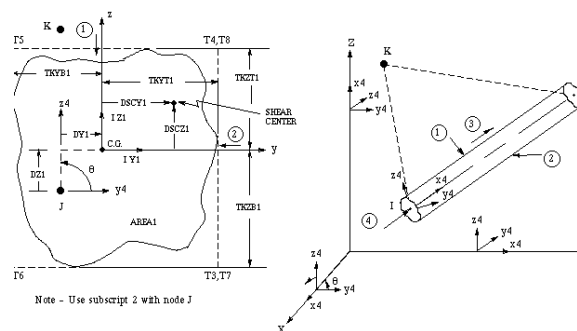


Figura 5 – Elemento BEAM 44.



- ii. **Características do elemento BEAM 44:**
- a. **Nome na biblioteca do ANSYS ED 9.0:** BEAM 44;
  - b. **KEYOPT (7)**
    - i. KEYOPT(7)=1 Libera rotação em torno de z para o nó I;
    - ii. KEYOPT(7)=10 Libera rotação em torno de y para o nó I;
    - iii. KEYOPT(7)=100 Libera rotação em torno de x para o nó I;
    - iv. KEYOPT(7)=1000 Libera translação na direção de z para o nó I;
    - v. KEYOPT(7)=10000 Libera translação na direção de y para o nó I;
    - vi. KEYOPT(7)=100000 Libera translação na direção de x para o nó I;
  - c. **KEYOPT (8):** Idem ao anterior, para nó j;
  - d. **KEYOPT (9):** N, usado para informar o número N de pontos intermediários entre os nós i e j que se solicitam os resultados;
  - e. **Nós:** 3 (i – j – k), sendo o nó k opcional;
  - f. **Graus de liberdade:** 6 DOF - UX, UY, UZ, ROTX, ROTY e ROTZ, três translações segundo os eixos x y e z e três rotações ao redor dos eixos x, y e z, respectivamente;
  - g. **Propriedades dos Materiais:** Comando MP, label, NSET, valor onde label é:
    - i. EX = Módulo de Elasticidade Longitudinal ou de Young  $E_{xx}$ ;
    - ii. GXY = Constante;
    - iii. ALPX = Coeficiente de dilatação térmica;
    - iv. DENS = Densidade;
  - h. **Constantes Geométricas:**
    - i.  $R_1 = \text{AREA } 1 = \text{área da seção transversal } A$ ;
    - ii.  $R_2 = \text{IZ1} = \text{momento de inércia } I_z \text{ do nó inicial}$ ;
    - iii.  $R_3 = \text{IY1} = \text{momento de inércia } I_y \text{ do nó inicial}$ ;
    - iv.  $R_4 = \text{TKBZ1}$ ;
    - v.  $R_5 = \text{TKYB1}$ ;
    - vi.  $R_6 = \text{IX1}$ ;
    - vii.  $R_7 = \text{AREA2} = \text{área da seção transversal do nó final}$ ;
    - viii.  $R_8 = \text{IZ2} = \text{momento de inércia } I_z \text{ do nó final}$ ;
    - ix.  $R_9 = \text{IY2} = \text{momento de inércia } I_y \text{ do nó final}$ ;
    - x.  $R_{10} = \text{TKZB2}$ ;
    - xi.  $R_{11} = \text{TKYB2}$ ;
    - xii.  $R_{12} = \text{IX2}$ ;
    - xiii.  $R_{13} = \text{DX1}$ ;
    - xiv.  $R_{14} = \text{DY1}$ ;
    - xv.  $R_{15} = \text{DZ1}$ ;
    - xvi.  $R_{16} = \text{DX2}$ ;
    - xvii.  $R_{17} = \text{DY2}$ ;
    - xviii.  $R_{18} = \text{DZ2}$ ;

- xix.  $R_{19} = \text{SHEARZ};$
- xx.  $R_{20} = \text{SHEARY};$
- xxi.  $R_{21} = \text{TKZT1};$
- xxii.  $R_{22} = \text{TKYT1};$
- xxiii.  $R_{23} = \text{TKZT2};$
- xxiv.  $R_{24} = \text{TKYT2};$
- xxv.  $R_{25} = \text{ARESZ1};$
- xxvi.  $R_{26} = \text{ARESY1};$
- xxvii.  $R_{27} = \text{ARESZ2};$
- xxviii.  $R_{28} = \text{ARESY2};$
- xxix.  $R_{29} = \text{TSF1};$
- xxx.  $R_{30} = \text{TSF2};$
- xxxi.  $R_{31} = \text{DSCZ1};$
- xxxii.  $R_{32} = \text{DSCY1};$
- xxxiii.  $R_{33} = \text{DSCZ2};$
- xxxiv.  $R_{34} = \text{DSCY2};$
- xxxv.  $R_{35} = \text{EFSZ};$
- xxxvi.  $R_{36} = \text{EFSY};$
- xxxvii. ...
- xxxviii.  $R_{55} = \text{ADDMAS}.$

**i. Cargas:**

- i. Admite prescrição nos deslocamentos: comandos D, DSYM, DK;
- ii. Admite cargas concentradas nos nós: comandos F, FK;
- iii. SFBEAM: direção: 1-IJ (direção de -z carga transversal distribuída), 2-IJ (direção de -y carga transversal distribuída), 3-IJ (direção axial de x carga tangencial distribuída), 4I (direção axial de x), 5-J (direção axial de -x)- use valor negativo para carga aplicada na direção oposta;
- iv. Para inserção de cargas de inércia (por exemplo, peso próprio) utilizar ACEL;

**j. Resultados:** (os mais importantes fornecidos pelo programa):

- i. Deslocamentos e deformações: Para o KEYOPT(9)=0
  - 1. Esforço normal nas barras;
    - a. Nó inicial NXI=SMISC(1)
    - b. Nó final NXJ=SMISC(7)
  - 2. Esforço cortante;
    - a. Nó inicial QYI=SMISC(2)
    - b. Nó final QYJ=SMISC(8)
    - c. Nó inicial QZI=SMISC(3)
    - d. Nó final QZJ=SMISC(9)
  - 3. Momento torçor;
    - a. Nó inicial MTI=SMISC(4)
    - b. Nó final MTJ=SMISC(10)



4. Momentos Fletores;

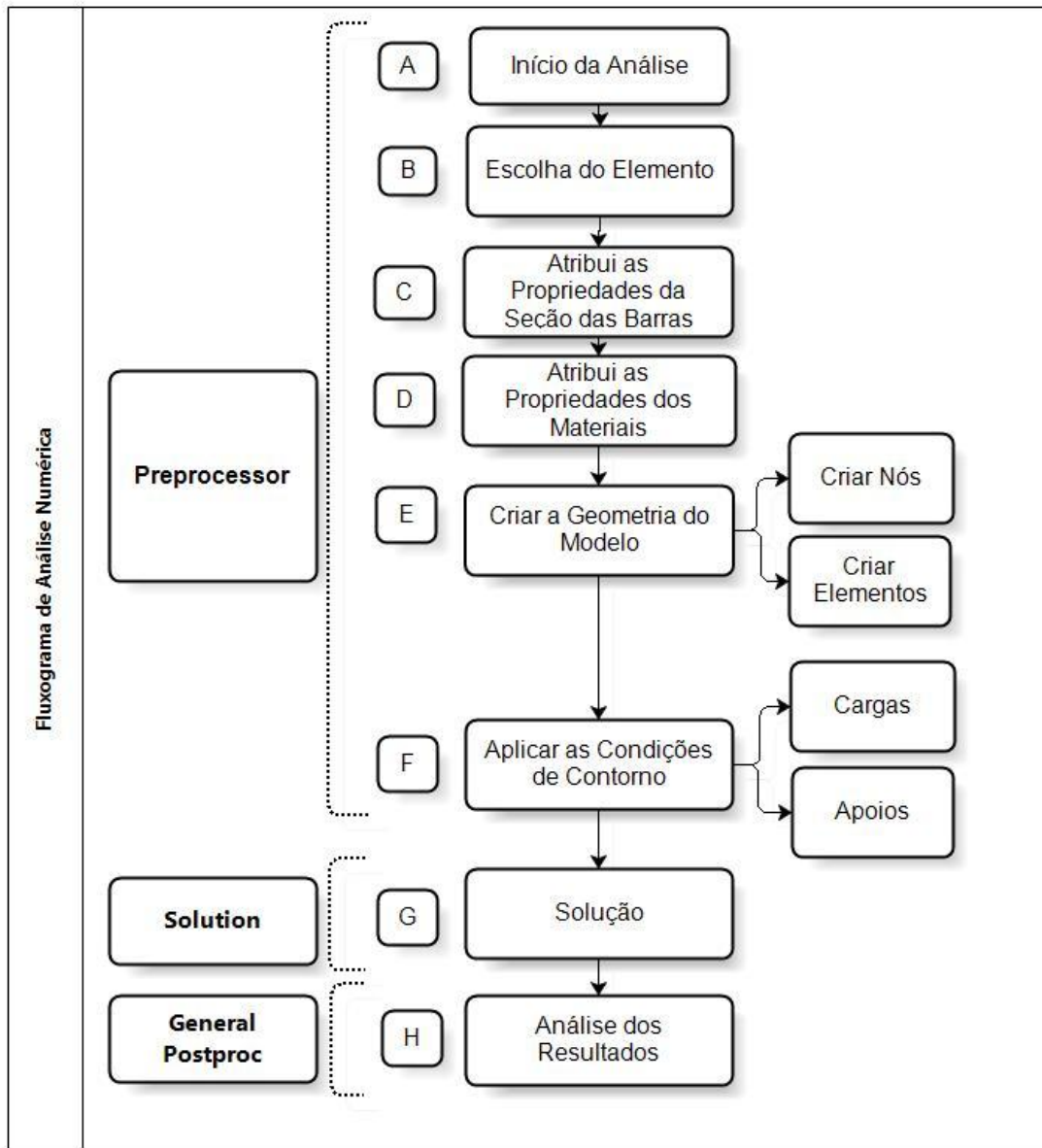
- a. Nó inicial MYI=SMISC(5)
- b. Nó final MYJ=SMISC(11)
- c. Nó inicial MZI=SMISC(6)
- d. Nó final MZJ=SMISC(12)

**k. Restrições:**

- i. Comprimento do elemento deve ser positivo.
- ii. Área da seção transversal não deve ser negativa.

## RESOLUÇÃO

O procedimento de resolução pode ser demonstrado no seguinte fluxograma:



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: “**Cabo 2 – Exemplo envolvendo vigas e cabos (P4.32) do livro do Beer&Johnson**”;
- ✓ 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: “**Cabo2**”;
- ✓ 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.

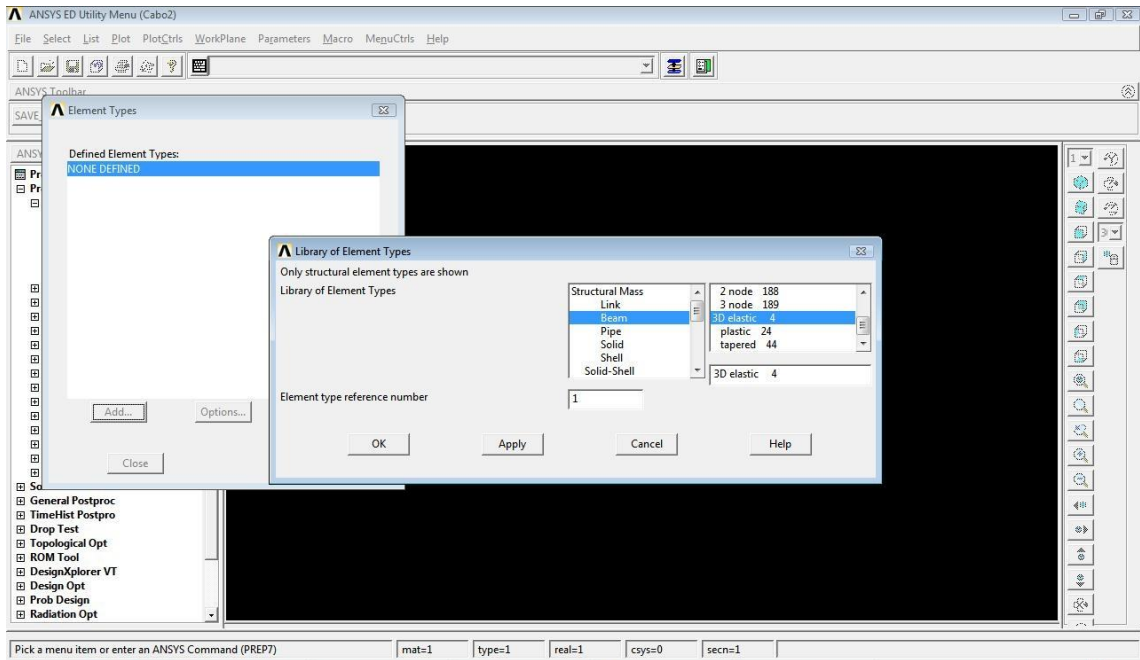
## 2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

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

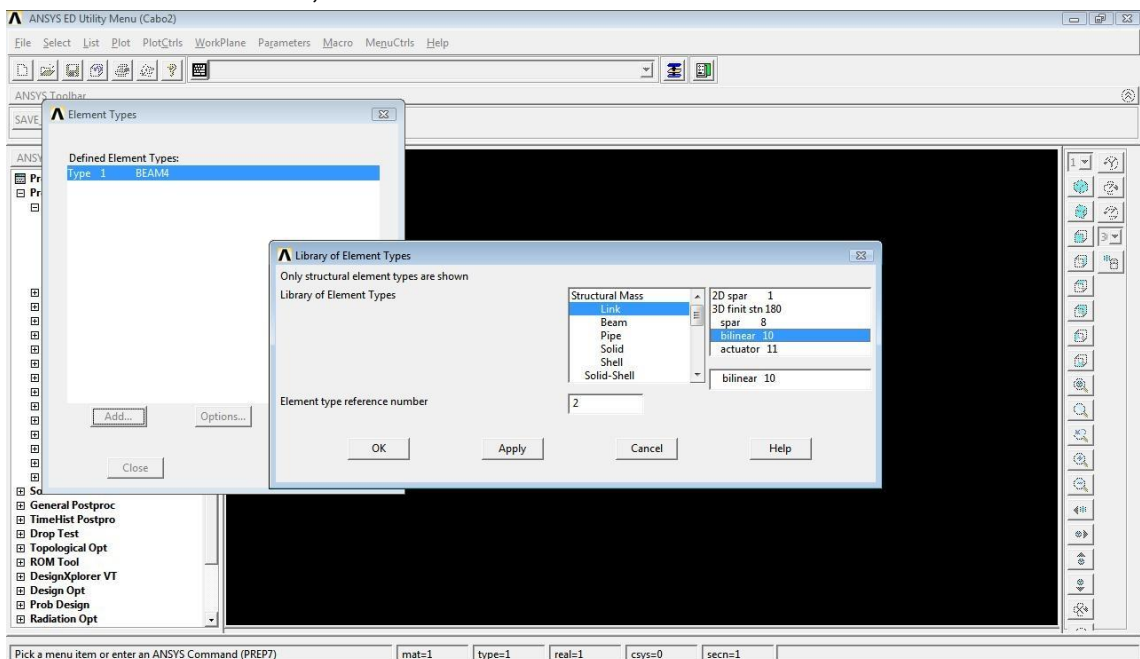
B

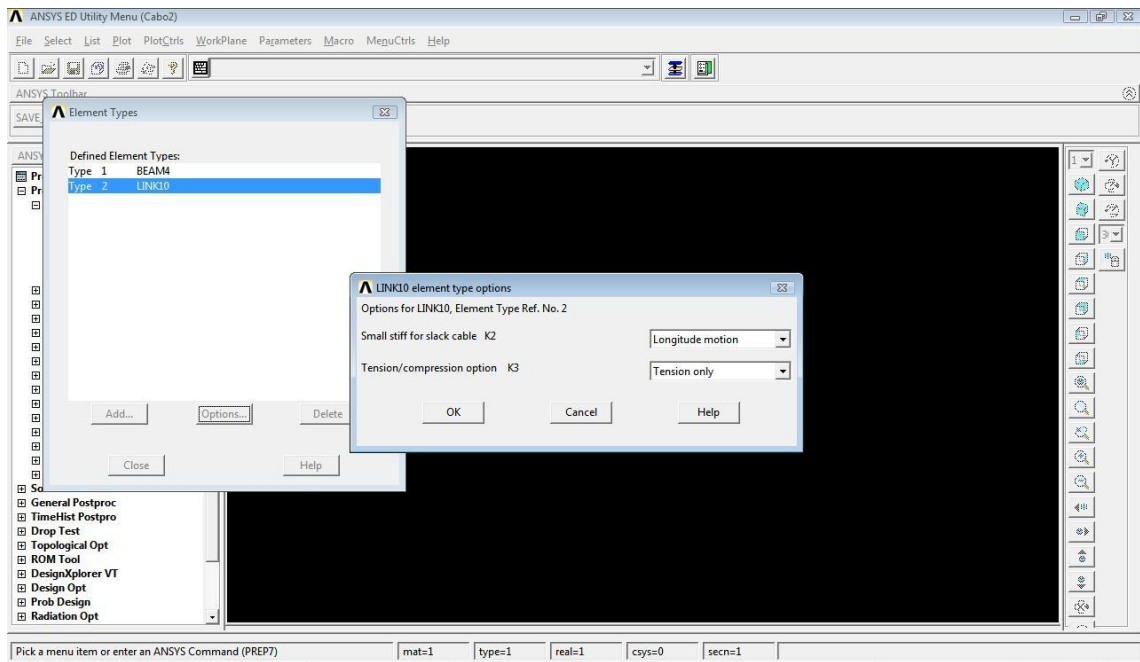
### 2.1. *Escolhe o tipo de elemento finito que será usado:*

- ✓ 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 “**BEAM**”, “**3D ELASTIC BEAM**” e clicar em “OK”.
- ✓ Clicar em “OK”;

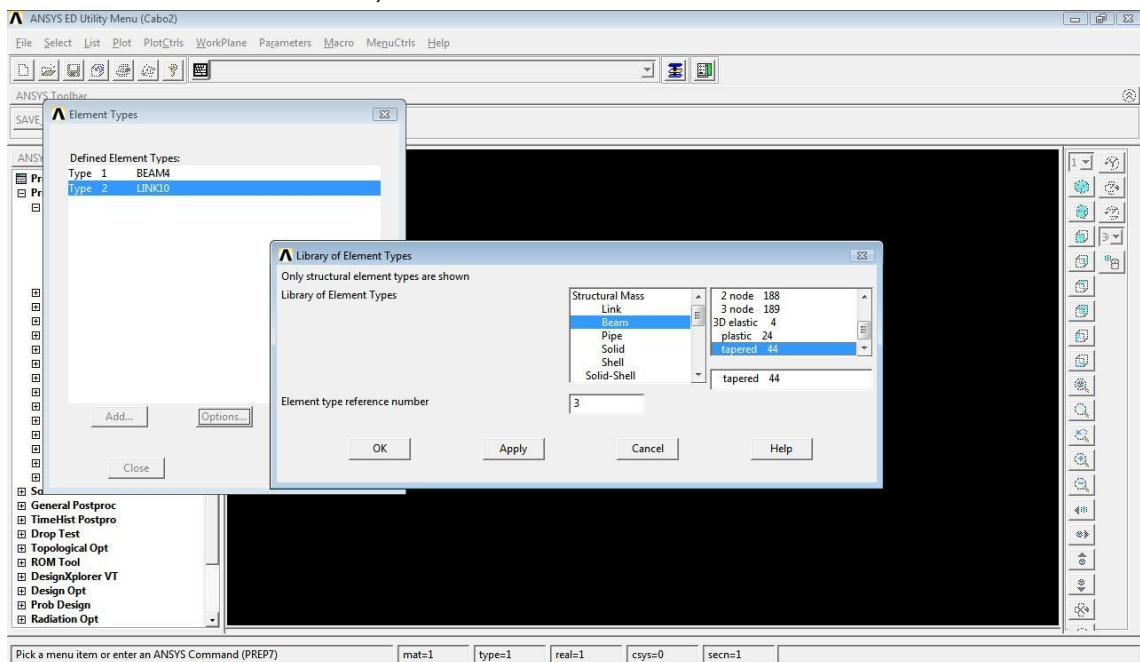


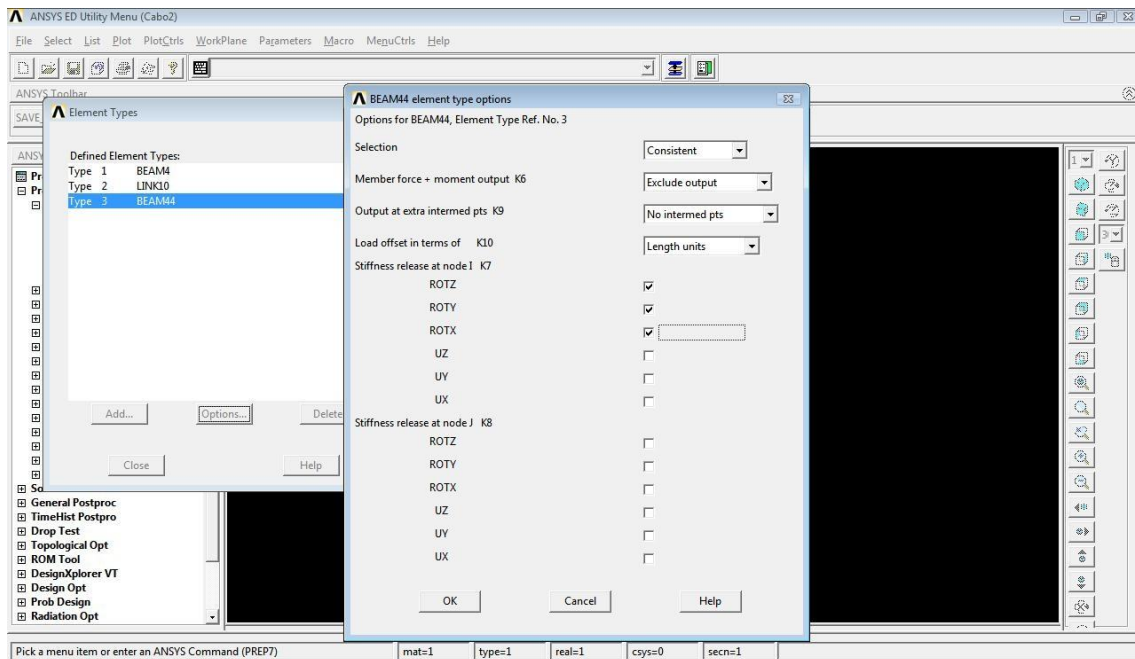
- ✓ Na janela “Element Types”, clicar em “Add...” para selecionar um novo elemento.
- ✓ Outra janela se abrirá, então no “Library of Element Types” selecionar o elemento “**Structural Link**”, “**3D bilinear 10**” e clicar em “OK”.
- ✓ Ainda na janela “Element Types”, clicar em “Options” (para o elemento LINK 10) e, na nova janela, selecionar;
  - Options for LINK 10                                      K2    **Longitudinal Motion**
  - Small Stiff for slack cable                                K3    **Tension only**
- ✓ Clicar em “OK”;





- ✓ Na janela “Element Types”, clicar em “Add...” para selecionar um novo elemento.
- ✓ Outra janela se abrirá, então no “Library of Element Types” selecionar o elemento “**BEAM**”, “**3D tapered 44**” e clicar em “OK”.
- ✓ Ainda na janela “Element Types”, clicar em “Options” (para o elemento BEAM 44) e, na nova janela, selecionar;
  - Stiffness released for node2 K7;
    - Ligar **ROTX, ROTY e ROTZ**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Clicar em “CLOSE”;



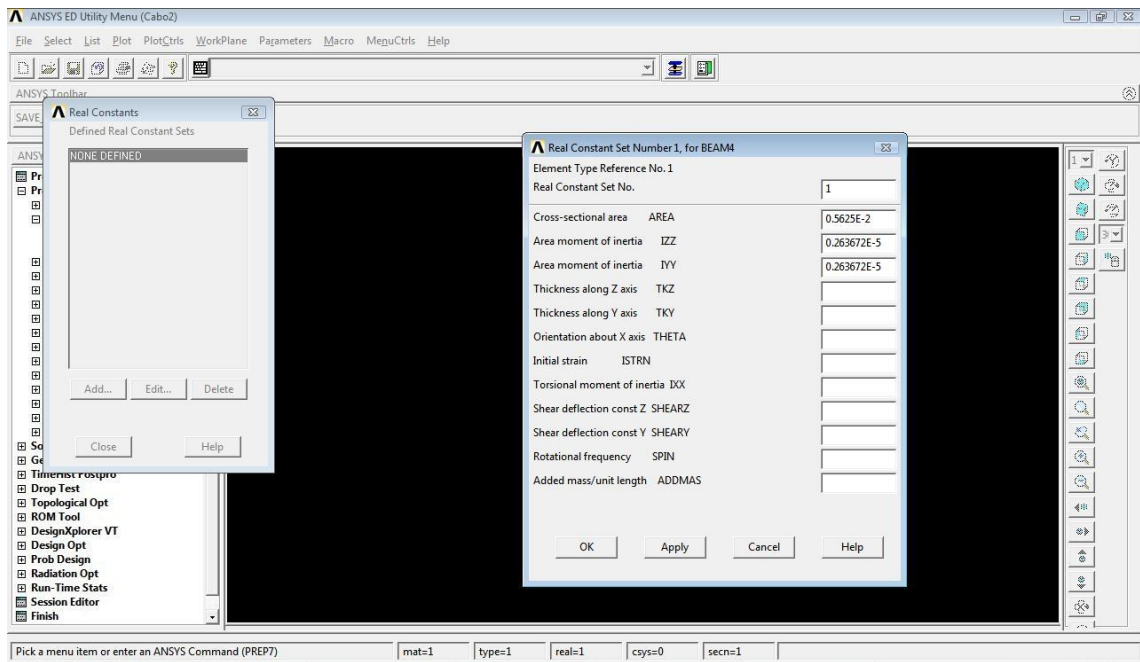


C

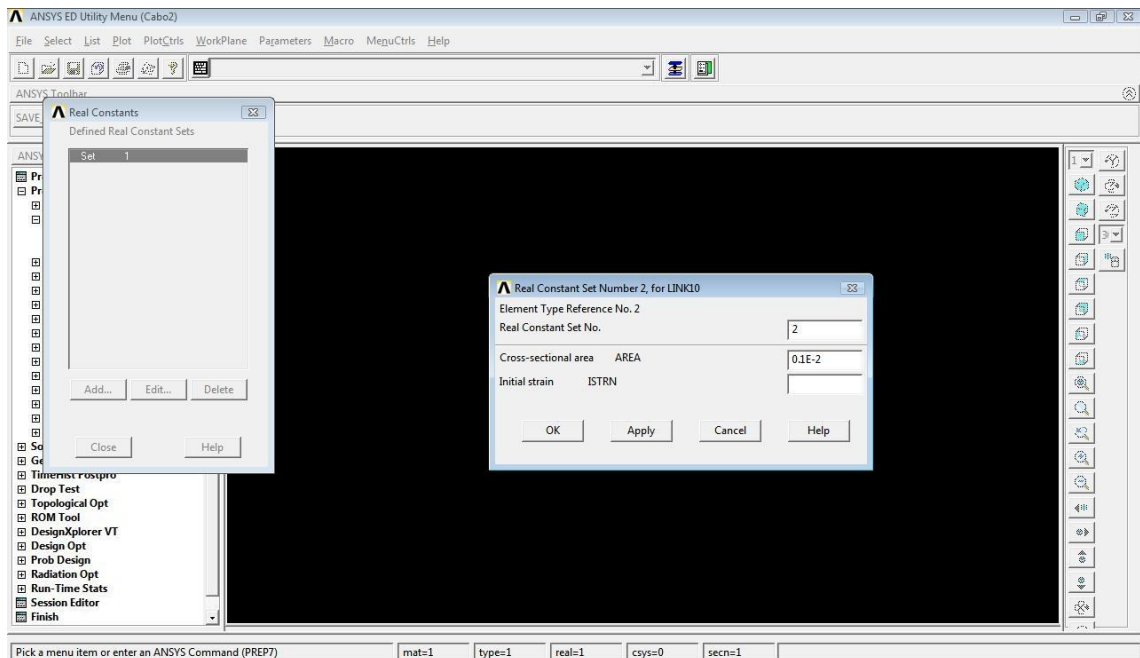
## 2.2. *Definir as constantes geométricas da seção das barras que compõem o modelo:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar novas constantes geométricas;
- ✓ 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 “BEAM 4” irá aparecer. Deve-se inserir:
  - Real Constant Set No. = 1
  - Cross-sectional Area AREA = **0.5625E-2**
  - Area moment of inertia IZZ = **0.263672E-5**
  - Area moment of inertia IYY = **0.263672E-5**
- ✓ Clicar em “OK”.



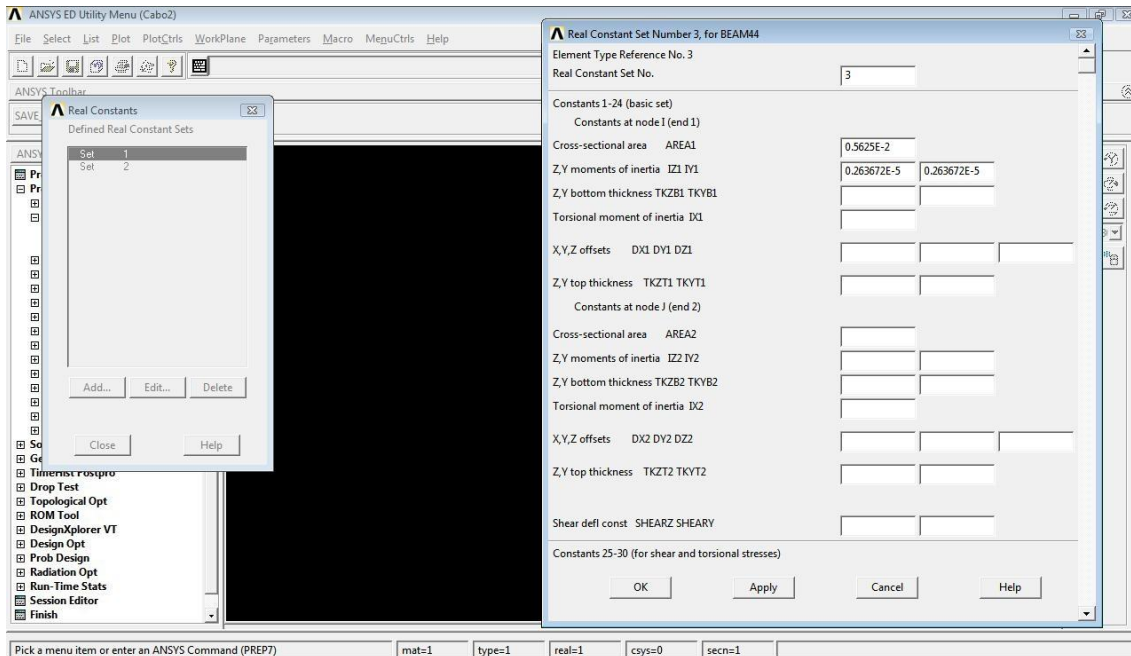


- ✓ Na janela “Element Type for Real Constants” selecionar o “LINK 10”;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 2, for “LINK 10” irá aparecer. Deve-se inserir:
  - Real Constant Set No. = 2
  - Cross-sectional Area AREA = 0.1E-2
- ✓ Clicar em “OK”.



- ✓ Na janela “Element Type for Real Constants” selecionar o “BEAM 44”;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 3, for “BEAM 44” irá aparecer. Deve-se inserir:
  - Real Constant Set No. = 3
  - Cross-sectional Area AREA1 = 0.5625E-2

- Area moment of inertia IZ1 = **0.263672E-5**
- Area moment of inertia IY1 = **0.263672E-5**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Clicar em “CLOSE”.



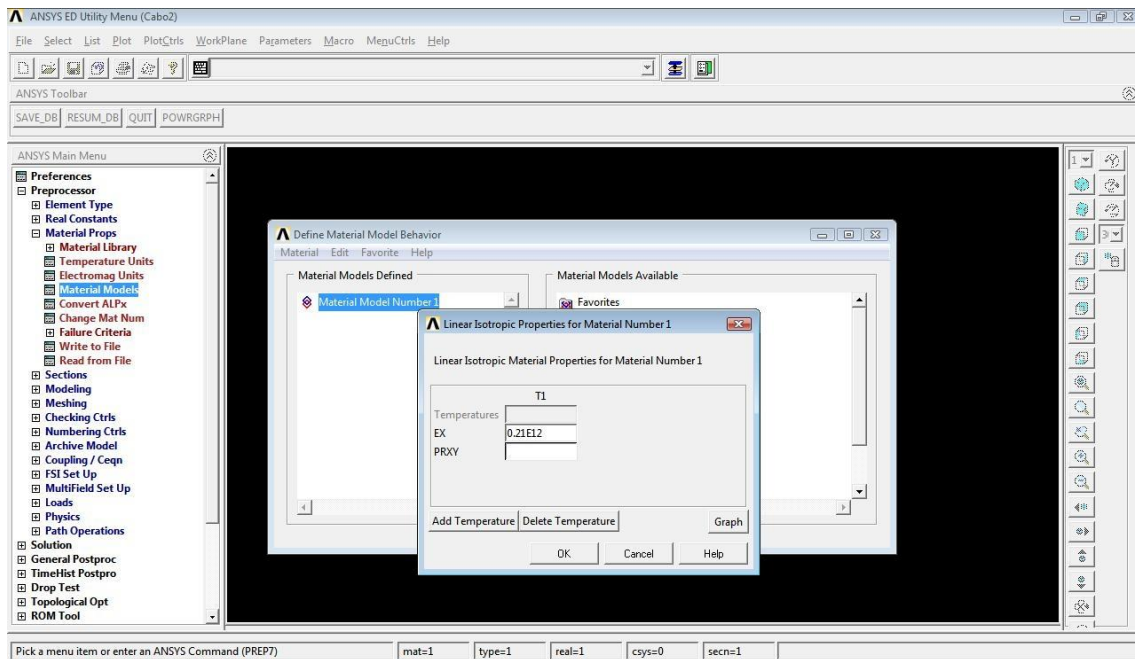
D

### 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 = **0.21E12**;

- ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.



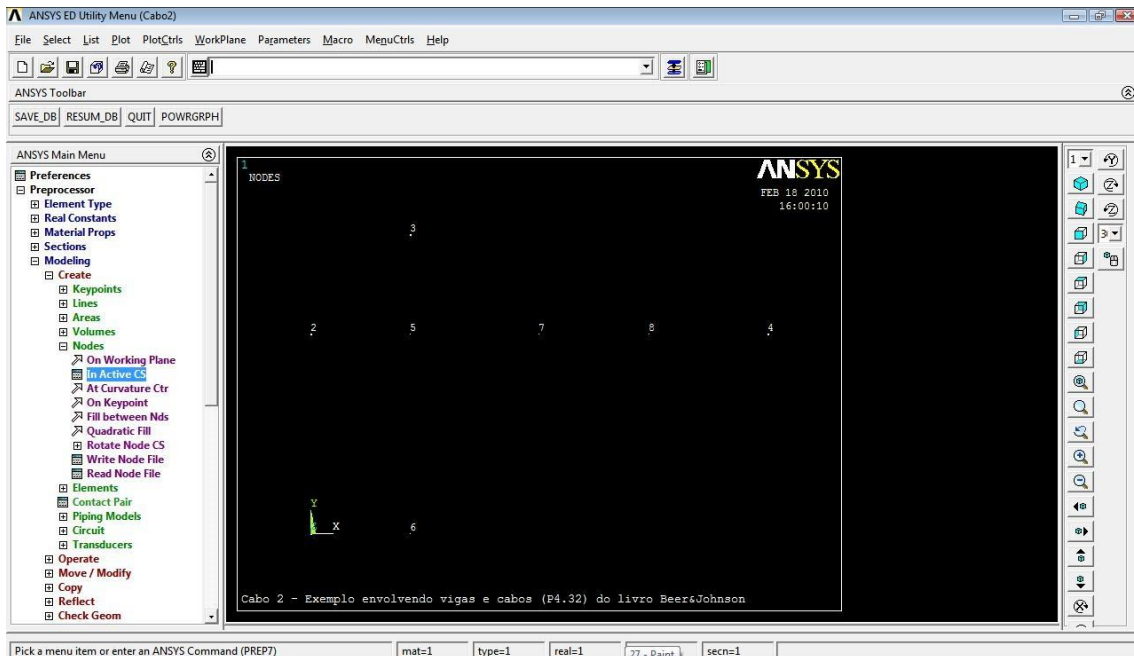
E

## 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 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 : **2;**
  - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0            Y = 3;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
  - NODE Node Number : **3;**
  - X,Y,Z Location in active CS : **X = 1.5        Y = 4.5;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
  - NODE Node Number : **4;**
  - X,Y,Z Location in active CS : **X = 6.9        Y = 3;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
  - NODE Node Number : **5;**

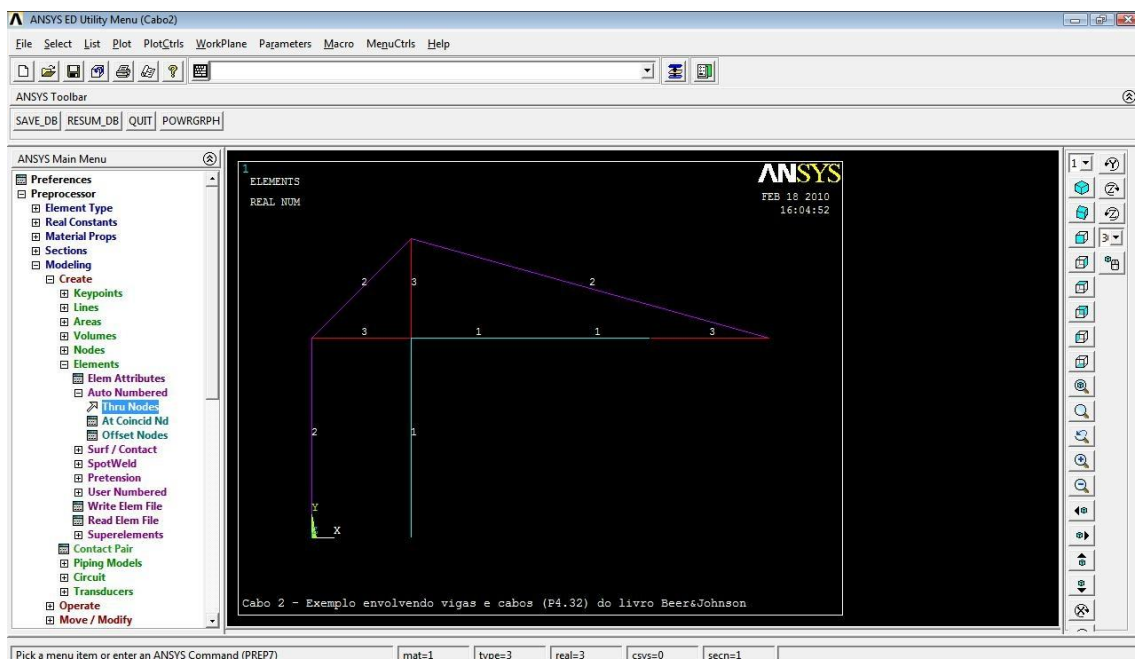
- X,Y,Z Location in active CS :     **X = 1.5**     **Y = 3;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
  - NODE           Node Number :     **6;**
  - X,Y,Z Location in active CS :     **X = 1.5**     **Y = 0;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
  - NODE           Node Number :     **7;**
  - X,Y,Z Location in active CS :     **X = 3.45**     **Y = 3;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
  - NODE           Node Number :     **8;**
  - X,Y,Z Location in active CS :     **X = 5.1**     **Y = 3;**
- ✓ Clicar em “OK”;



#### 2.4.2. Cria os elementos:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para selecionar qual dos atributos definidos serão introduzidos nos elementos a serem criados:
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
  - TYPE            **1**
  - MAT             **1**
  - REAL            **1**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Apontar os nós **5 e 6** e clicar em “APPLY”;

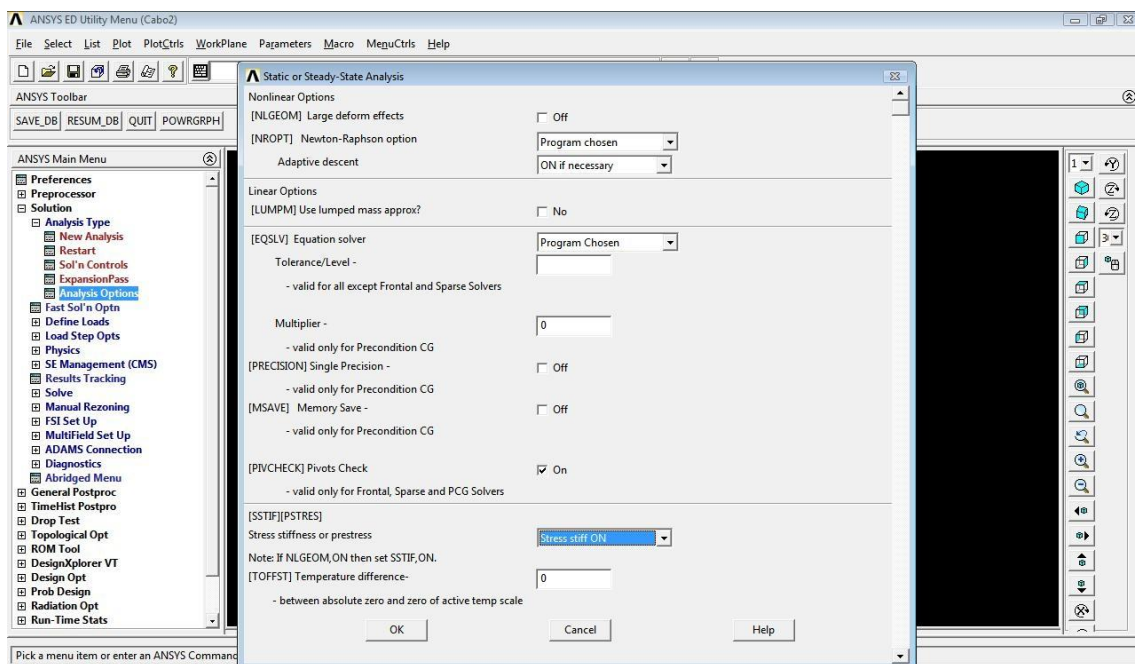
- ✓ Apontar os nós **5 e 7** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **7 e 8** e clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para selecionar qual dos atributos definidos serão introduzidos nos elementos a serem criados:
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
  - TYPE                   **2**
  - MAT                      **1**
  - REAL                    **2**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Apontar os nós **1 e 2** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **2 e 3** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **3 e 4** e clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para selecionar qual dos atributos definidos serão introduzidos nos elementos a serem criados:
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
  - TYPE                    **3**
  - MAT                      **1**
  - REAL                    **3**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Apontar os nós **2 e 5** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **3 e 5** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **4 e 8** e clicar em “OK”;



## 2.5. Aplicar as condições de contorno:

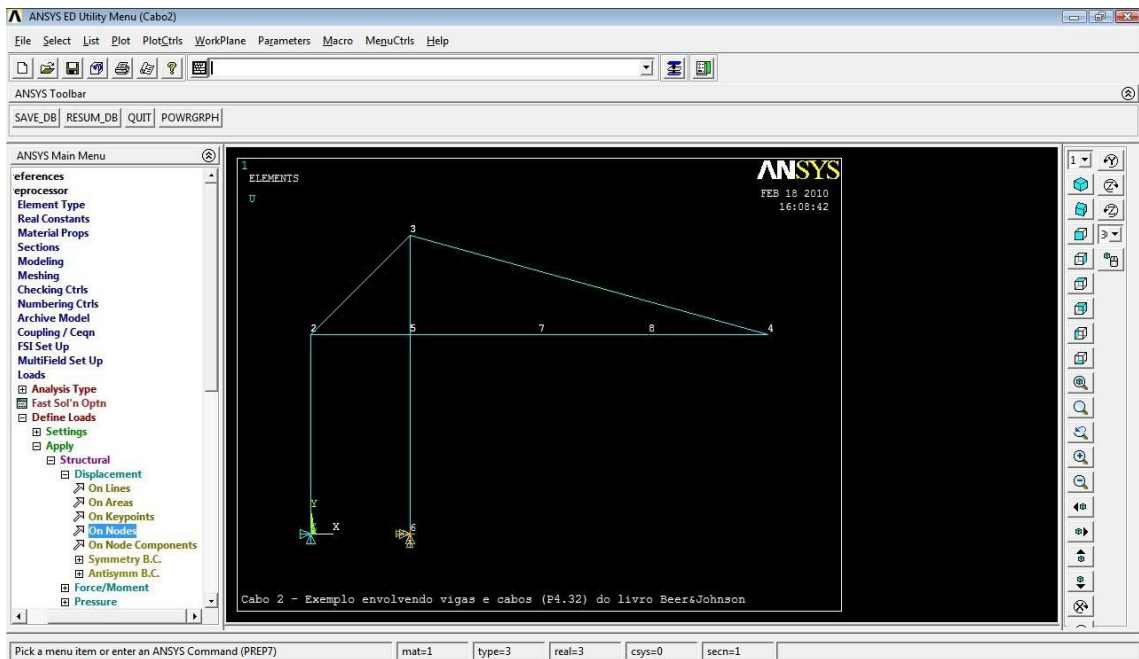
### 2.5.1. Fornece condição de contorno:

- ✓ Dentro do “Solution” clicar em “Unabridged Menu”;
- ✓ Ainda dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Analysis Options”;
- ✓ Na janela “Static or Steady-State Analysis” selecionar:
  - [SSTIF][PSTRES]
  - Stress stiffness or prestress      **Stress Stiff ON;**
- ✓ Clicar em “OK”;



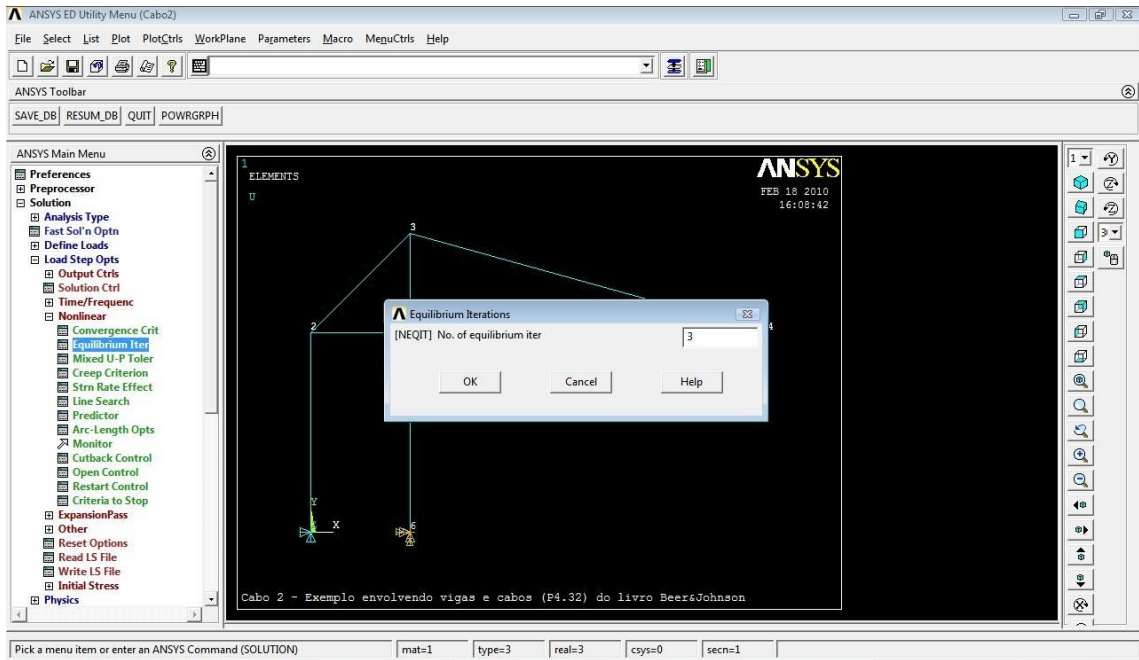
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir apontar o nó 1 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “UX, UY e UZ” e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela que abrir apontar o nó 6 e clicar em “OK”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “ALL DOF” e clicar em “OK”;



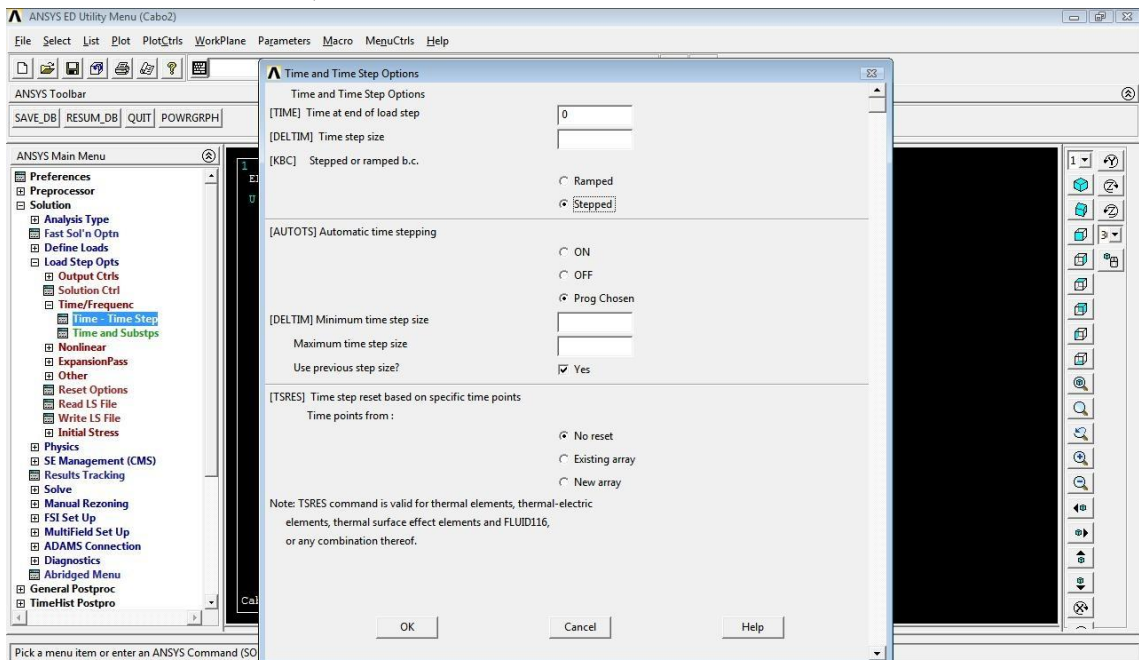


### 2.5.2. Aplicar as cargas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar o nó **7** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela inserir:
  - Direction of força/mom **FY**
  - VALUE Force/moment value **-500**
- ✓ Clicar em “APPLY”.
- ✓ Apontar o nó **8** e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela inserir:
  - Direction of força/mom **FY**
  - VALUE Force/moment value **-1500**
- ✓ Clicar em “OK”.
  
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Nonlinear”, “Equilibrium Iter”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
  - [NEQIT] Número de iterações de equilíbrio **3**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Time Frequenc”, “Time & Substep Options”;
- ✓ Na nova janela selecionar:
  - [KBC] Stepped or ramped b.c.                      **Stepped**
- ✓ Clicar em “OK”;



### 2.5.3. Salvando dados no arquivo Cabo2.db

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE\_DB”.

G

### 3. SOLUÇÃO

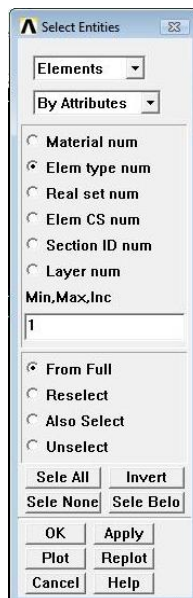
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS”;
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
  
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE\_DB” para salvar os dados mais a solução no arquivo.

H

### 4. PÓS PROCESSAMENTO

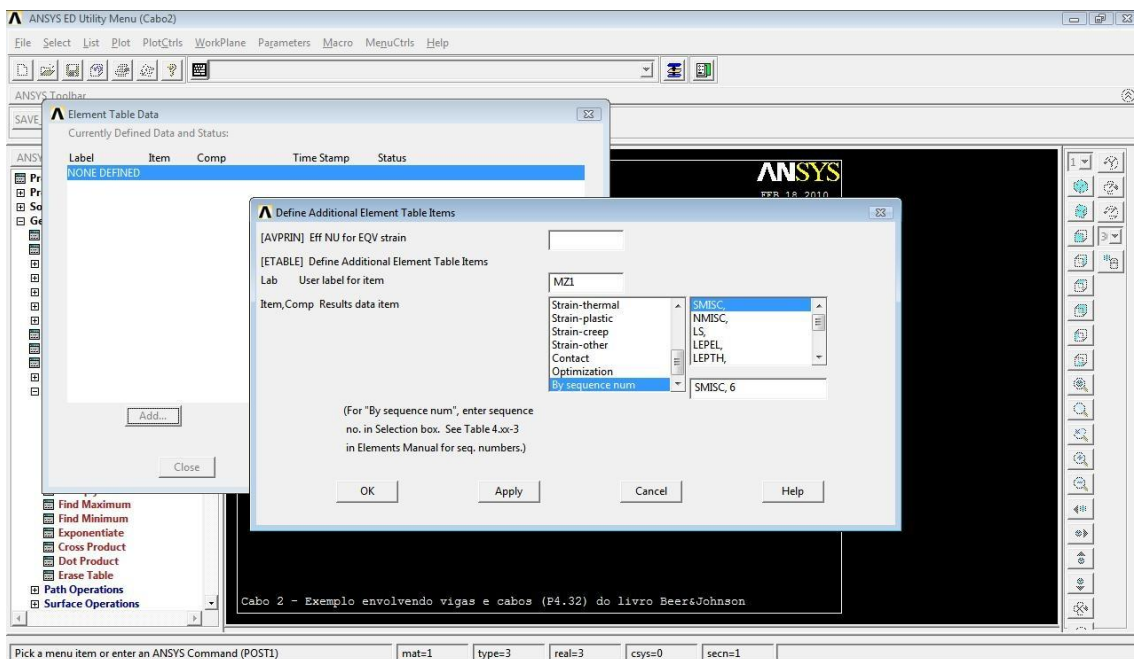
#### 4.1. Gera, lista e plota os resultados:

- ✓ Selecionar elementos do tipo 1 (Viga 3D) para plotar os resultados desse elemento. No “Ansys Utility Menu”, clicar em “Select”, “Entities”.
- ✓ Na nova janela selecionar:
  - **Elements;**
  - **By Attributes;**
  - **Elem type num;**
  - Min, Max, Inc **1**
- ✓ Clicar em “Replot” e em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Add”;
- ✓ Na nova janela, definir (momentos fletores em Z):
  - LAB **MZI**
  - Item, comp **By sequence number** **SMISC**  
**SMISC,6**

- ✓ Clicar em “OK”.



- ✓ Na janela “Element Table Data”, clicar em “Add” e definir (momentos fletores em Z):

- LAB **MZJ**
- Item, comp By sequence number **SMISC SMISC,12**

- ✓ Clicar em “OK”.

- ✓ Na janela “Element Table Data”, clicar em “Add” e definir (esforços normais):

- LAB **FXI**
- Item, comp By sequence number **SMISC SMISC,1**

- ✓ Clicar em “OK”.

- ✓ Na janela “Element Table Data”, clicar em “Add” e definir (esforços normais):

- LAB **FXJ**
- Item, comp By sequence number **SMISC SMISC,7**

- ✓ Clicar em “OK”.

- ✓ Na janela “Element Table Data”, clicar em “Add” e definir (esforços cortantes):

- LAB **FYI**
- Item, comp By sequence number **SMISC SMISC,2**

- ✓ Clicar em “OK”.

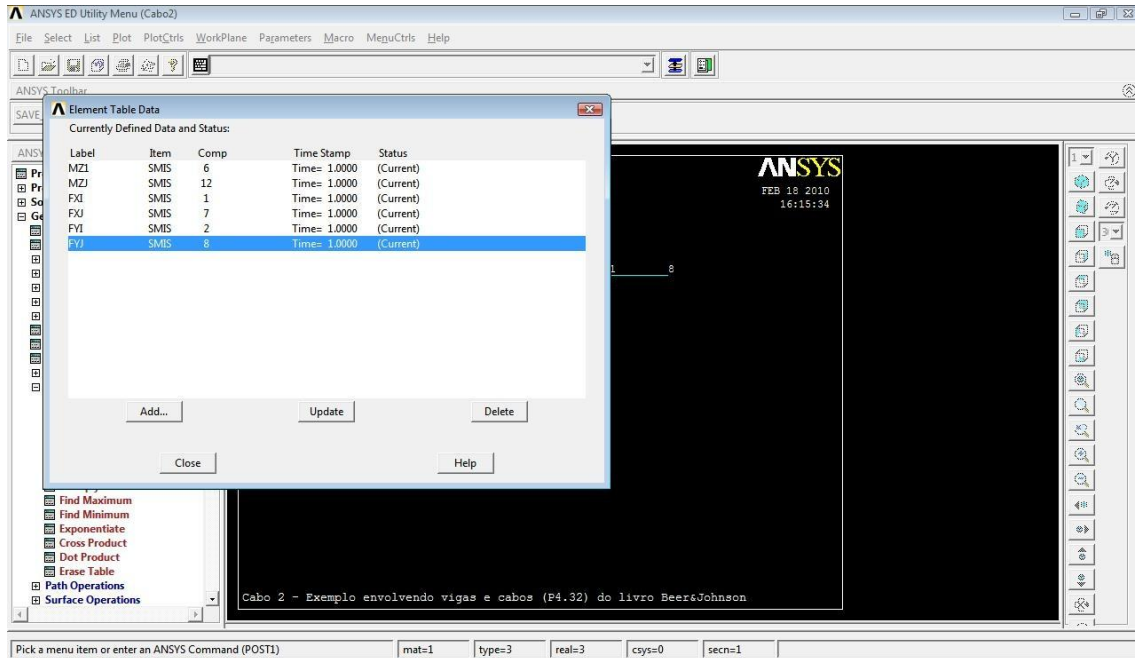
- ✓ Na janela “Element Table Data”, clicar em “Add” e definir (esforços cortantes):

- LAB
- Item, comp

**FYJ**  
By sequence number

**SMISC**  
**SMISC,8**

✓ Clicar em “OK”.



✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.

✓ Da mesma forma, selecionar elementos do tipo 2 (Cabo Element Table) para plotar os resultados desse elemento.

✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Add”;

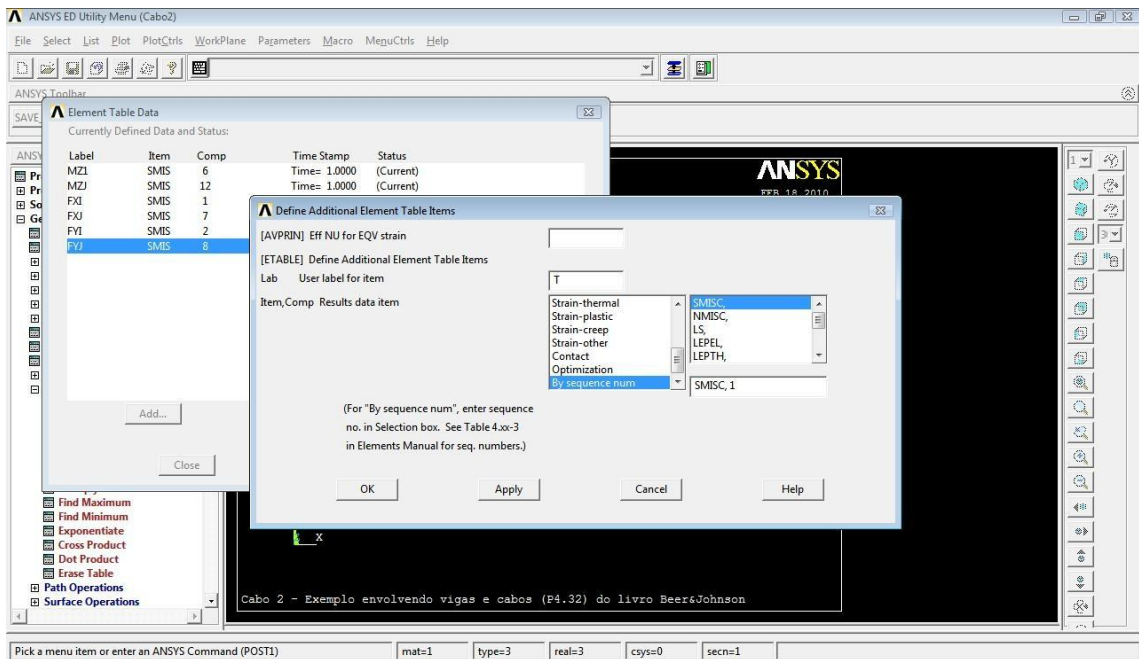
✓ Na nova janela, definir (tração no cabo):

- LAB
- Item, comp

**T**  
By sequence number

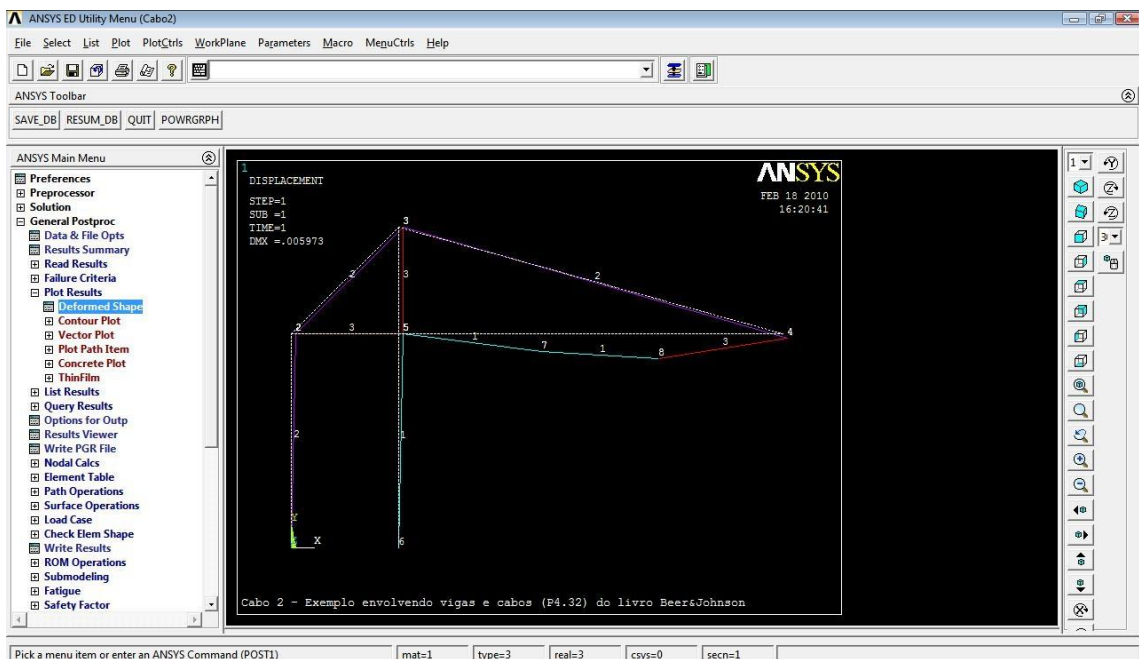
**SMISC**  
**SMISC,1**

✓ Clicar em “OK”.



LISTAR OS RESULTADOS PARA O ESFORÇO NORMAL, CORTANTE E MOMENTO FLETOR PARA O ELEMENTO 1 E O ESFORÇO NORMAL PARA O ELEMENTO 2.

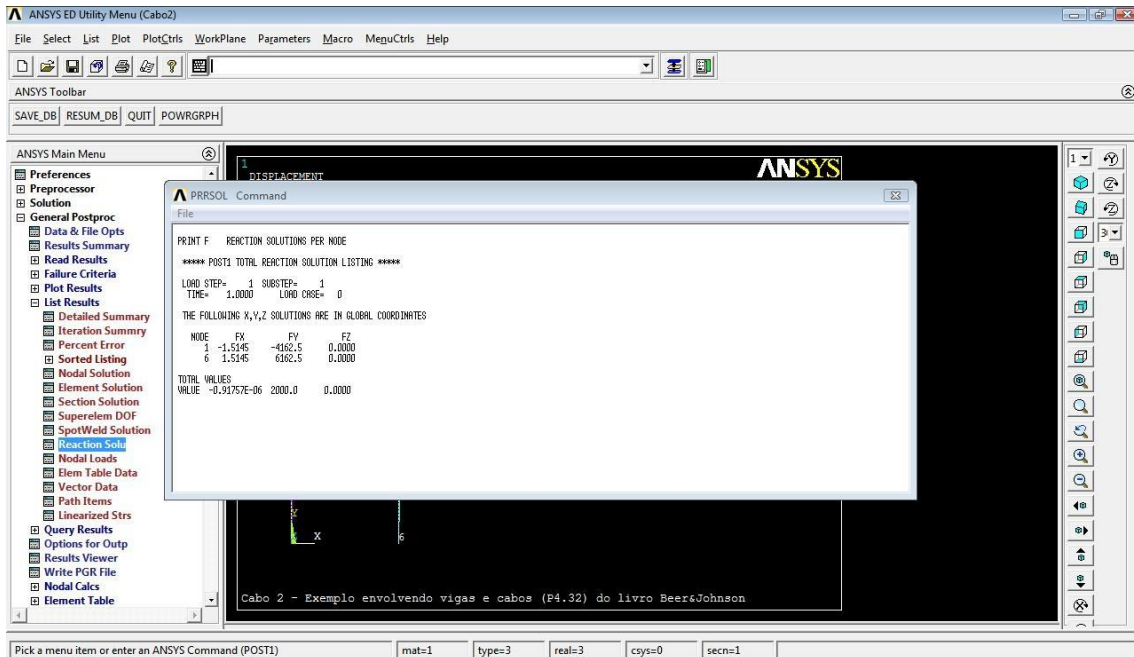
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;



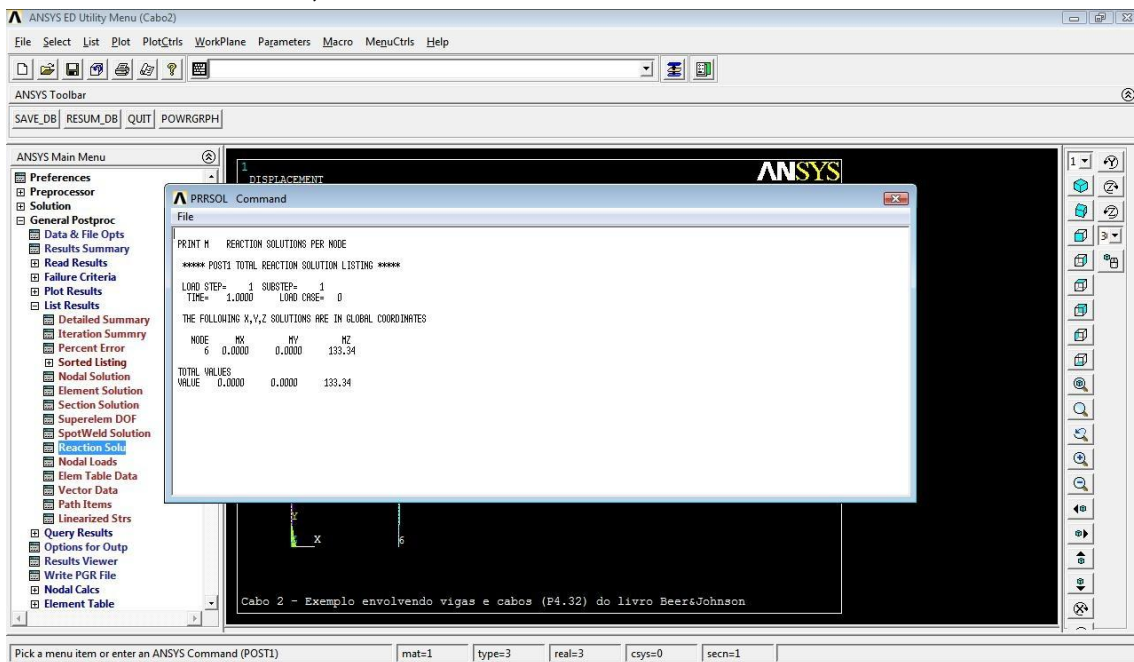
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;



- ✓ 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”, “Reaction Solution” para listar o momento;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
  - Lab All Struc Mome M
- ✓ 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".

### RESULTADOS

REAÇÕES NODAIS E MOMENTOS			
NÓ	R(X)	F(Y)	M(Z)
1	-1.5145	-4162,5	
6	1.5145	6162,5	133,34