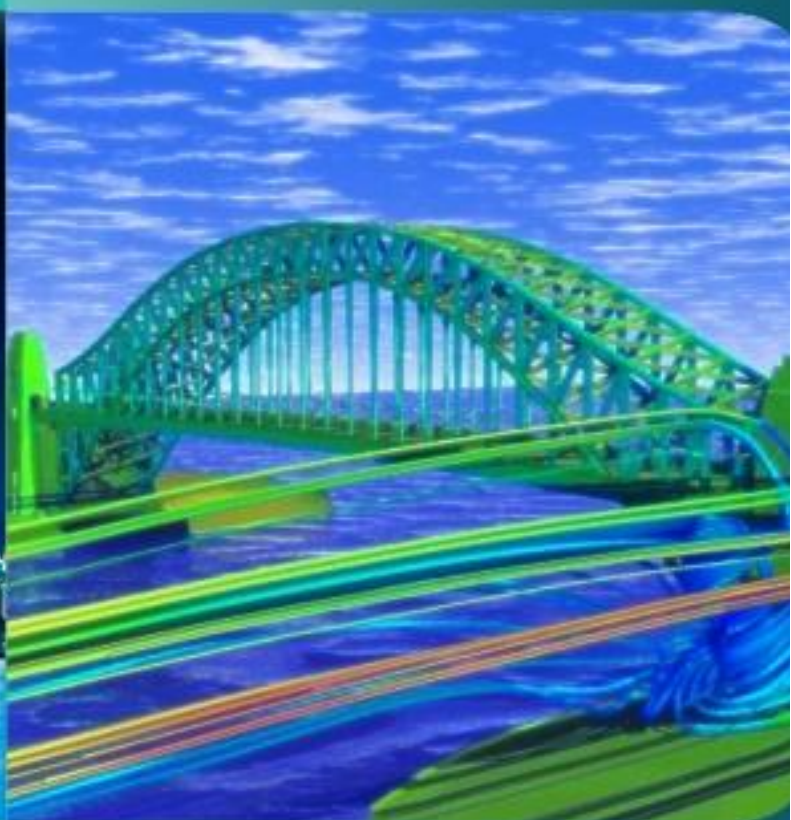




2010

**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 VIGA
PAREDE COM ABERTURA**

ESTUDO DE UMA VIGA PAREDE COM ABERTURA

INTRODUÇÃO

O objetivo deste exemplo é a verificação do comportamento estrutural de uma viga parede com abertura. A estrutura a ser analisada corresponde a uma viga de concreto armado cuja espessura é pequena se comparada às outras dimensões (altura e comprimento). Esta viga possui uma abertura para a instalação de uma porta. A figura 1 mostra esquematicamente tal estrutura.

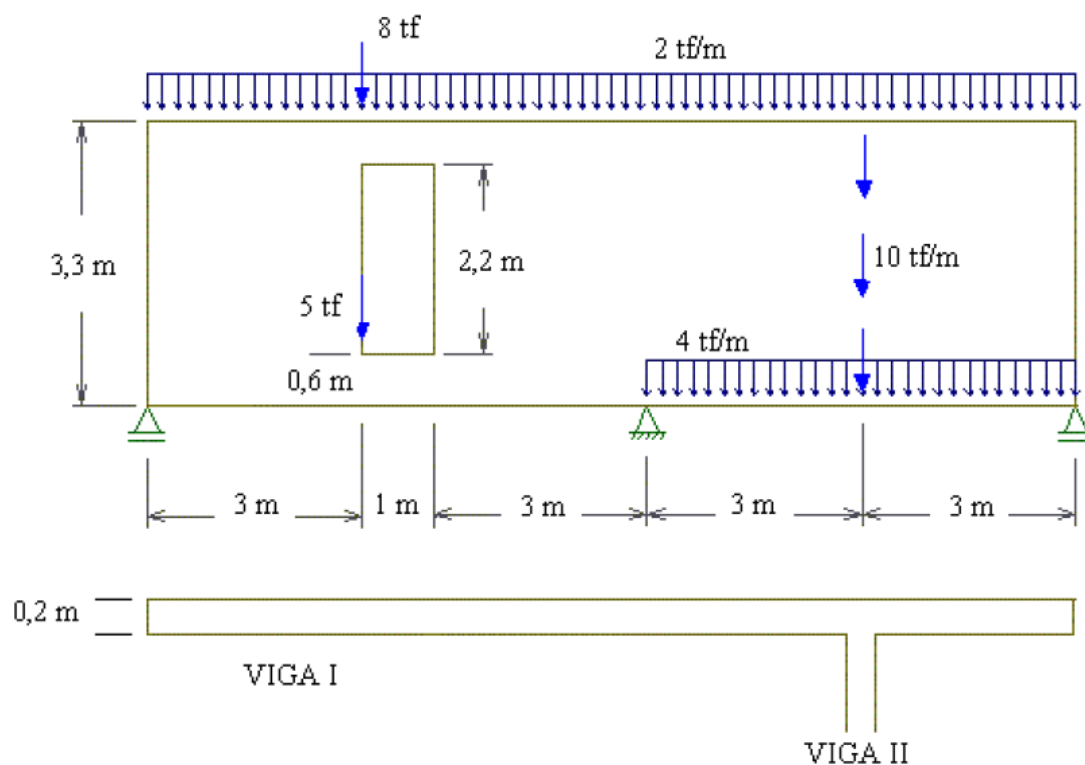


Figura 1 – Esquema da viga parede.

Trata-se de uma estrutura tridimensional, porém, adotando-se algumas aproximações aplicáveis a esse problema, a viga pode ser analisada através de um modelo bidimensional. Como já mencionamos, a viga possui altura e comprimento predominantes sobre a outra dimensão (espessura). Todos os carregamentos podem ser considerados como aplicados no plano médio da viga parede, que corresponde ao plano vertical que intercepta a viga na metade de sua espessura. As cargas da viga e das lajes suportadas pela viga parede são consideradas como cargas concentradas e distribuídas uniformemente. A influência da viga II será considerada, de forma aproximada, como uma carga distribuída uniformemente ao longo da altura. Os apoios sobre os pilares serão considerados, de forma aproximada, como bilaterais e pontuais.

Adotamos um sistema de coordenadas cujo plano xy coincide com o plano médio da viga parede e cujo eixo z coincide com a direção normal a este plano. Verificamos que nestas condições a componente de tensão σ_z ao longo

do eixo z é nula embora a deformação ε_z seja diferente de zero. As demais componentes de tensão σ_x , σ_y e σ_{xy} , no plano xy, são não nulas. Estas são as características de um Estado Plano de Tensões, que pode ser analisado através de um modelo bidimensional composto apenas pelo plano médio da viga parede (plano xy), conforme a figura 1.

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

- Modelo bidimensional utilizando estado plano de tensões;
 - Dimensões conforme a figura 3;
 - Espessura: 0,20 m.

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

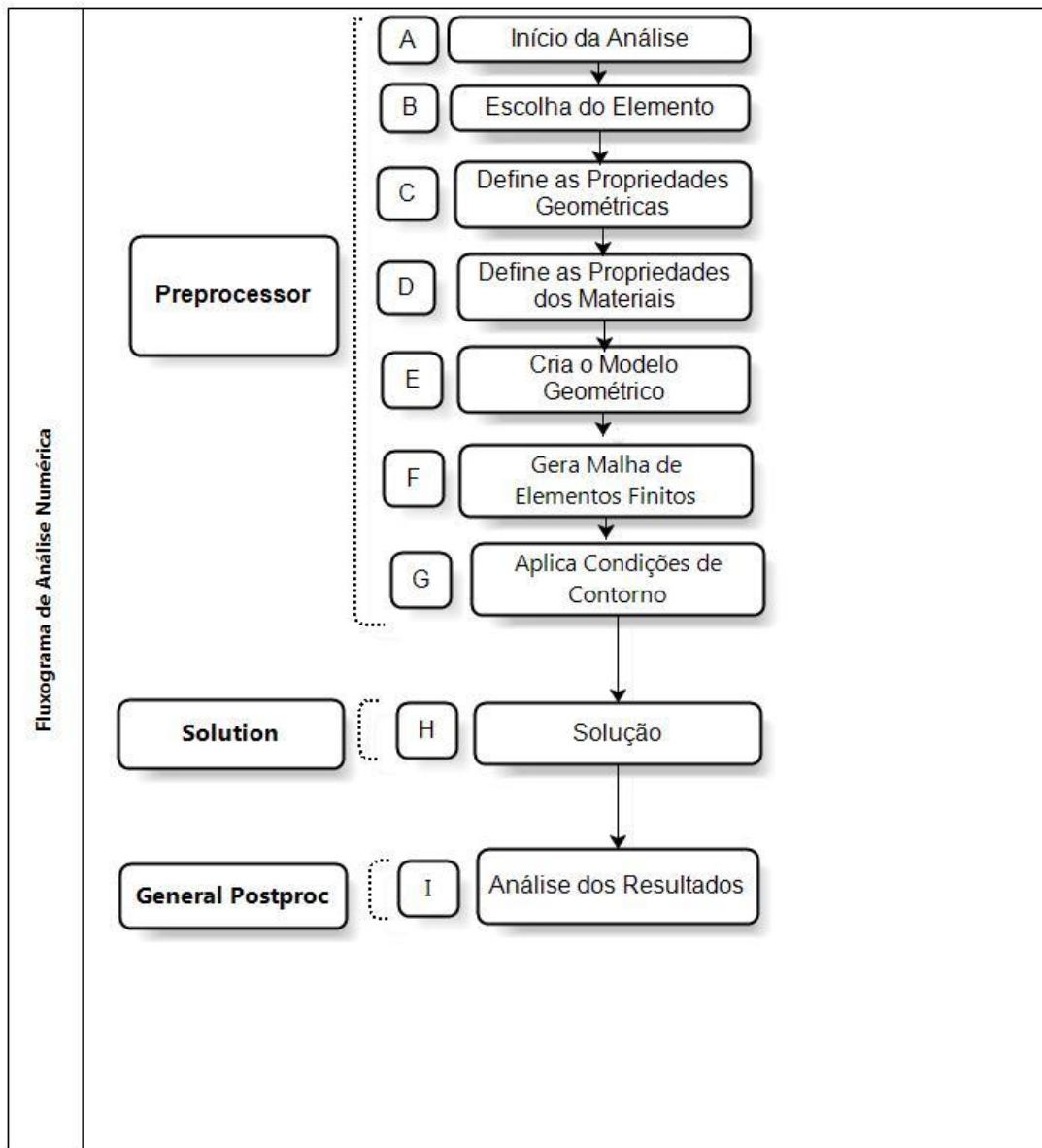
- Concreto Armado:
 - EX = Módulo de Elasticidade Longitudinal ou de Young: E = 2.5E6 tf/m²;
 - NUXY = Coeficiente de Poisson = 0.2

CARGAS

- Conforme figura 1.

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: **“Viga parede com abertura”**;
- ✓ 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: **“vparede”**;
- ✓ 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.

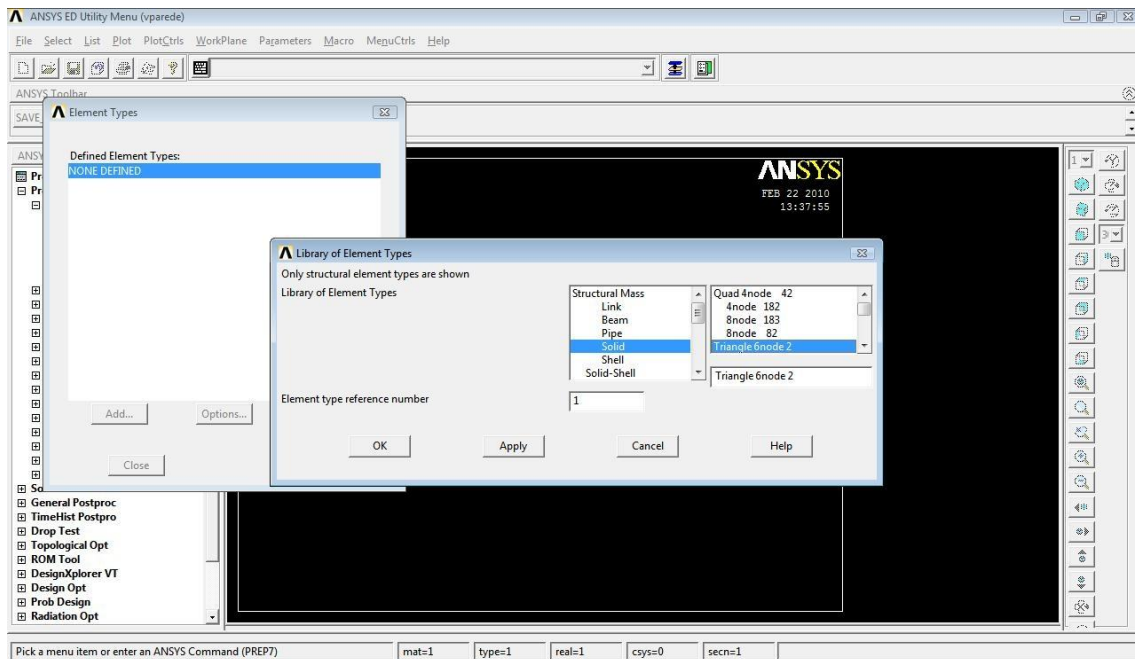
2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

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

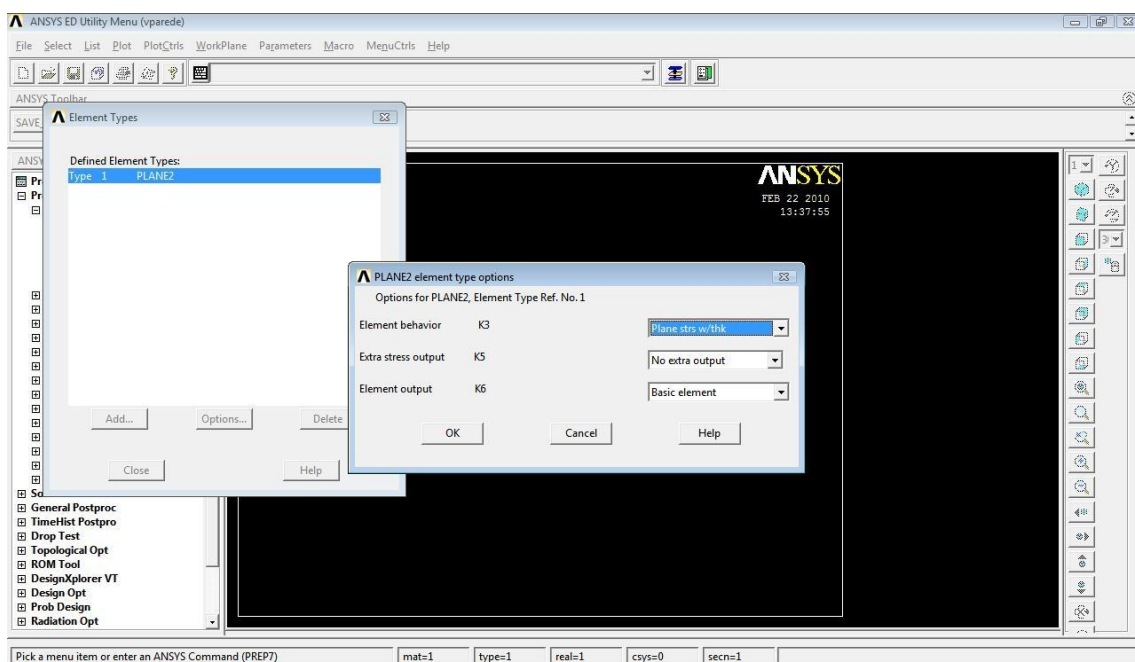
B

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 **“Structural SOLID”**, **“Triangle 6node 2”** e clicar em “OK”.
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Ainda na janela “Element Types”, clicar em “Options” (para o elemento Triangle 6node 2) e, na nova janela, seleccionar;
 - Element Behavior K3 **Plane stress w/thk**
- ✓ Clicar em “OK”;

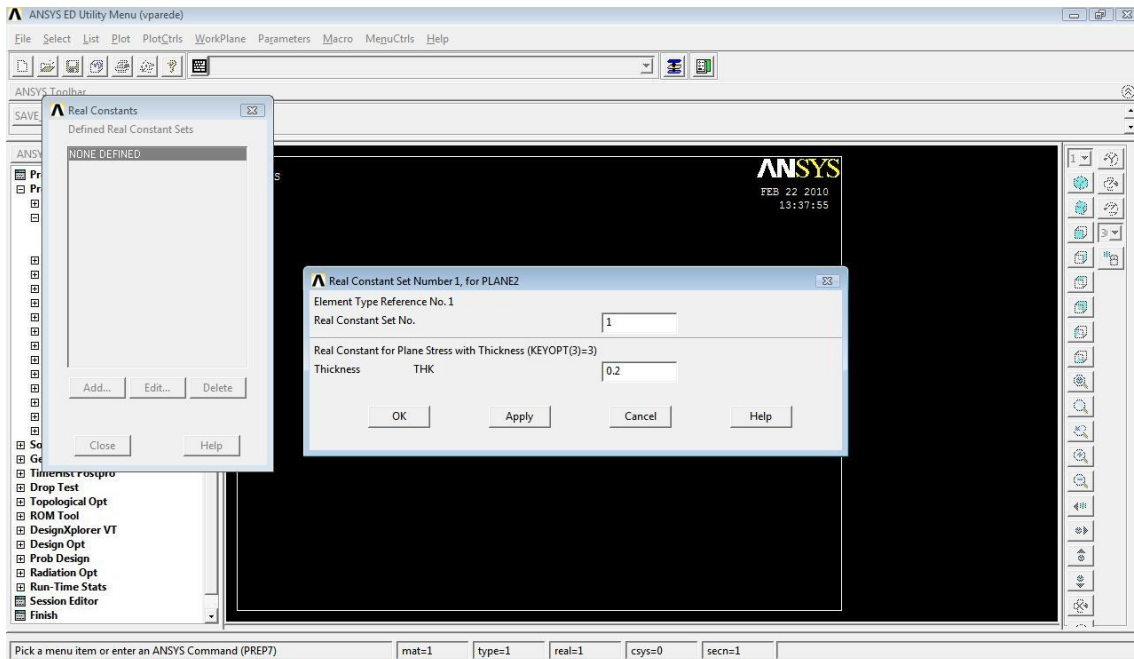


C

2.2. *Define as propriedades geométricas do modelo:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, seleccionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, seleccionar “Add/Edit/Delete”;

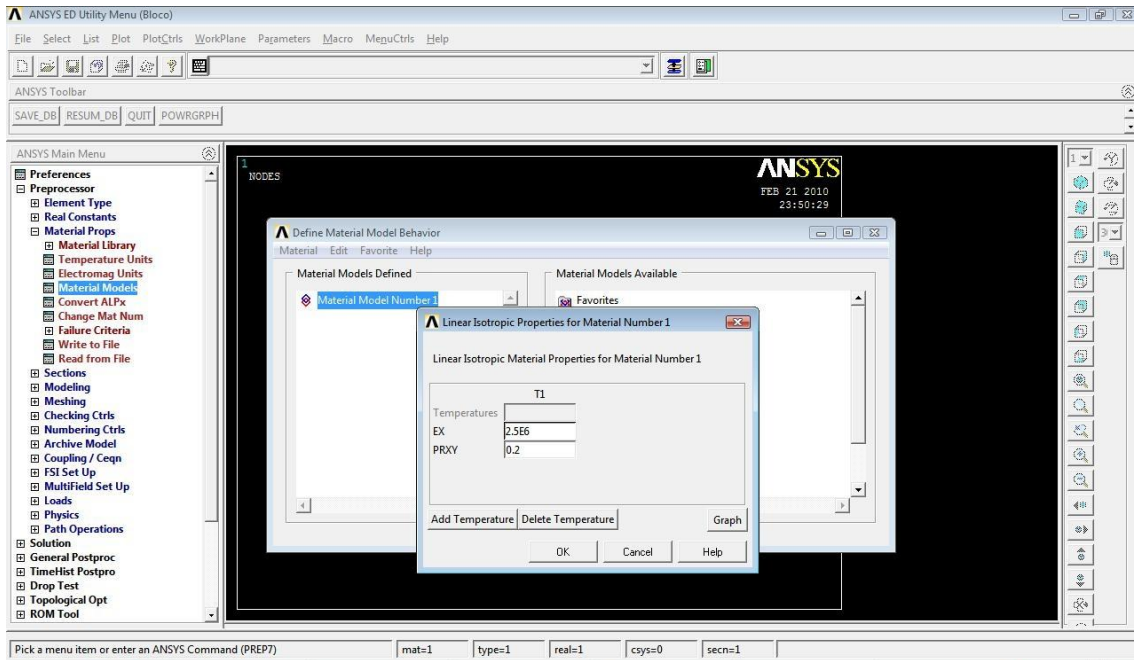
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar novas constantes geométricas;
- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element type” e clicar em OK;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for “PLANE 2” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 1
 - Thickness THK = 0.2
- ✓ Clicar em “OK”.



D

2.3. **Define as propriedades do material:**

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Material Props”, “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 = 2.5E6;
 - PRXY = 0.2;
- ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.

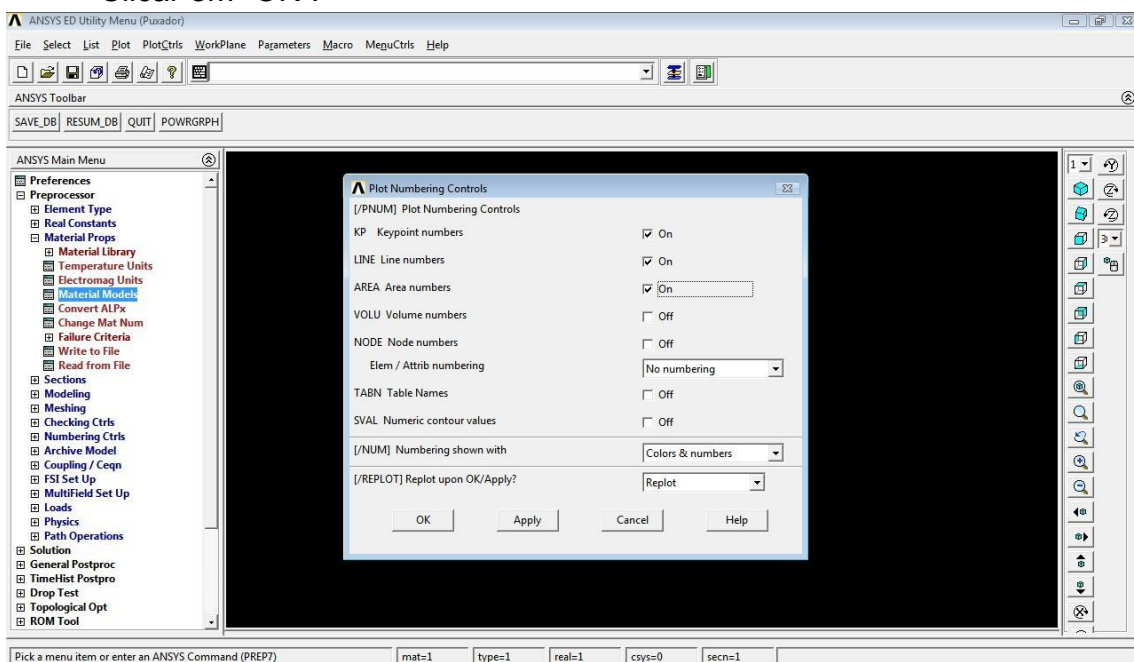


E

2.4. Cria o modelo geométrico:

2.4.1. Numera área, lines e keypoints:

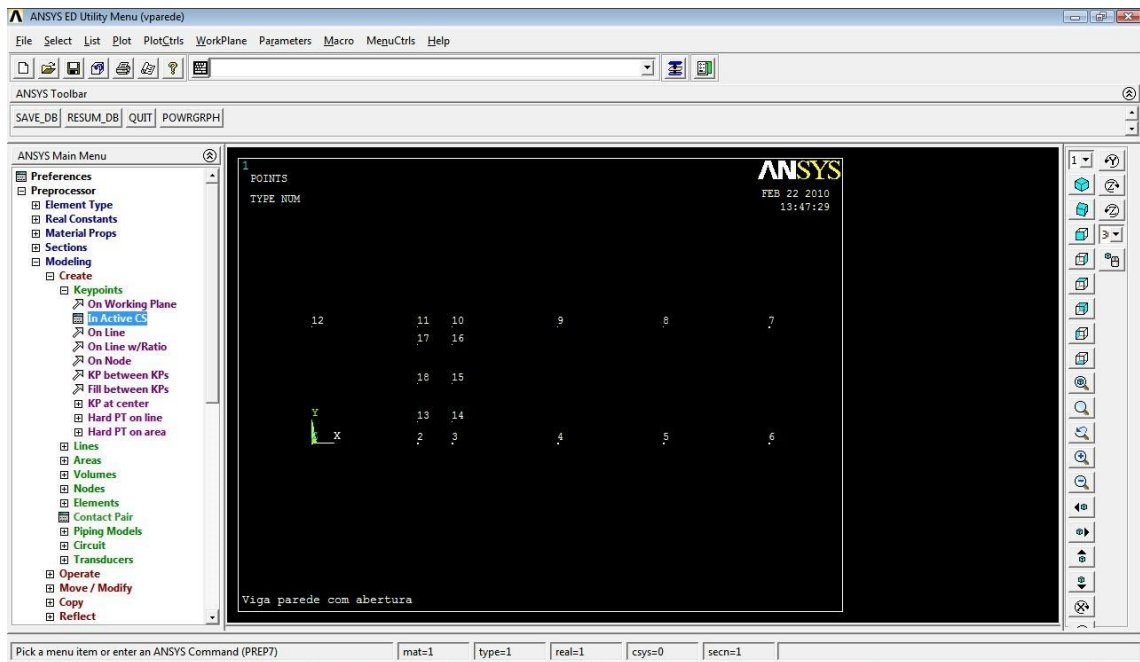
- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em “PlotCtrls” e acessar a opção “Numbering”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, seleccionar:
 - Keypoints **ON**
 - Lines **ON**
 - AREA **ON**
- ✓ Clicar em “OK”.



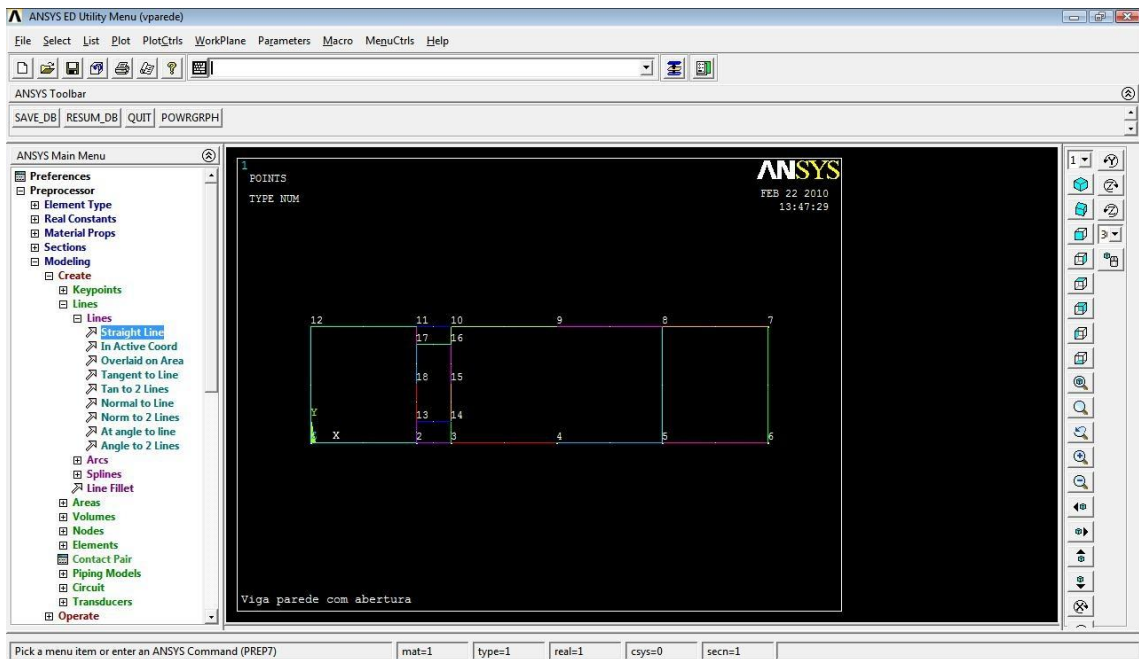
2.4.2. Cria o modelo geométrico:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Keypoints”, “In Active CS”;
- ✓ Na nova janela que abrir, inserir um número para o keypoint que será criado em “NPT” e as coordenadas X e Y;
- ✓ Para criar o primeiro keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **1**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **2**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 3** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **3**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 4** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **4**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 7** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **5**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 10** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **6**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 13** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **7**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 13** **Y = 3.3**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **8**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 10** **Y = 3.3**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **9**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 7** **Y = 3.3**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **10**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 4** **Y = 3.3**;

- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **11;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 3 Y = 3.3;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **12;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0 Y = 3.3**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **13;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 3 Y = 0.6;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **14;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 4 Y = 0.6;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **15;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 4 Y = 1.7;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **16;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 4 Y = 2.8;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **17;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 3 Y = 2.8;**
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NPT Keypoint Number: **18;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 3 Y = 1.7;**
- ✓ Clicar em “OK”;

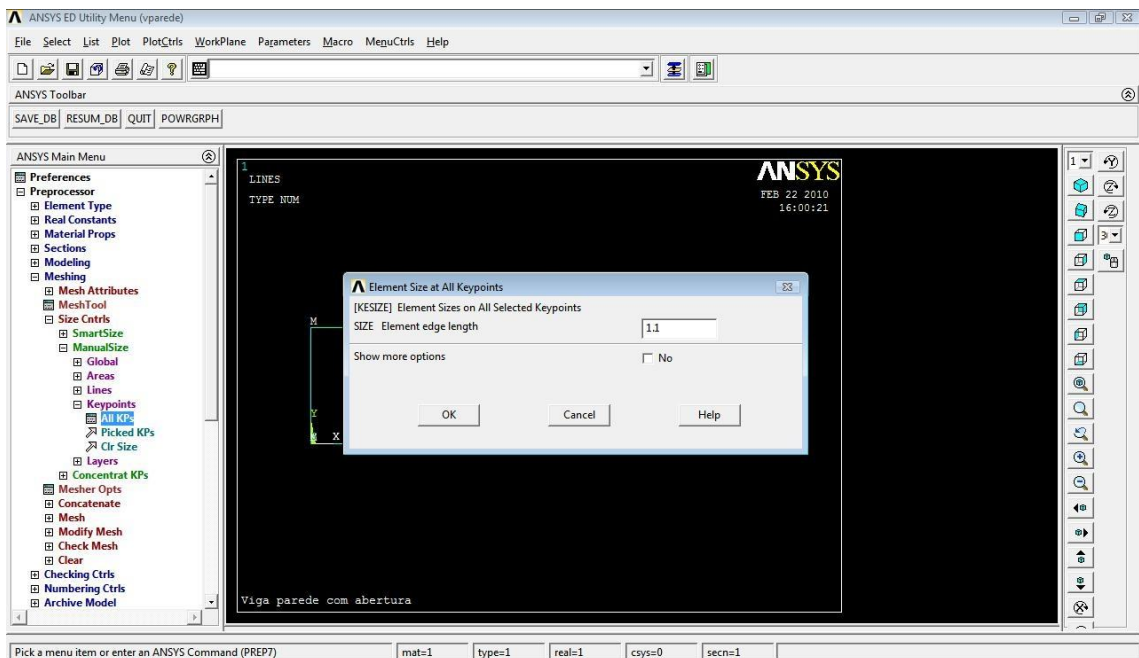


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Lines”, “Straight Line”;
- ✓ Na nova janela que abrir, para criar as linhas:
- ✓ Apontar os keypoints **1** e **2** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **2** e **3** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **3** e **4** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **4** e **5** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **5** e **6** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **6** e **7** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **7** e **8** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **8** e **9** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **9** e **10** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **10** e **11** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **11** e **12** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **12** e **1** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **2** e **13** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **13** e **18** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **18** e **17** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **17** e **11** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **3** e **14** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **14** e **15** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **15** e **16** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **16** e **10** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **14** e **13** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **16** e **17** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os keypoints **5** e **8** e clicar em “OK”;



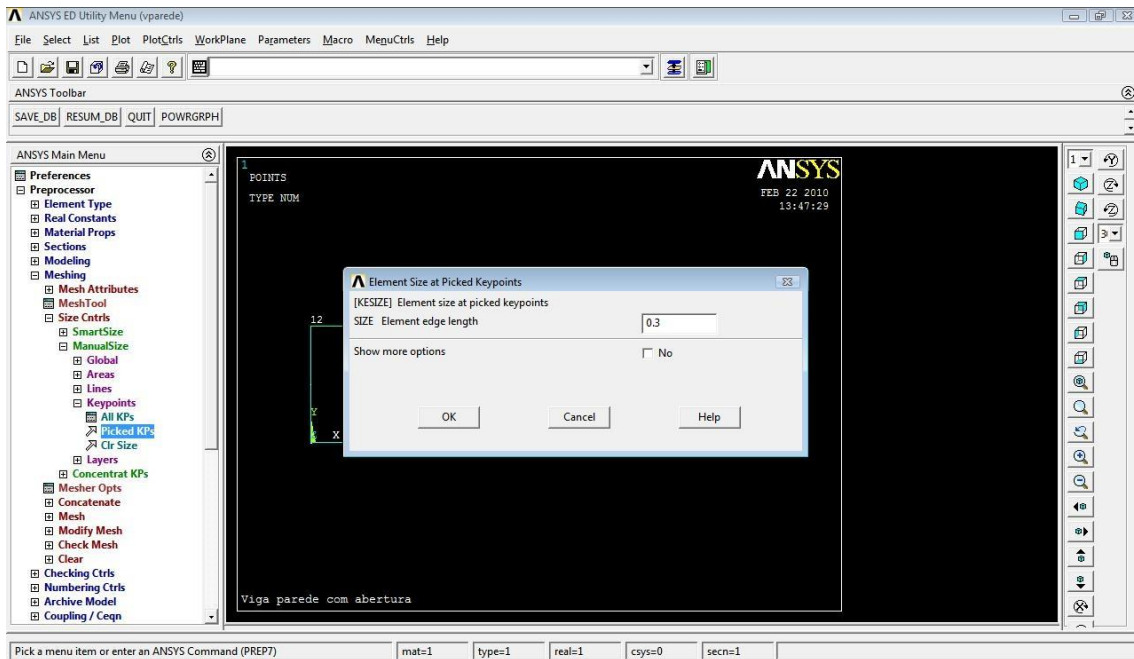
2.4.3. Refinando a malha para os keypoints selecionados:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Meshing”, “Size Cntrls”, “Manual Size”, “Keypoints”, “Picked KPs”;
- ✓ Selecionar “**PICK ALL**”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - [KESIZE] SIZE 1.1
- ✓ Clicar em “OK”.

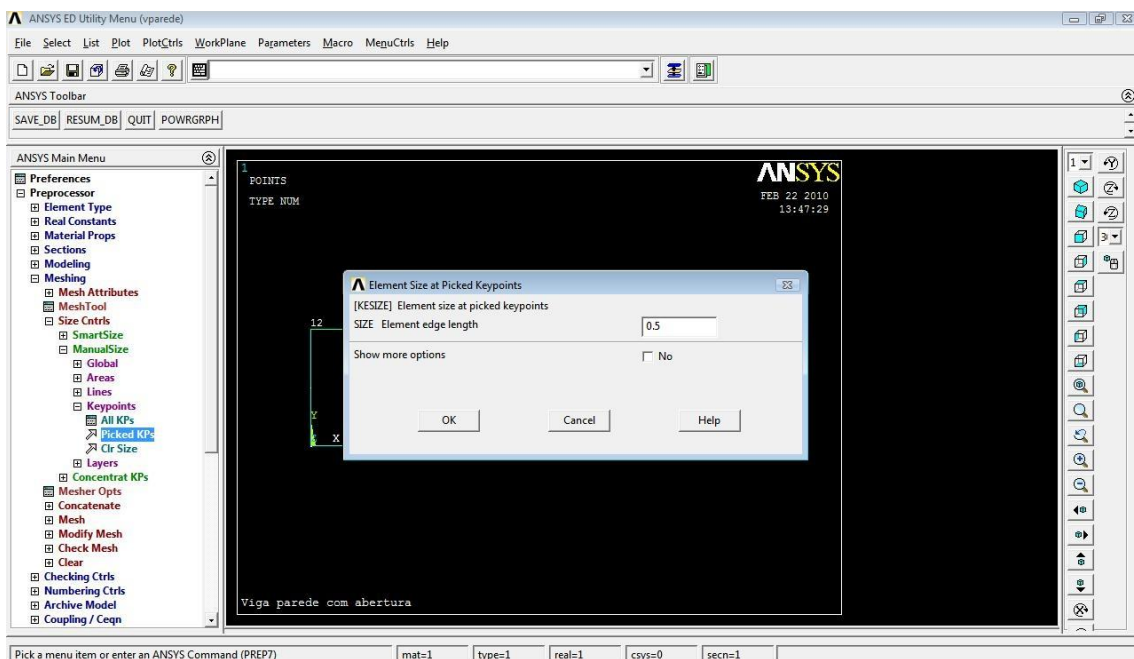


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Meshing”, “Size Cntrls”, “Manual Size”, “Keypoints”, “Picked KPs”;
- ✓ Apontar os Keypoints **13, 14, 16 e 17**;
- ✓ Na nova janela, definir:

- [KESIZE] SIZE 0.30
- ✓ Clicar em “APPLY”;



- ✓ Apontar os Keypoints 15 e 18”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - [KESIZE] SIZE 0.5
- ✓ Clicar em “APPLY”;

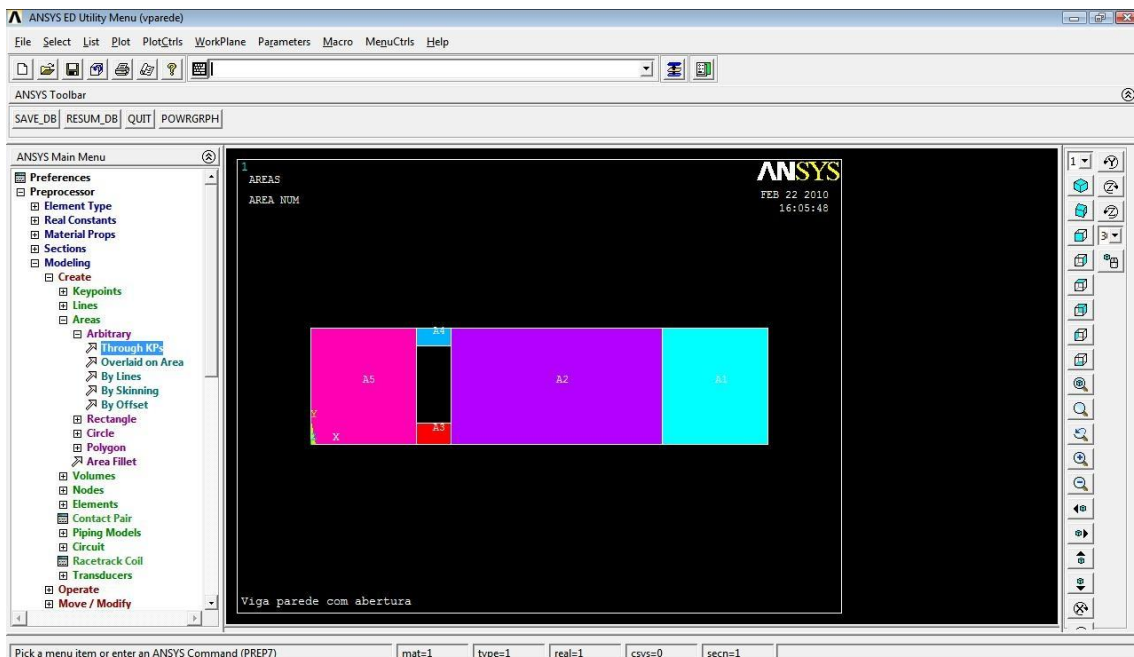


- ✓ Apontar o Keypoint 2, 3, 14 e 11”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - [KESIZE] SIZE 0.3
- ✓ Clicar em “APPLY”;

- ✓ Apontar o Keypoint **1**;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - [KESIZE] SIZE **0.9**
- ✓ Clicar em “OK”;

2.4.4. Criando as áreas:

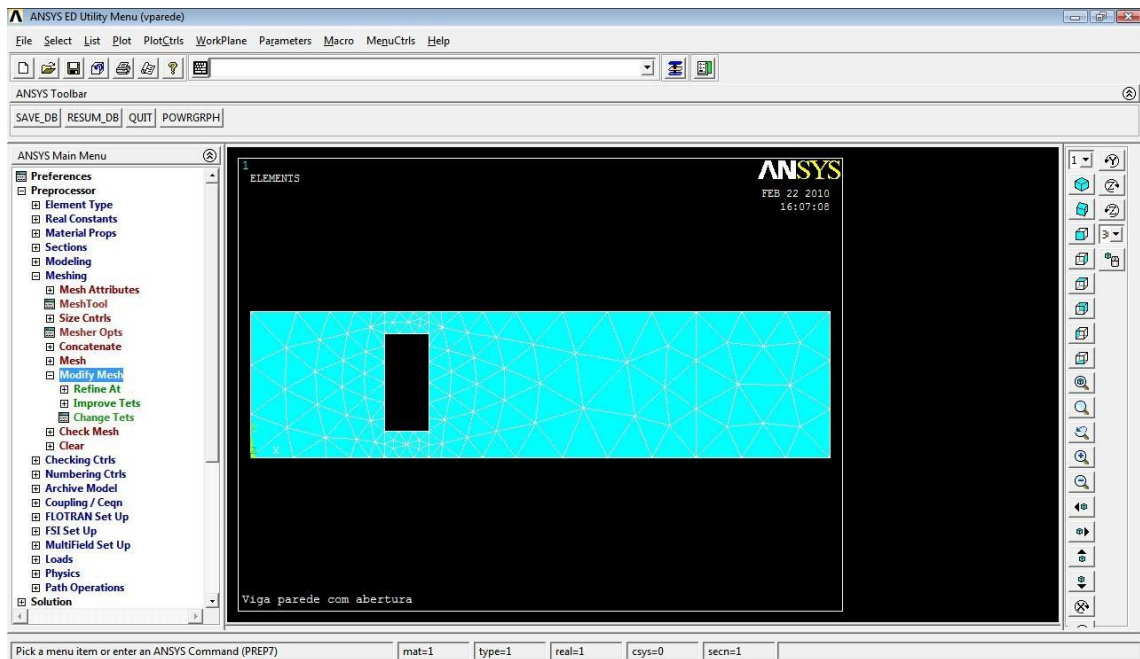
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Area”, “Arbitrary”, “Through KPs”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os keypoints **5, 6, 7 e 8**;
- ✓ Clicar em “APPLY”.
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os keypoints **3, 4, 5, 8, 9, 10, 16, 15 e 14**;
- ✓ Clicar em “APPLY”.
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os keypoints **3, 14, 13 e 2**;
- ✓ Clicar em “APPLY”.
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os keypoints **16, 10, 11 e 17**;
- ✓ Clicar em “APPLY”.
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os keypoints **1, 13, 18, 17, 11, 12 e 1**;
- ✓ Clicar em “OK”.



F

2.5. Gera a malha de elementos finitos:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Meshing”, “Mesh”, “Areas”, “Free +”;
- ✓ Clicar em “PICK ALL”;
- ✓ Clicar em “OK”



G

2.6. Aplicar as condições de contorno na modelagem sólida:

2.6.1. Fornece condição de contorno:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Keypoints”;
- ✓ Apontar os Keypoints **1 e 6** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “**UY**”;
- ✓ Clicar em “APPLY”;

- ✓ Apontar o Keypoint **4** e clicar em “OK”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “**ALL DOF**”;
- ✓ Clicar em “OK”;

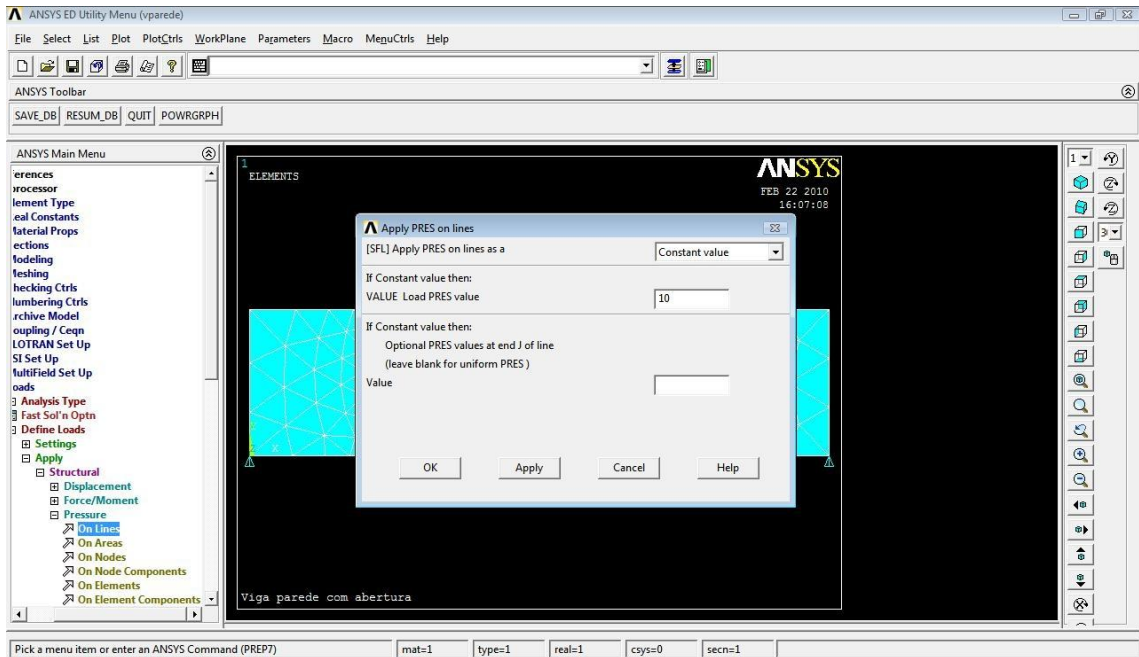
2.6.2. Aplicar as cargas concentradas e distribuídas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Keypoints”;
- ✓ Apontar o keypoint **11** e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
 - LAB **FY**
 - Value **-8**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Keypoints”;
- ✓ Apontar o keypoint **13** e clicar em “OK”;

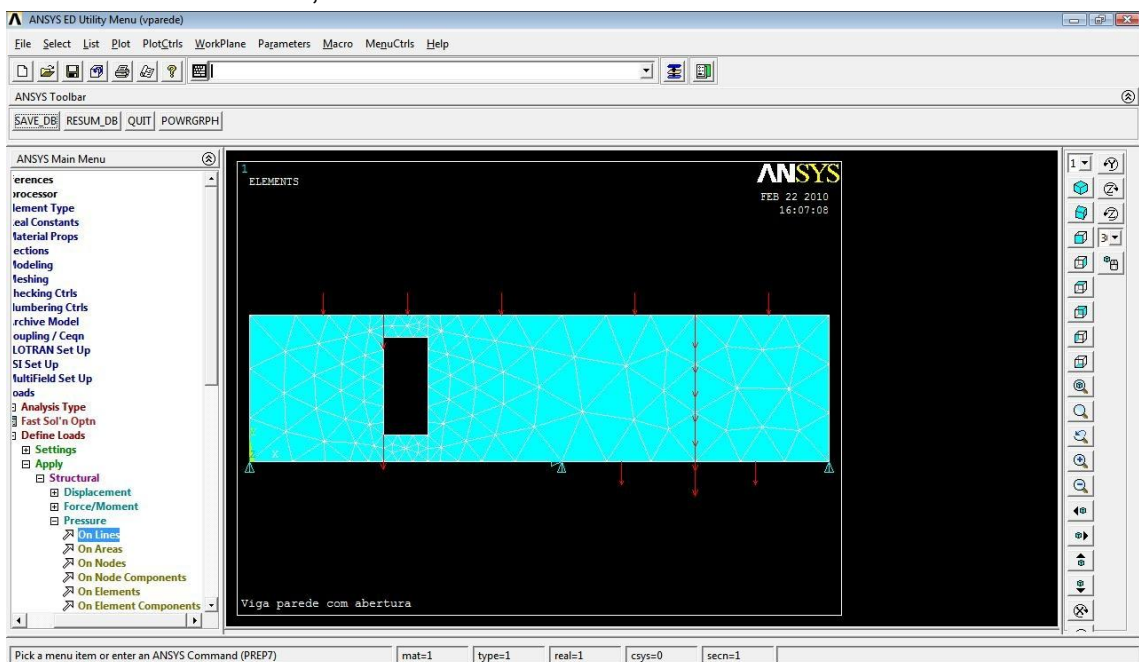
- ✓ Na nova janela, inserir:
 - LAB **FY**
 - Value **-5**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os nós **1 e 14** e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
 - LAB **FY**
 - Value **-3**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os nós **20, 22 e 24** e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
 - LAB **FY**
 - Value **-5**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os nós **21 e 23** e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
 - LAB **FY**
 - Value **-6**
- ✓ Clicar em “OK”;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Pressure”, “On Lines.”;
- ✓ Apontar as linhas **7, 8, 9, 10 e 11** e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela inserir o valor da carga a ser distribuída na linha:
 - VALUE **10**;
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Pressure”, “On Lines.”;
- ✓ Apontar as linhas 4 e 5 e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela inserir o valor da carga a ser distribuída na linha:
 - VALUE -20;
- ✓ Clicar em “OK”;



2.6.3. Salvando dados no arquivo vparede.db

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

H

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”.

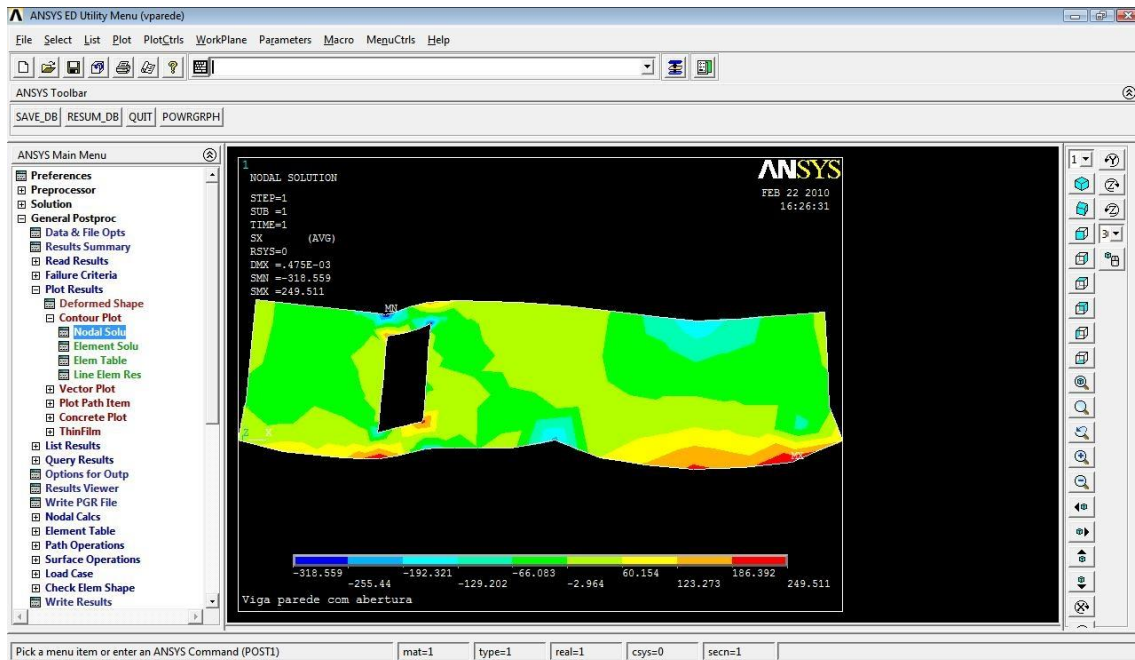
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB” para salvar os dados mais a solução no arquivo.

I

4. PÓS PROCESSAMENTO

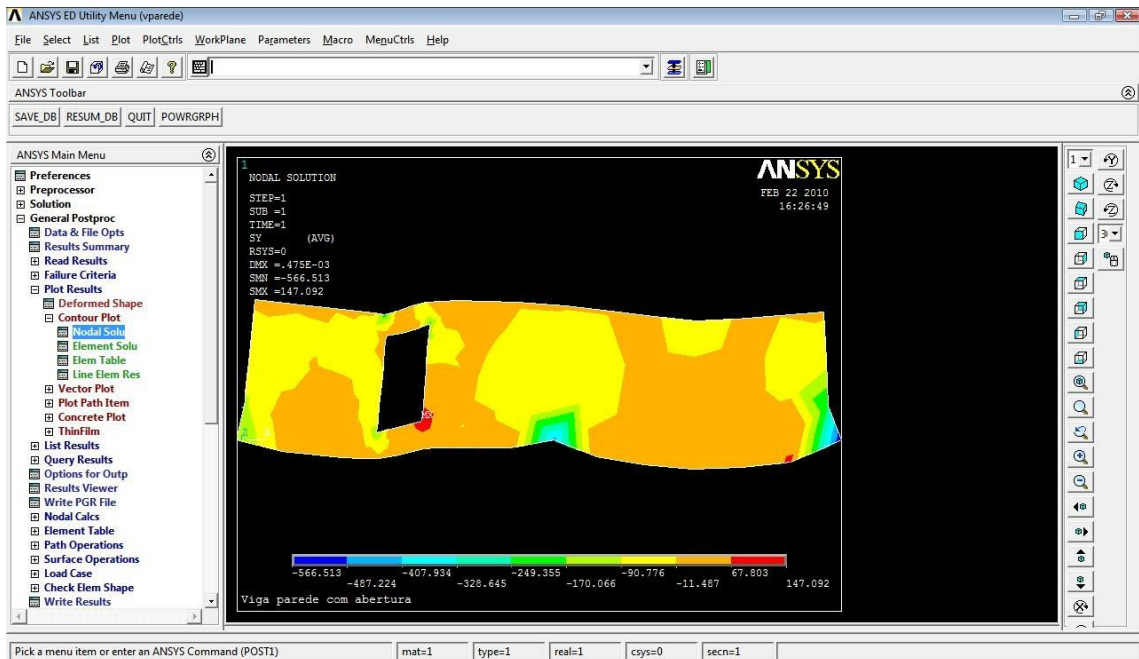
4.1. Gera, lista e plota os resultados:

- ✓ No “ANSYS Main Menu” dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Nodal Solu”;
- ✓ Selecionar:
 - “STRESS”;
 - **X – Component of stress.**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No “ANSYS Main Menu” dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Nodal Solu”;
- ✓ Selecionar:
 - “STRESS”;
 - **Y – Component of stress.**

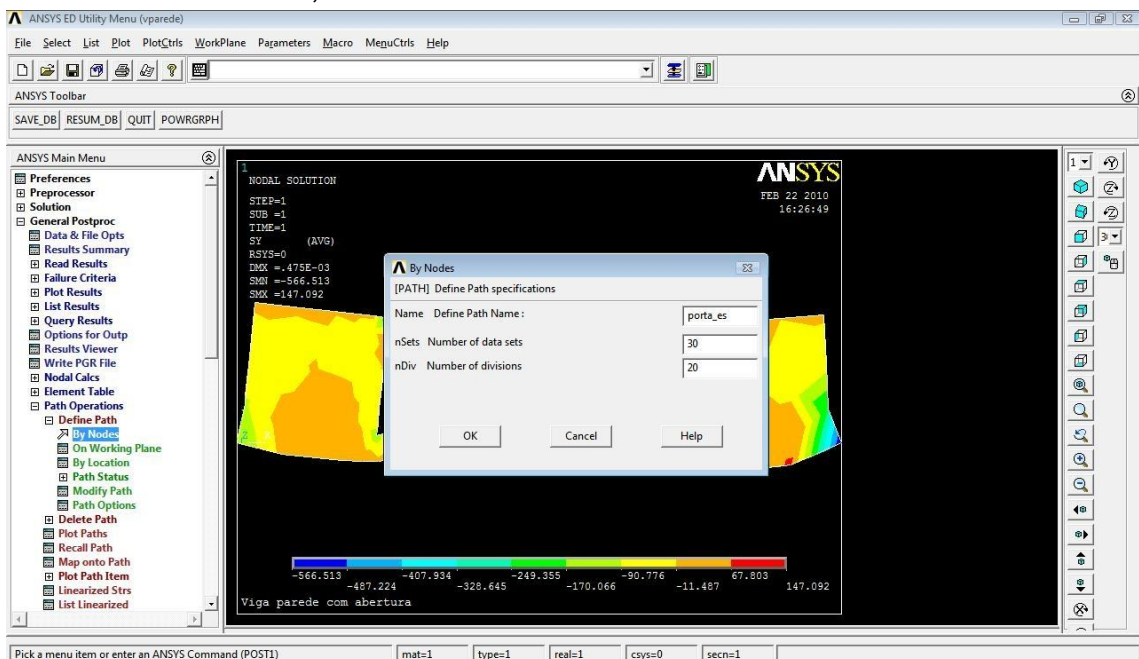
✓ Clicar em “OK”;



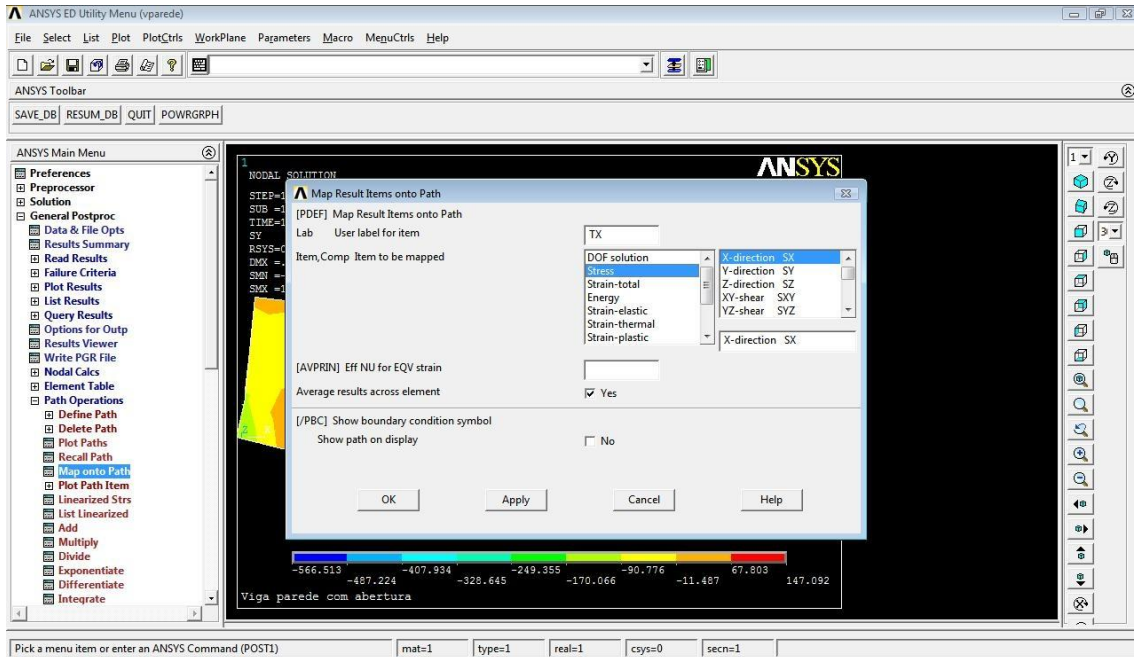
✓ No “ANSYS Main Menu” dentro do “General Postproc” clicar em “Path Operation”, “Define Path”, “By nodes +”; (cria um “caminho”, de um nó até outro, onde se desejam plotar resultados).

- Apontar os nós **249** e **85** e clicar em “OK”;
- Na nova janela, [PATH], definir:
 - Name: **porta_es**;
 - nSets: **30**;
 - nDiv: **20**;

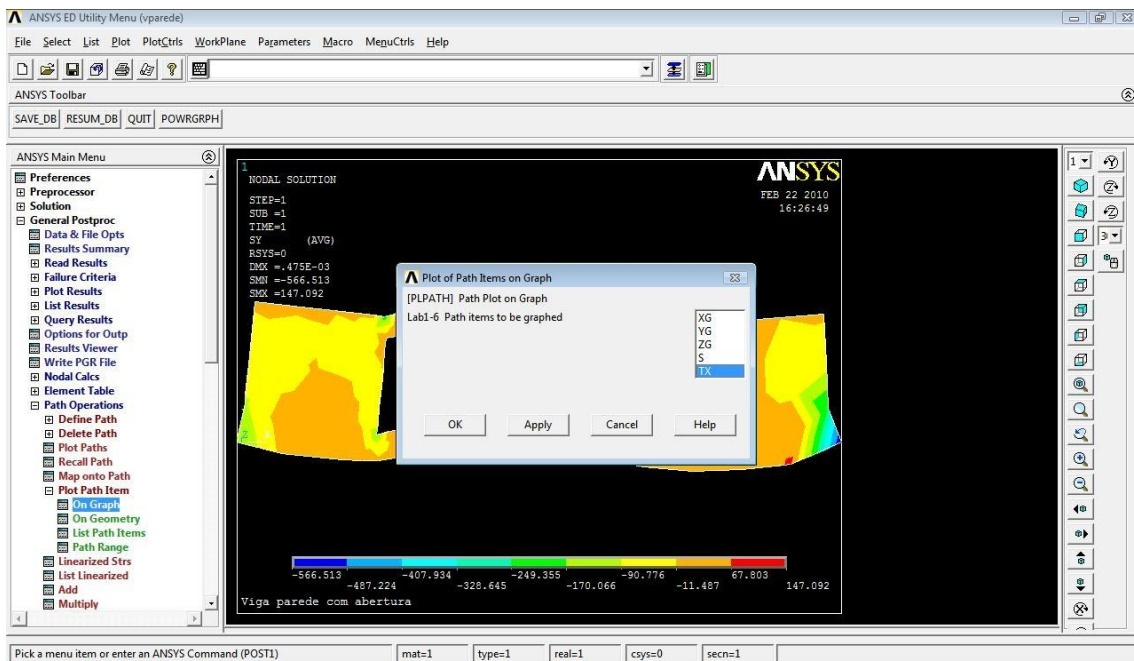
✓ Clicar em “OK”;



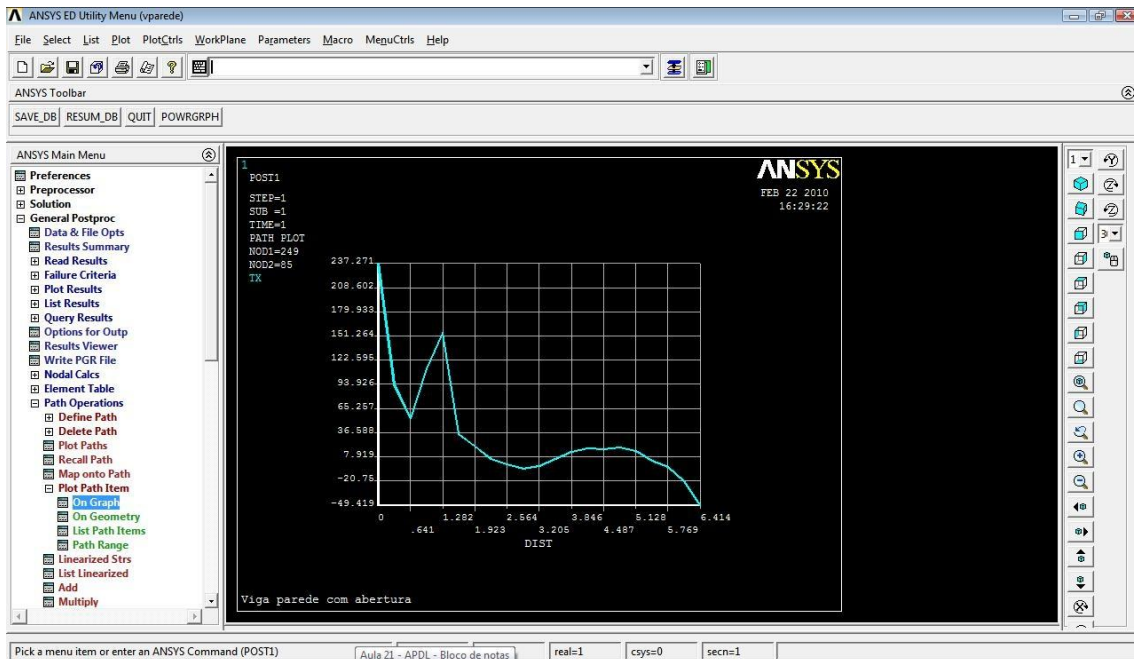
- ✓ Dentro do “General Postproc” clicar em “Path Operation”, “Define Path”, “Map onto path”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Lab **TX**;
 - Item, comp **Stress**;
 - **X – direction – SX**;
- ✓ Clicar em “OK”



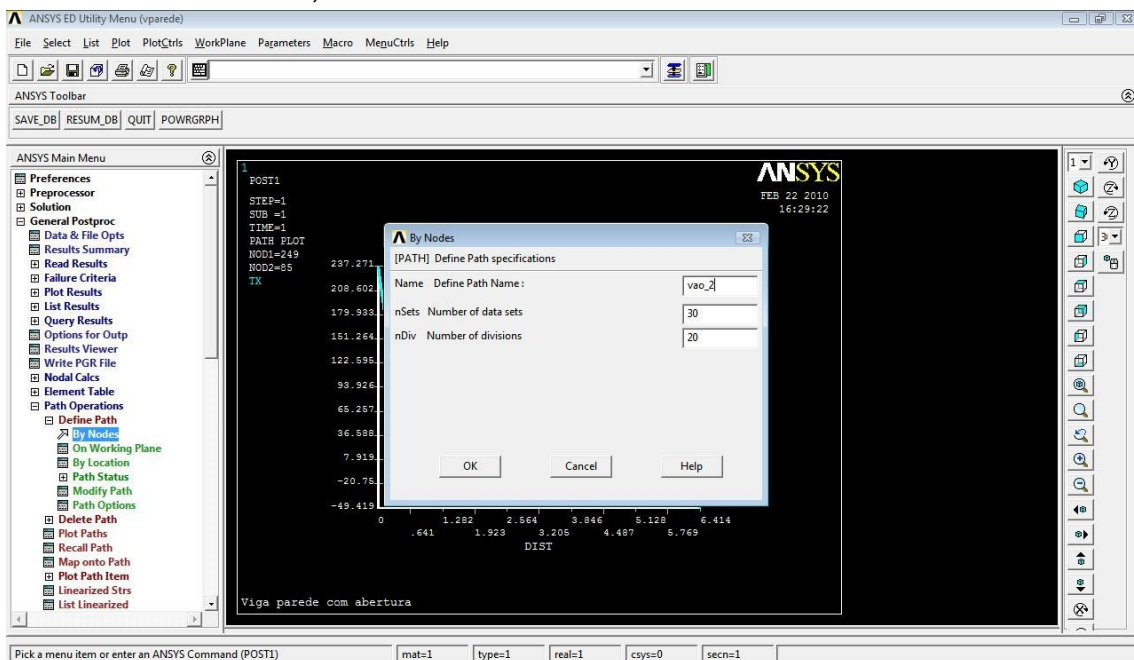
- ✓ Dentro do “General Postproc” clicar em “Path Operation”, “Plot Path Item”, “On Graph”;
- ✓ Na janela, selecionar “TX” e clicar em “OK”;



- ✓ O programa plotará em um gráfico o valor da tensão na direção de X entre os nós 249 e 85 selecionados anteriormente;

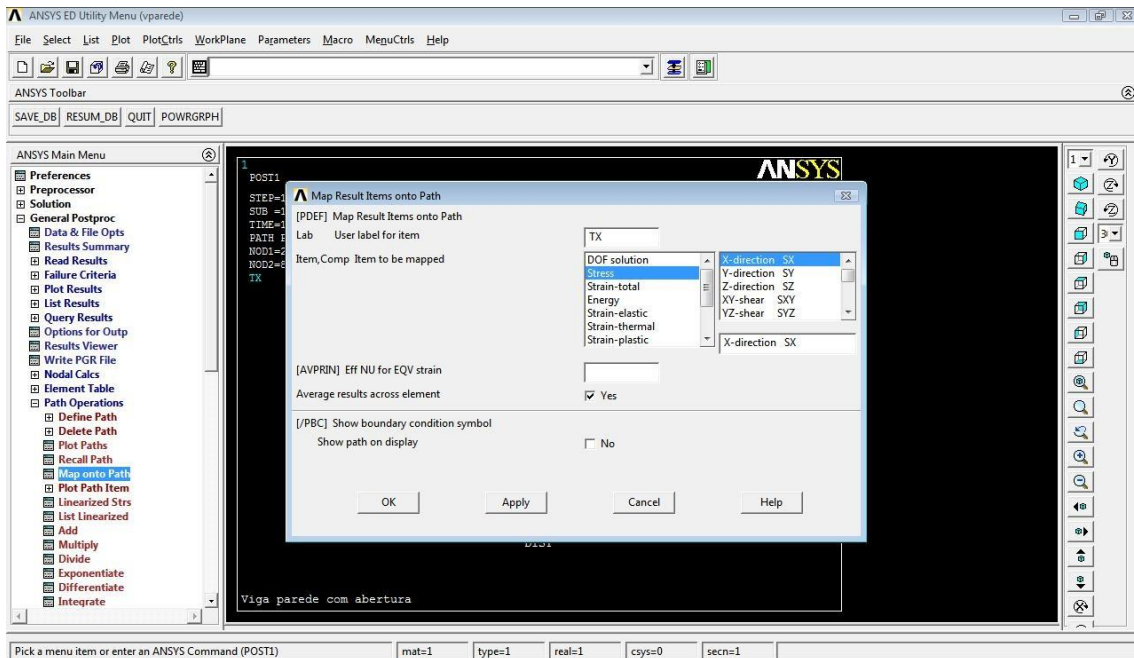


- ✓ No “ANSYS Main Menu” dentro do “General Postproc” clicar em “Path Operation”, “Define Path”, “By nodes +”;
 - Apontar os nós 1 e 14 e clicar em “OK”;
 - Na nova janela, [PATH], definir:
 - Name: **vao2**;
 - nSets: **30**;
 - nDiv: **20**;
- ✓ Clicar em “OK”;

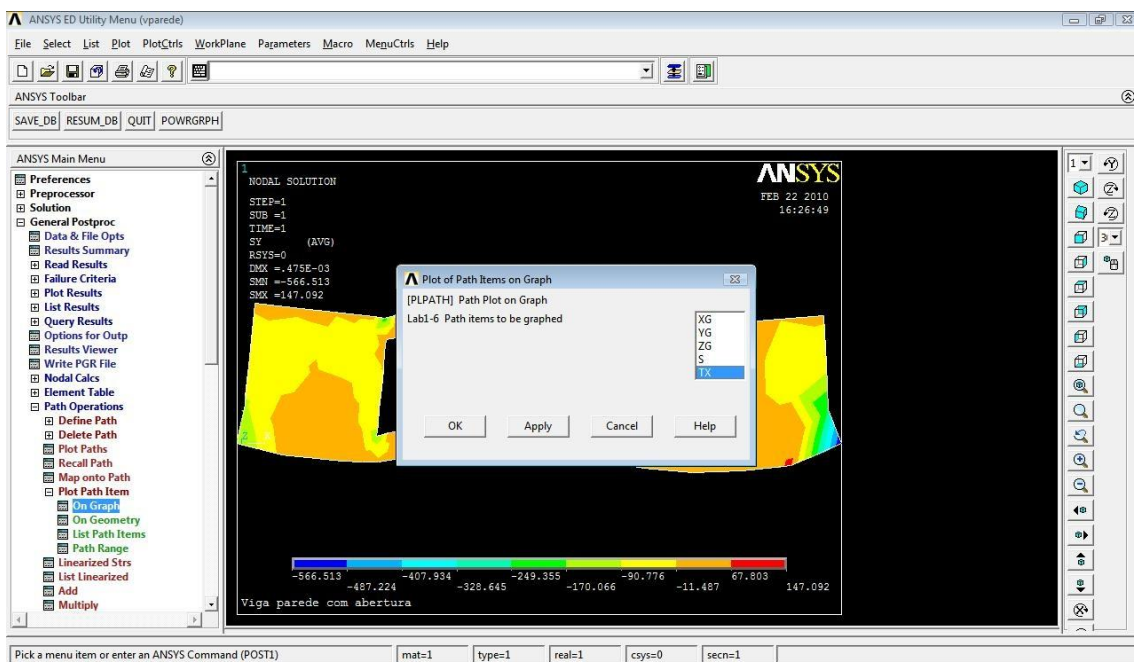


- ✓ Dentro do “General Postproc” clicar em “Path Operation”, “Define Path”, “Map onto path”;

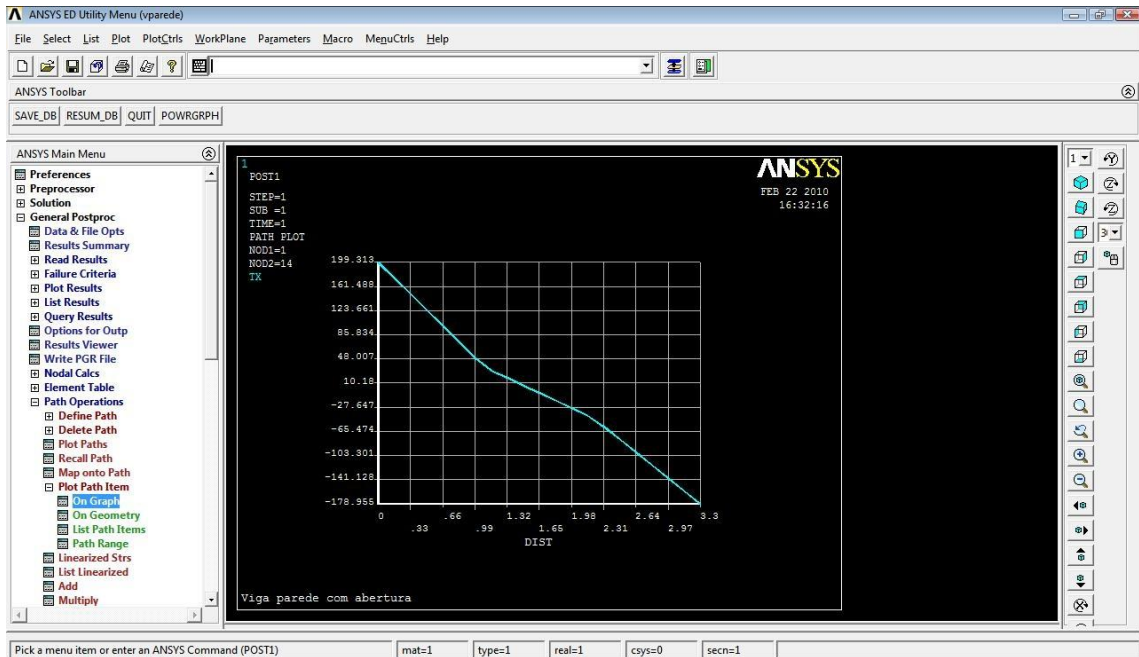
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Lab **TX**;
 - Item, comp **Stress**;
 - **X – direction – SX**;
- ✓ Clicar em “OK”



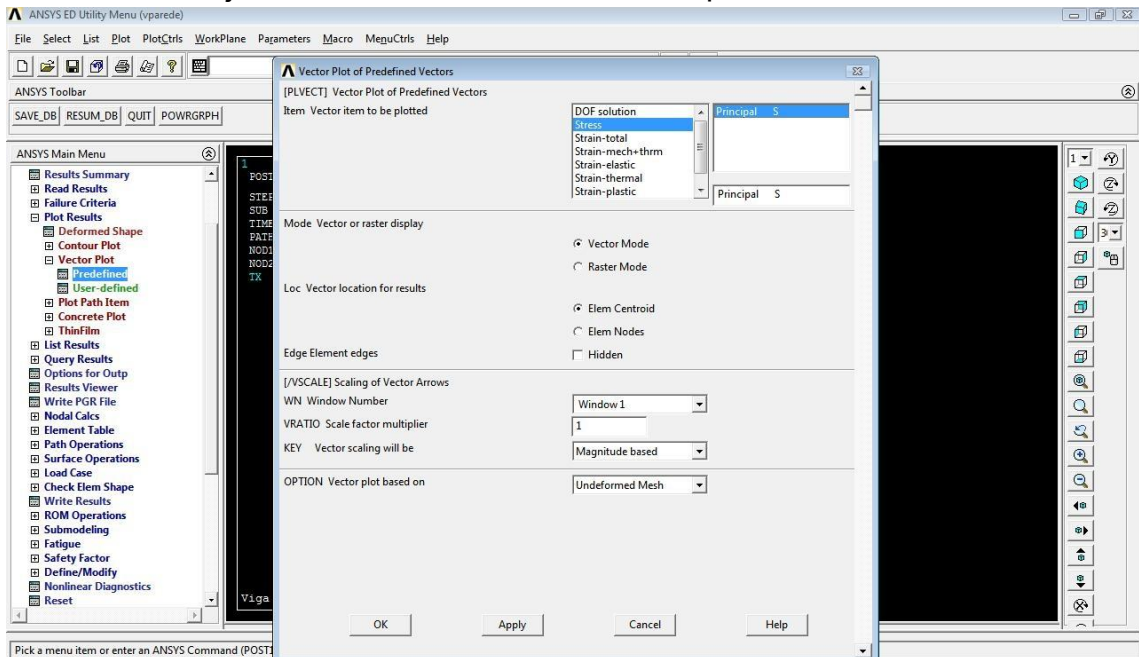
- ✓ Dentro do “General Postproc” clicar em “Path Operation”, “Plot Path Item”, “On Graph”;
- ✓ Na janela, selecionar “TX” e clicar em “OK”;



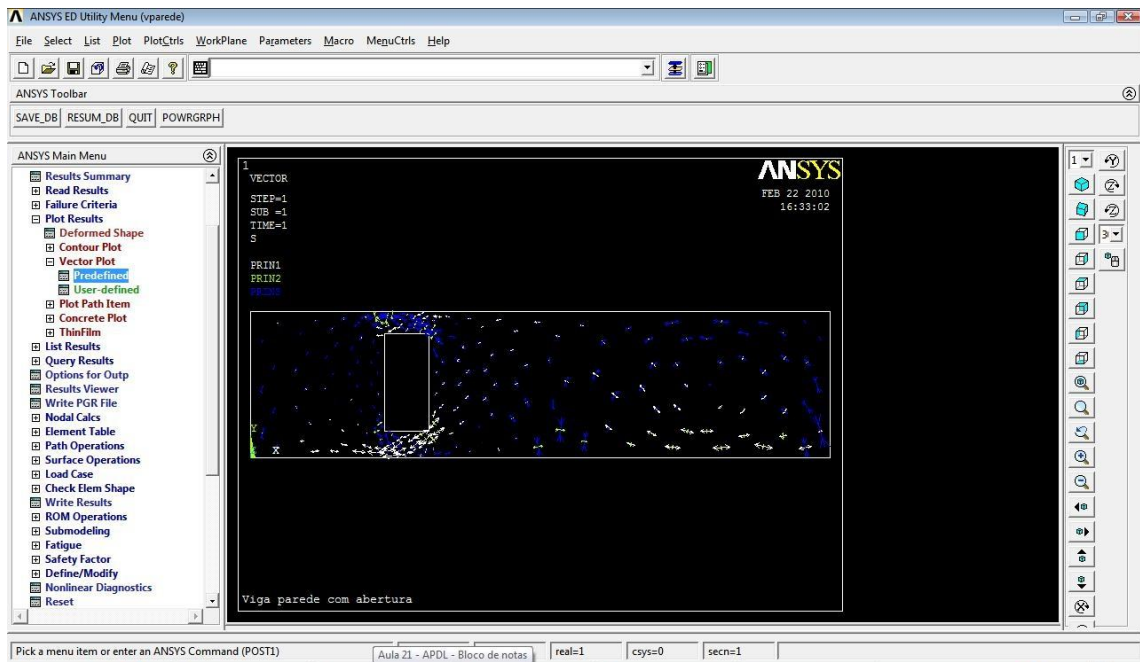
- ✓ O programa plotará em um gráfico o valor da tensão na direção de X entre os nós 1 e 14 selecionados anteriormente;



- ✓ Dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Vector Plot”, “Predefined”;
- ✓ Na nova janela, selecionar “Stress”, “Principal S” e clicar em “OK”.



- ✓ O programa plotará o caminho das tensões principais;



5. 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, seleccionar a opção “Save everything” e clicar em “OK”.

CONCLUSÃO

Podemos observar no modelo proposto que nesta estrutura ocorrem concentrações de tensões nas regiões onde existem aberturas ou furos. Percebemos também que por tratar-se de uma viga espessa, ou seja, com altura significativa em relação ao comprimento dos vãos, o efeito de cisalhamento não pode ser desprezado e o diagrama de tensões no meio do vão não corresponde mais exatamente ao diagrama triangular da teoria de viga fina (viga de Euler – Bernoulli).