

# ANÁLISE DE UMA LAJE USANDO O ABAQUS 6.12 STUDENT EDITION CONSIDERANDO TRÊS TIPOS DE APOIO: ENGASTADA, SIMPLEMENTE APOIADA E COM VIGA DE BORDO

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. DESCRIÇÃO DO ELEMENTO DE CASCA FINA:

Entre os muitos problemas tridimensionais que podem ter sua formulação matemática simplificada encontram-se as placas e cascas em flexão. Placas e cascas são sólidos tridimensionais, cujo material se confina na vizinhança de uma superfície que é chamada de superfície média por bisetar em todos os planos a espessura. Caso a superfície média seja plana, temos uma placa, enquanto que nas cascas ela é curva. As direções das restrições nos deslocamentos e dos carregamentos não necessitam coincidir com o plano de definição da placa. Placas são estruturas resistentes a esforços de membrana e de flexão. Geralmente elementos de placa possuem 6 graus de liberdade por nó, sendo 3 translações e 3 rotações.

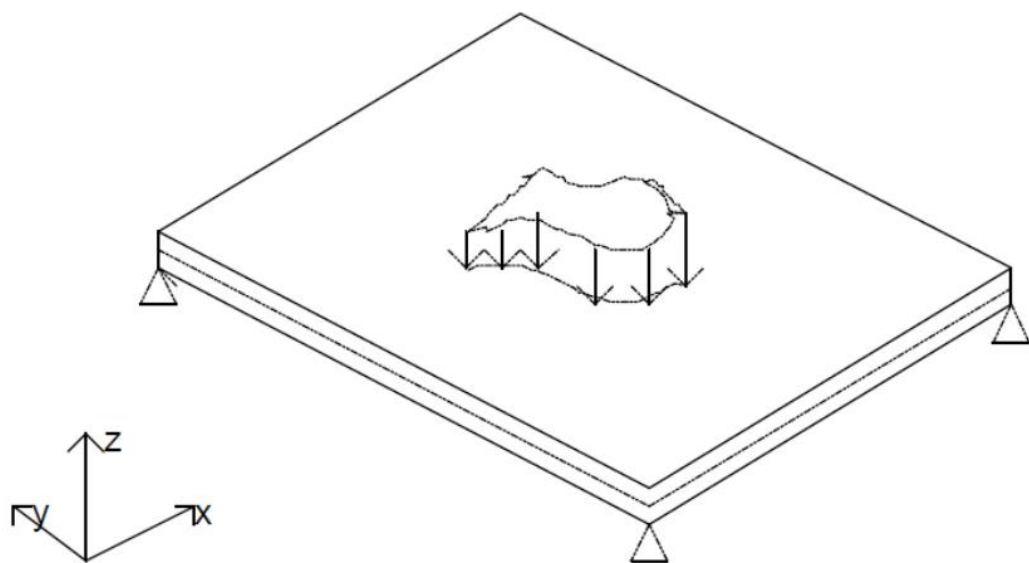


Figura 1 – Esquema de uma placa em flexão

## 1.2. CARACTERÍSTICAS DO ELEMENTO SHELL

- ✓ Elementos com uma dimensão, a espessura, significativamente inferior às outras.
- ✓ Placas convencionais x contínuas

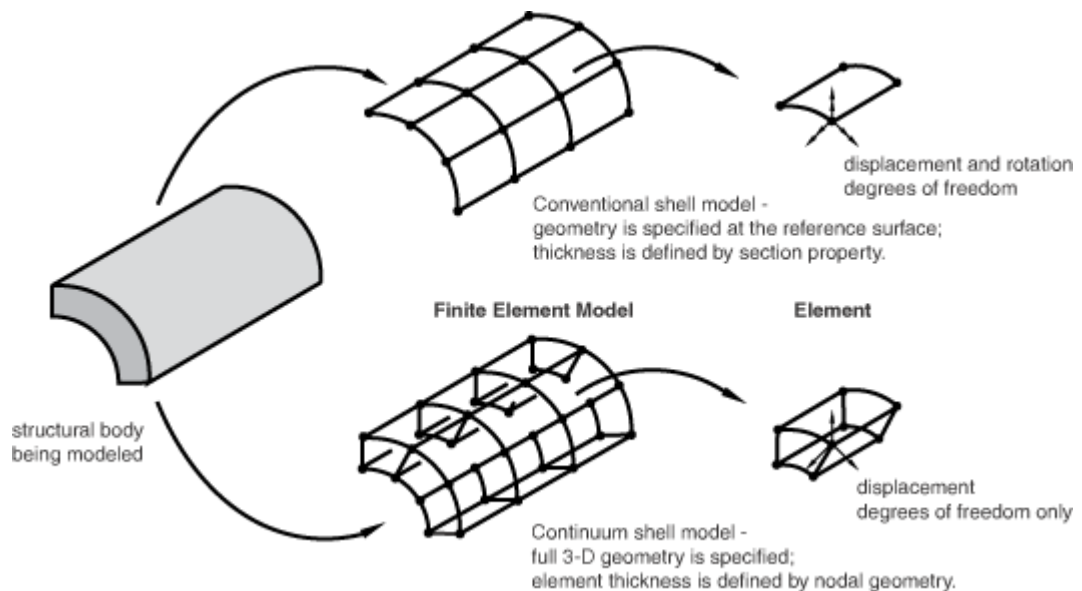


Figura 2 – Placas Contínuas e Convencionais

- ✓ Convencionais: 2 dimensões, com espessura definida pela propriedade da seção, possui deslocamentos e rotações como graus de liberdade. (análise de superfície)
- ✓ Contínuas: 3 dimensões, com espessura definida pela geometria, possuindo apenas deslocamentos como grau de liberdade.
- ✓ Nomenclatura no Abaqus para placas com 3 dimensões:

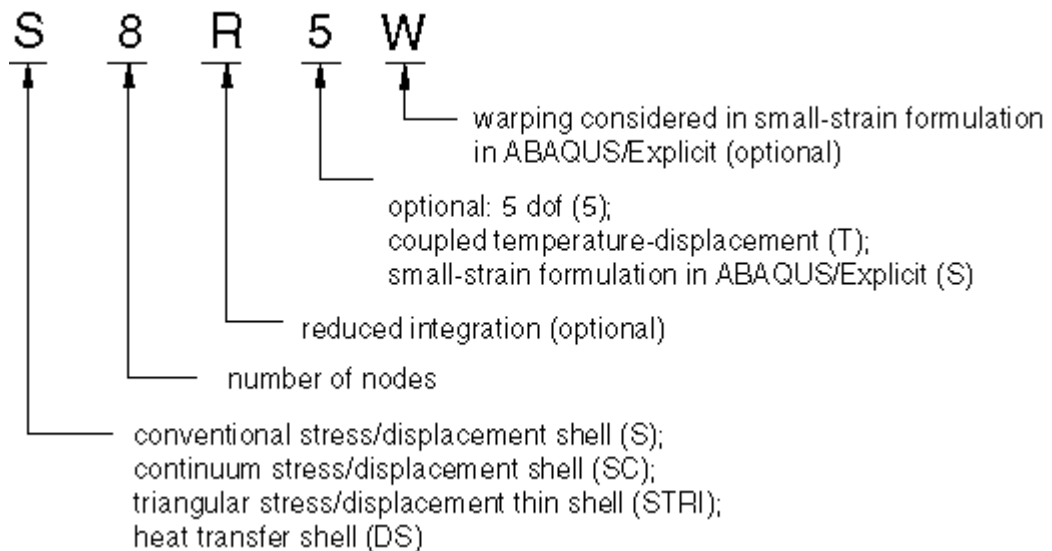


Figura 3 – Nomenclatura no Abaqus

- ✓ Possuem 5 (mais 'econômico') ou 6 graus de liberdade.

### 1.3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste exemplo vamos analisar uma laje, com dimensões 4m x 6m, feita de concreto armado submetida a um carregamento distribuído  $p = 0.6 \text{ tf/m}^2$ , com espessura de 0.12 m, com viga de bordo de seção transversal 0.10 m x 0.38 m. Utilizaremos dois tipos de elementos: shell e beam. Inicialmente faremos uma comparação do comportamento da laje engastada e simplesmente apoiada para, a seguir, considerar a influência da viga de bordo.

### 1.4. PROPRIEDADES DO MATERIAL

Concreto Armado:

Módulo de Elasticidade Longitudinal ou de Young:  $E = 2.5E6 \text{ tf/m}^2$ ;

Coefficiente de Poisson = 0.2

### 1.5. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

Laje:

Dimensões: 4m x 6m

Espessura: 0,12 m.

Viga:

Seção transversal: 0.1m x 0.38m

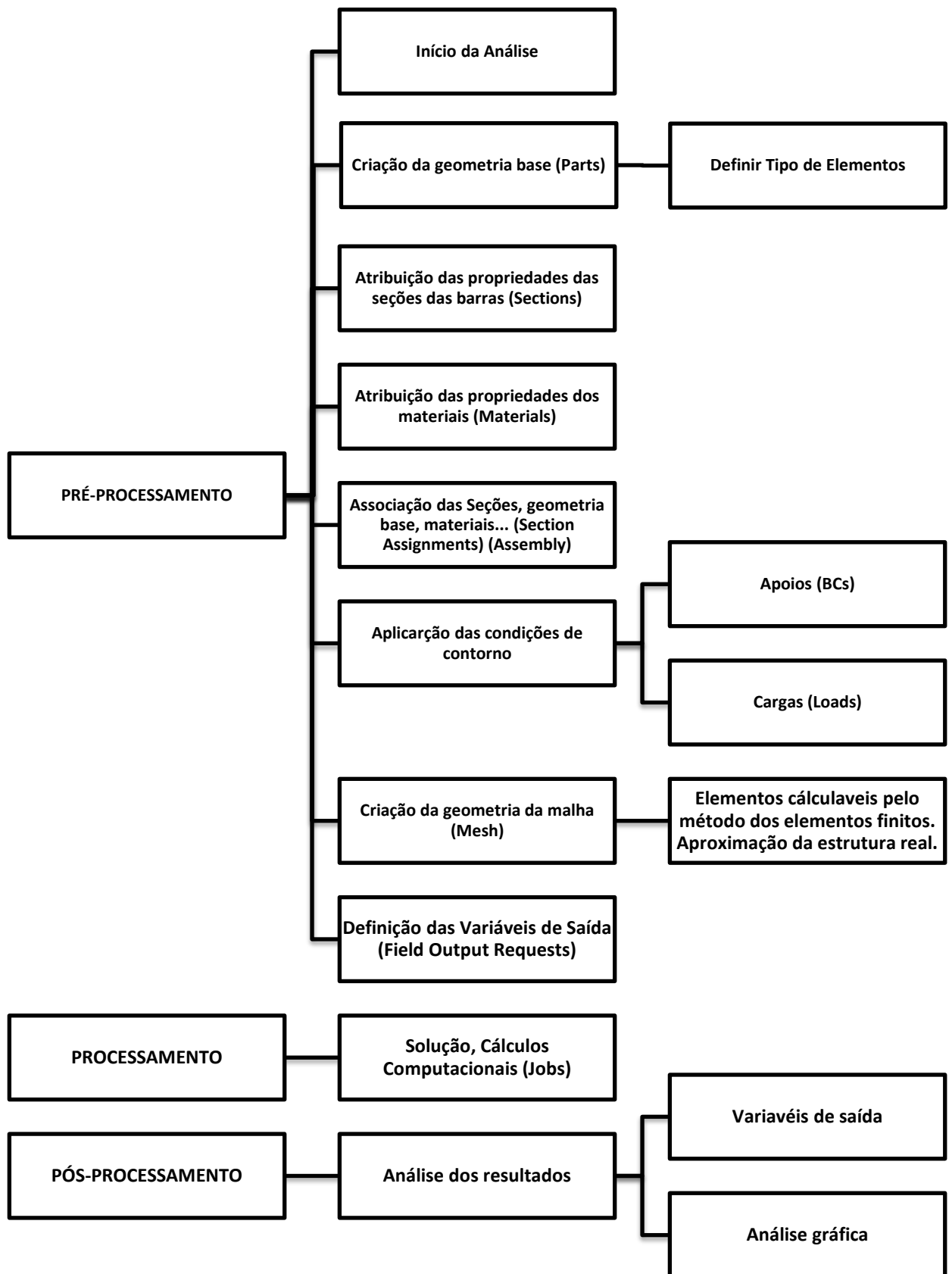
Comprimento: 4m

## 1.6. CARGA

Carregamento distribuído na face superior da Laje: 0.6 tf/m<sup>2</sup>

## 2. RESOLUÇÃO

O procedimento de resolução pode ser demonstrado no seguinte fluxograma (a ordem pode eventualmente ser quebrada em pontos específicos por conveniência):

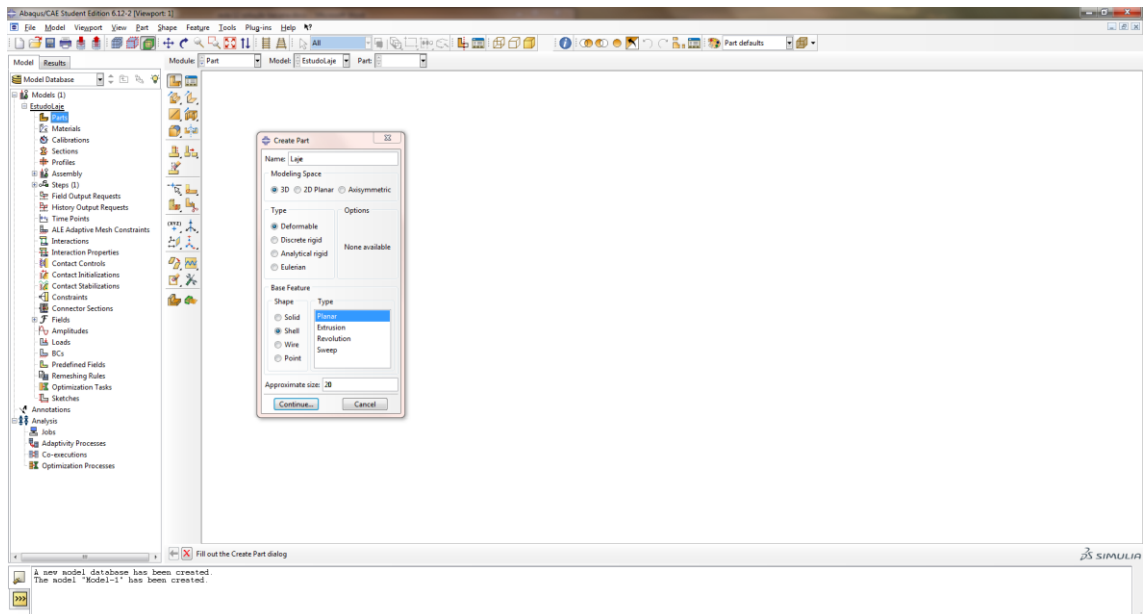


## 2.1. INÍCIO DA ANÁLISE

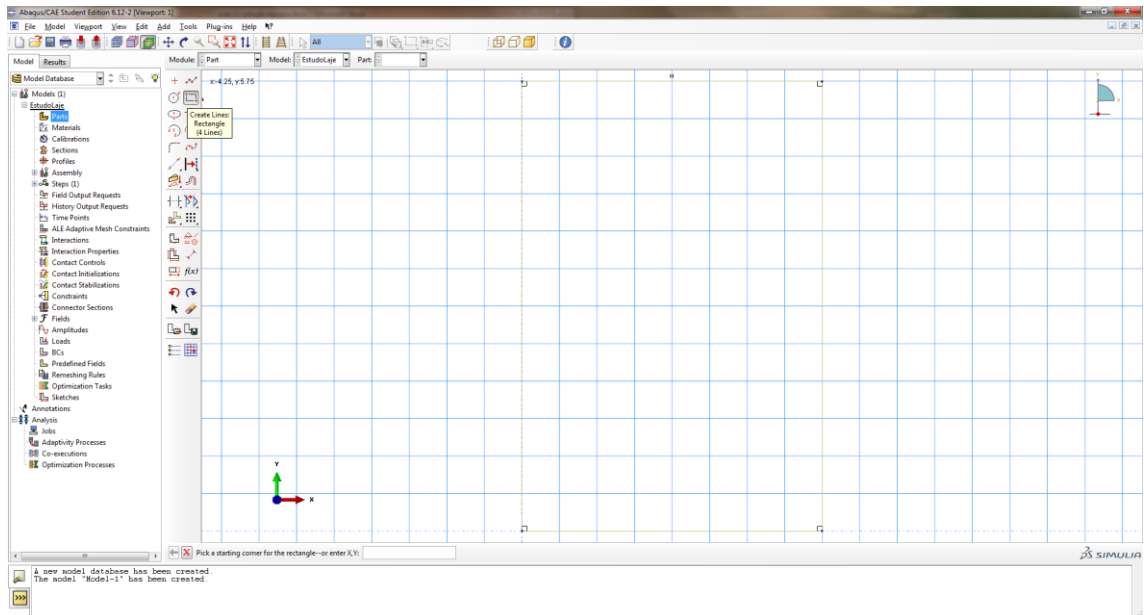
- ✓ Se você ainda não iniciou o programa **Abaqus/CAE**, **digite** *cmd* no **Menu Iniciar** para abrir o **Prompt de Comando** e nele **digite** *abq6122se cae* para executar o Abaqus.
- ✓ Em **Create Model Database** na caixa **Start Session** que aparece, **selecione** **With Standard/Explicit Model**.

## 2.2. PRÉ-PROCESSAMENTO 1

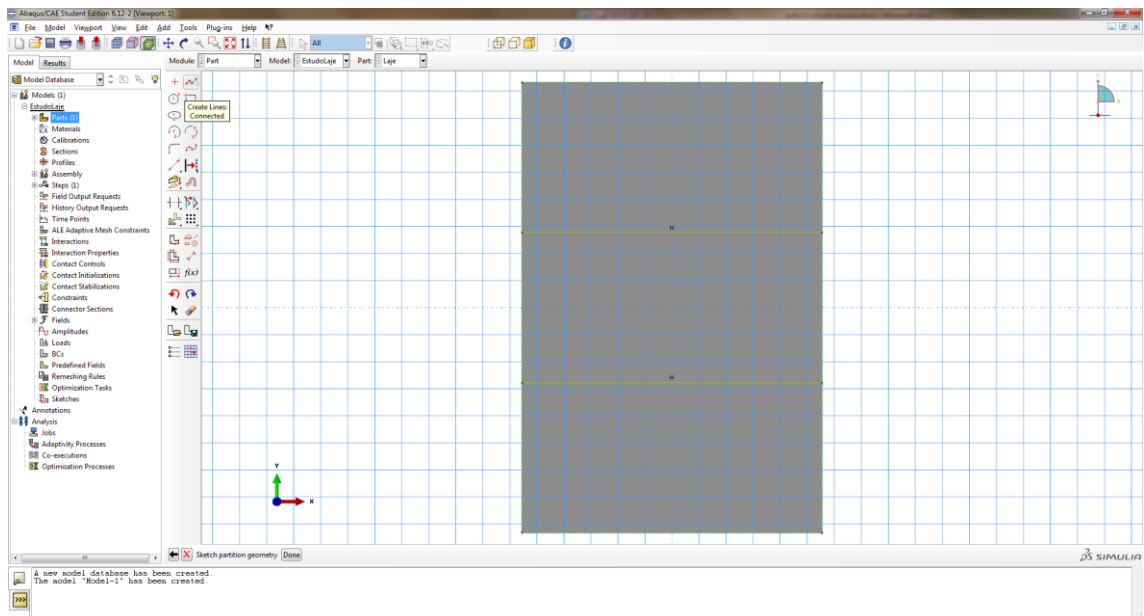
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Model-1** e **selecione** **Rename**. **Digite** *EstudoLaje*.
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Parts**, no campo **Name** **digite** *Laje*, e **selecione** as opções: **3D**, **Deformable**, **Shell**, **Planar**. Em **Approximate size** **digite** *20* e **clique** em **Continue...**



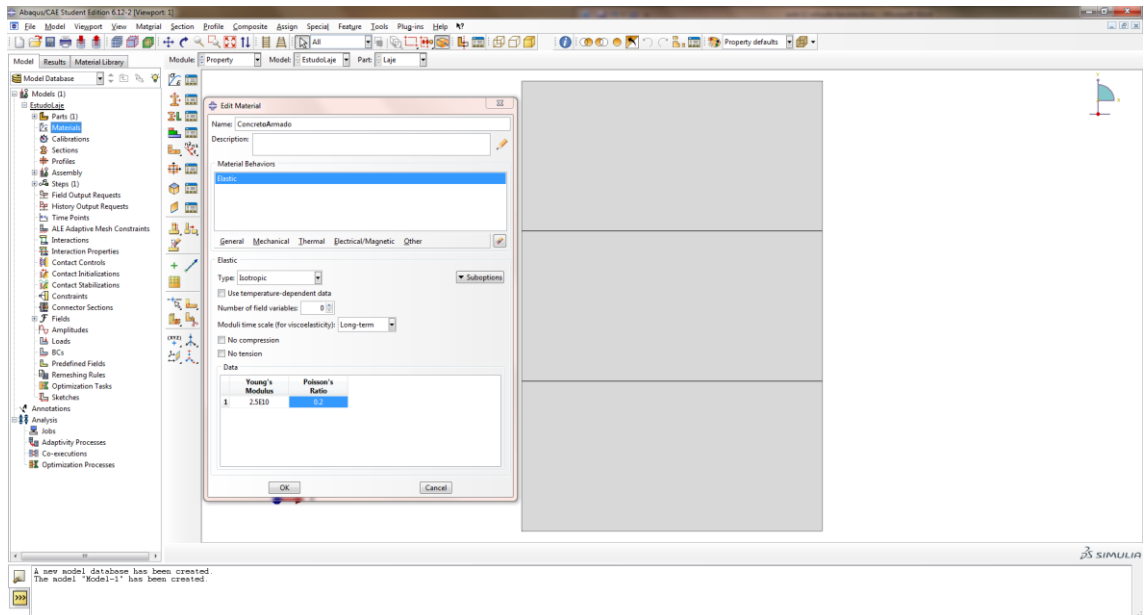
- ✓ Em seguida, **clique** em **Create Lines: Rectangle (4 Lines)** e **insira** as coordenadas *0,0 – 4,6*. **Desative** a função e **clique** em **Done**.



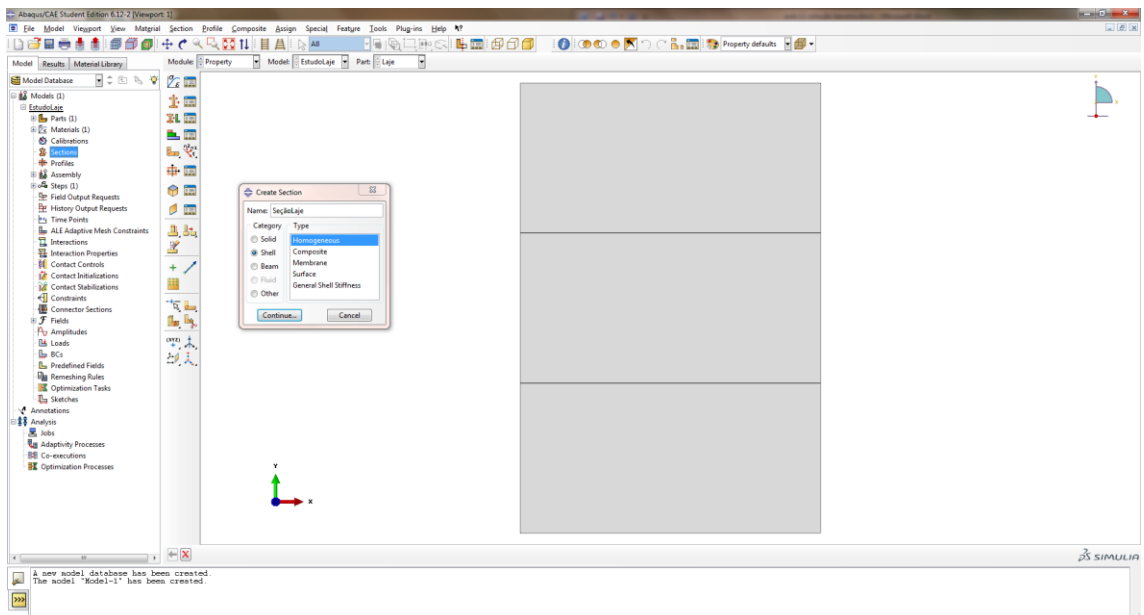
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Partition Face: Sketch**. **Selecione Vertical and on the left** e **clique** na aresta esquerda. Utilizando a ferramenta **Create Lines: Connected** **crie** duas linhas inserindo as coordenadas  $-2,1 / 2,1$  e  $-2,-1 / 2,-1$ . **Desative** a função **Create Lines: Connected** e **clique** em **Done**.



- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Materials**. Na janela **Edit Material** **Renomeie** o material para **ConcretoArmado**, **selecione Mechanical>Elasticity>Elastic** e **digite**  $2.5E10$  em **Young's Modulus** e  $0.2$  em **Poisson's Ratio**. **Clique** em **OK**.

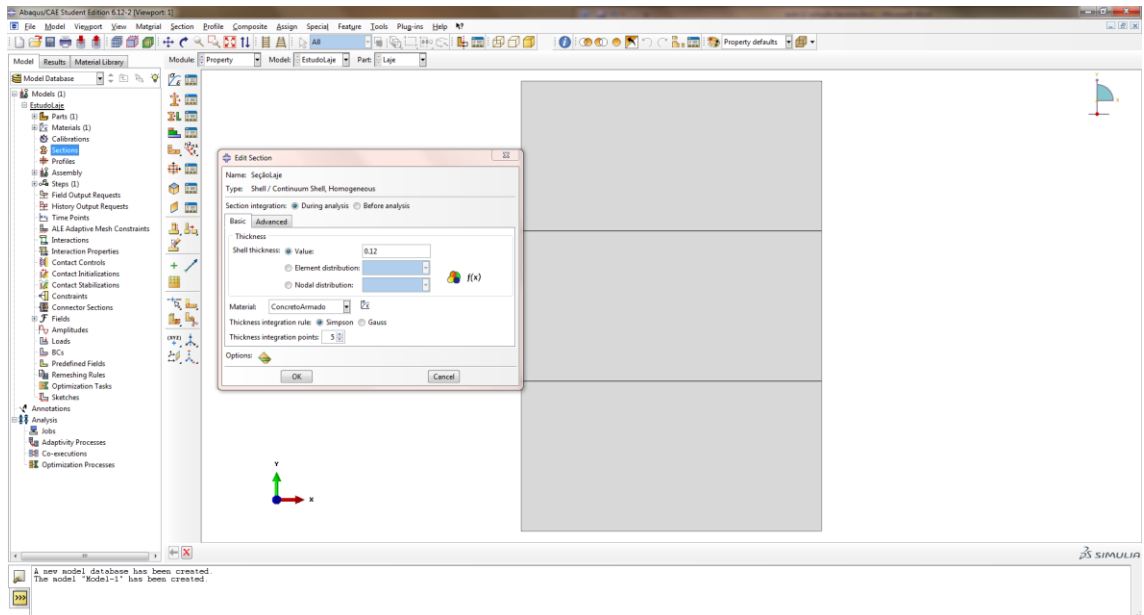


- ✓ No menu **Model** à esquerda, dê duplo clique em **Sections**. No campo **Name**: digite *SeçãoLaje*, em **Category** selecione **Shell**, e em **Type** selecione **Homogeneous**. Clique em **Continue...**

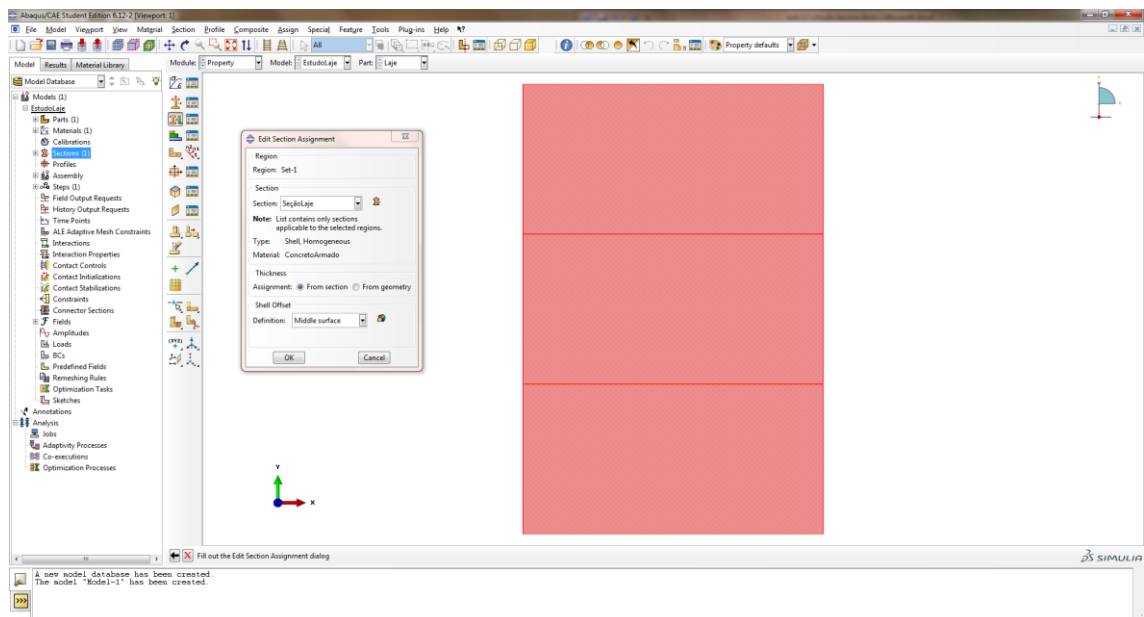


- ✓ Na janela **Edit Section**, **Certifique-se** de que *ConcretoArmado* está selecionado em **Material**, digite 0.12 no campo **Shell thickness > Value**: e clique em **OK**.

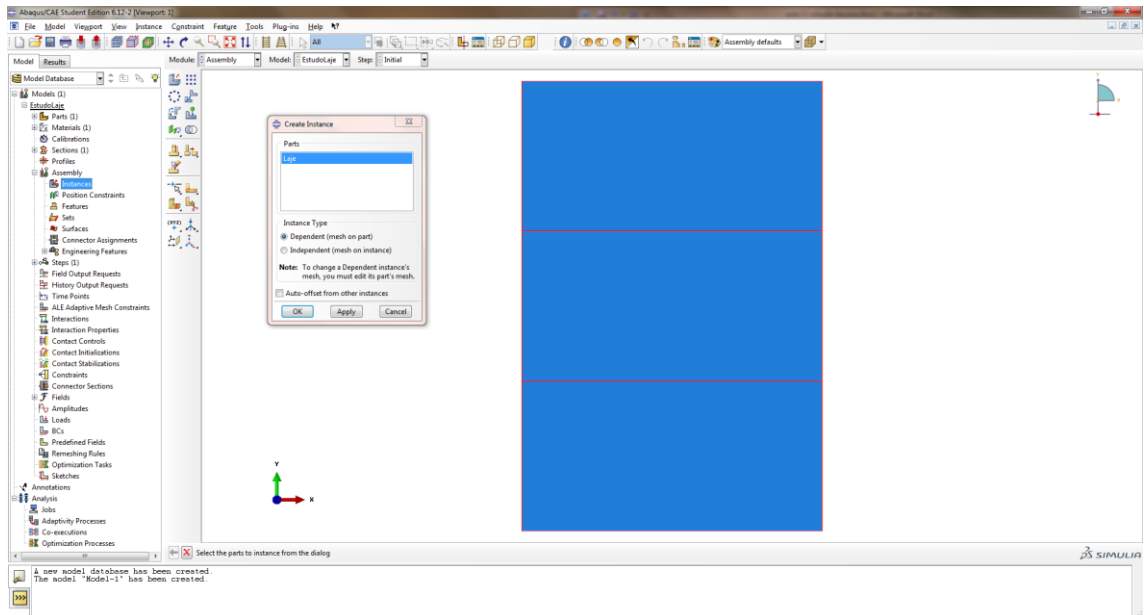




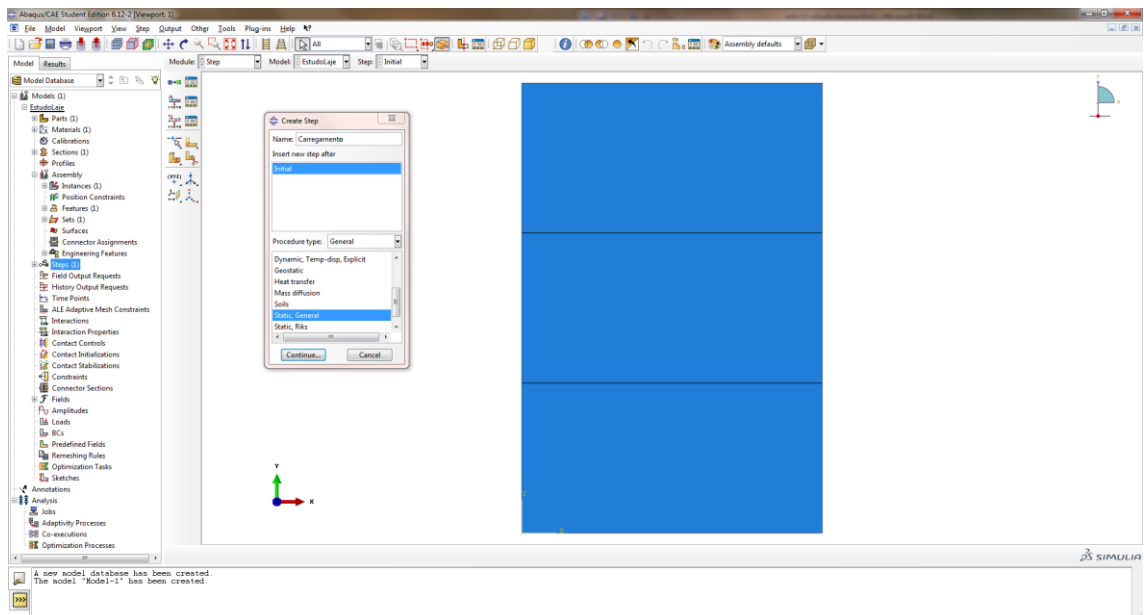
- ✓ Na caixa de ferramentas **clique** em **Assign Section**. **Selecione** toda a laje e **clique** em **Done**. **Selecione** **SeçãoLaje** e **clique** em **OK**.



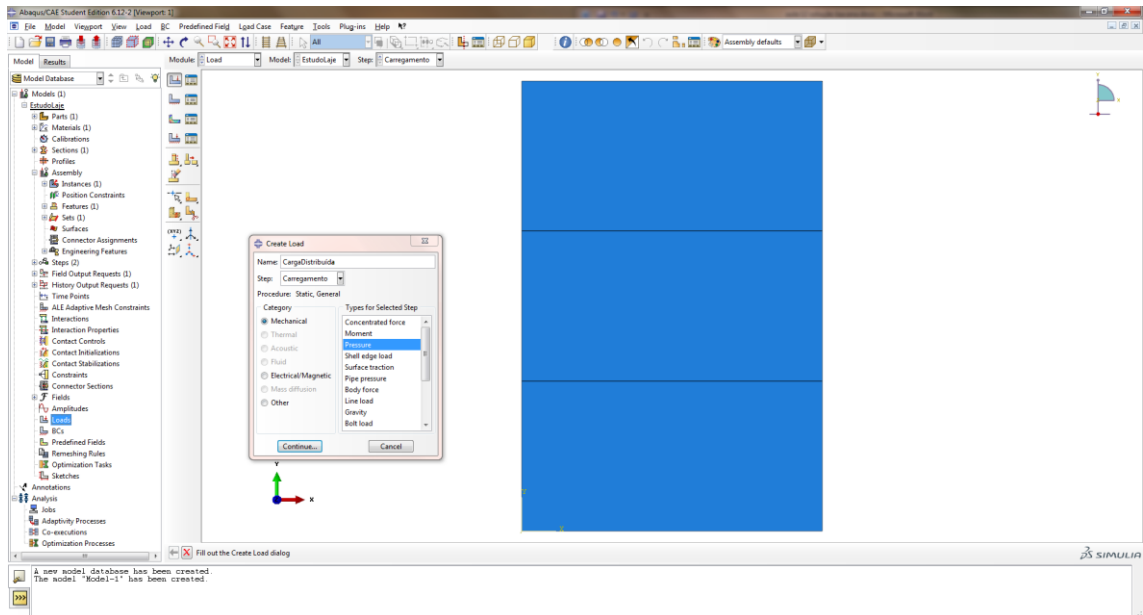
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **abra** **Assembly**, **dê** duplo clique em **Instances** e **clique** em **OK** na janela **Create Instance**.



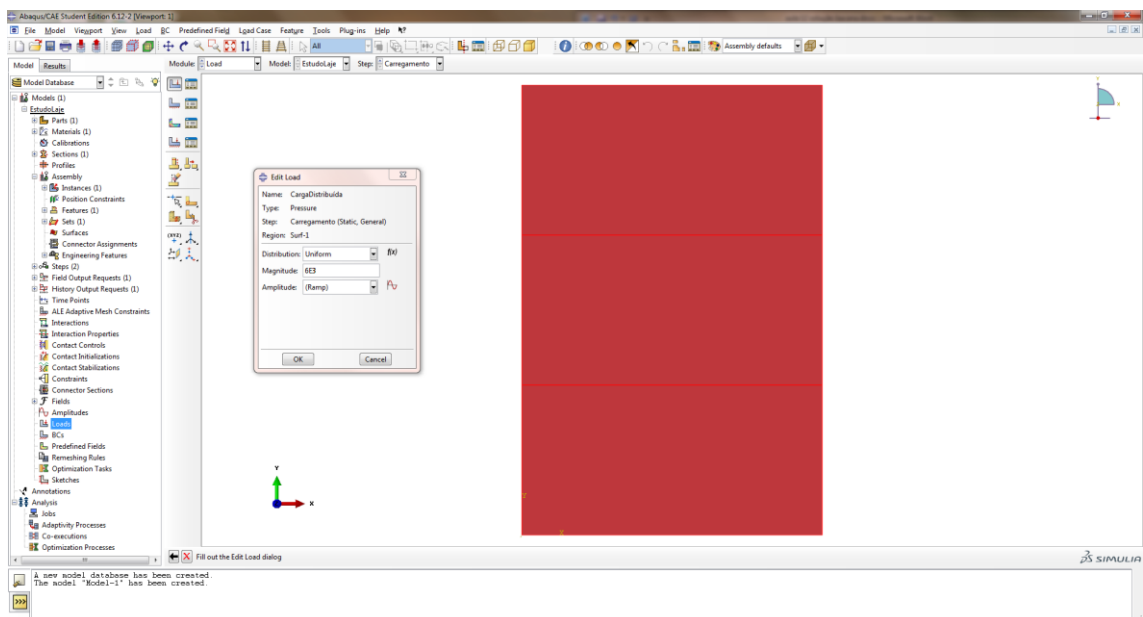
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Steps**. **Digite** **Carregamento** no campo **Name**: e **Clique** em **Continue...** Então **clique** **OK** na nova janela que se abre.



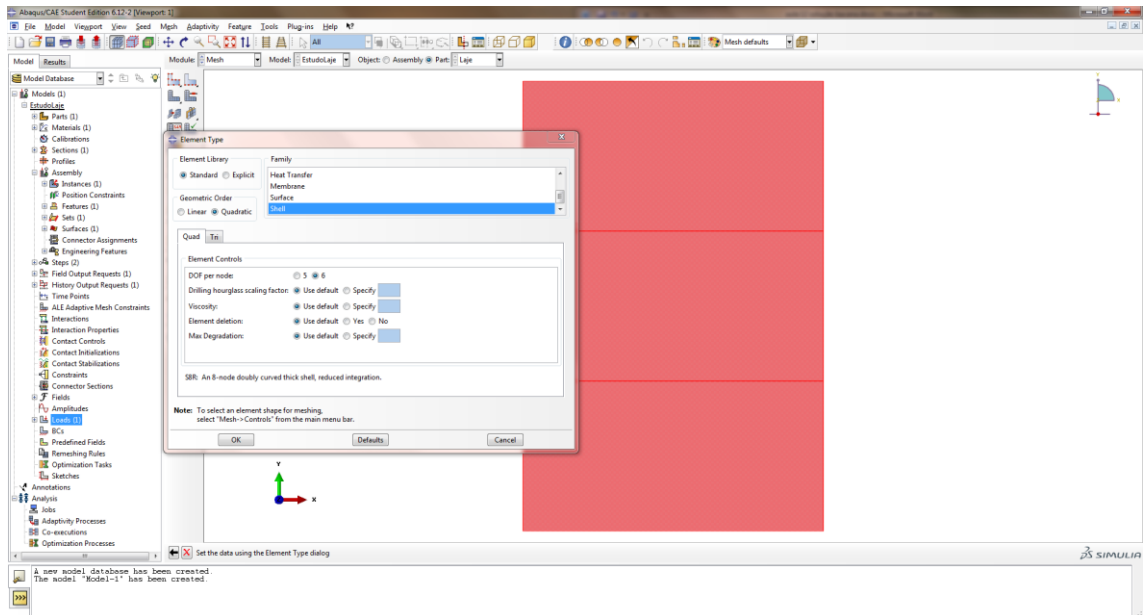
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Loads**. Na janela **Create Load**, no campo **Name** **digite** **CargaDistribuída**, em **Types for Selected Step** **selecione** **Pressure** e **clique** em **Continue...**



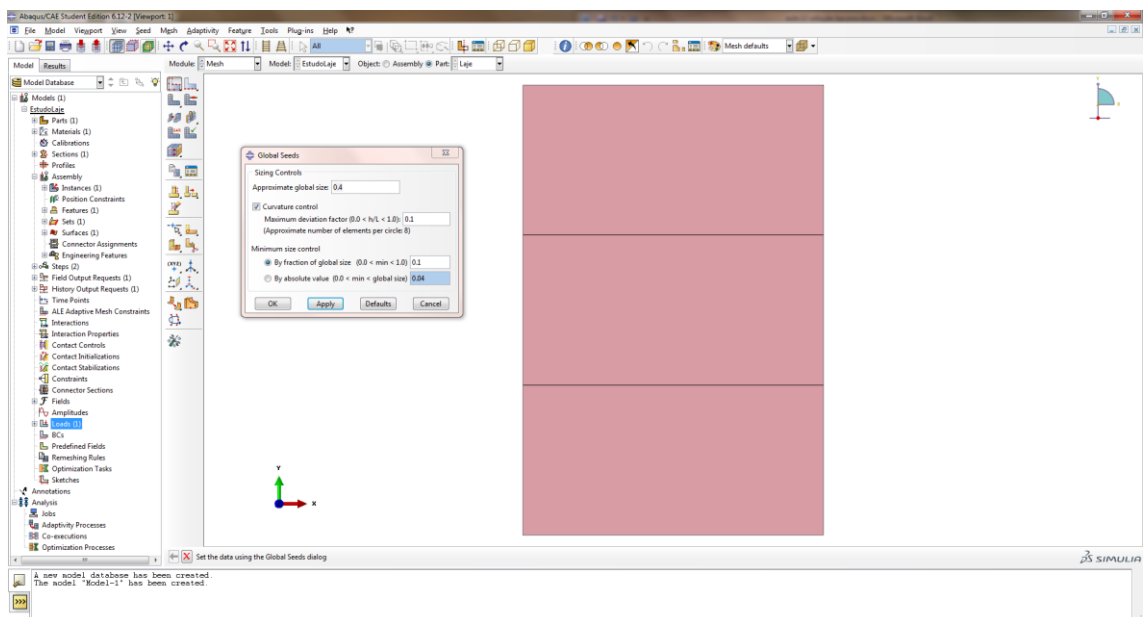
- ✓ **Selecione** toda a Laje, **clique** em **Done** e então **clique** na opção **Brown**. Na janela **Edit Load**, **digite**  $6E3$  no campo **Magnitude**: e **clique** em **OK**.



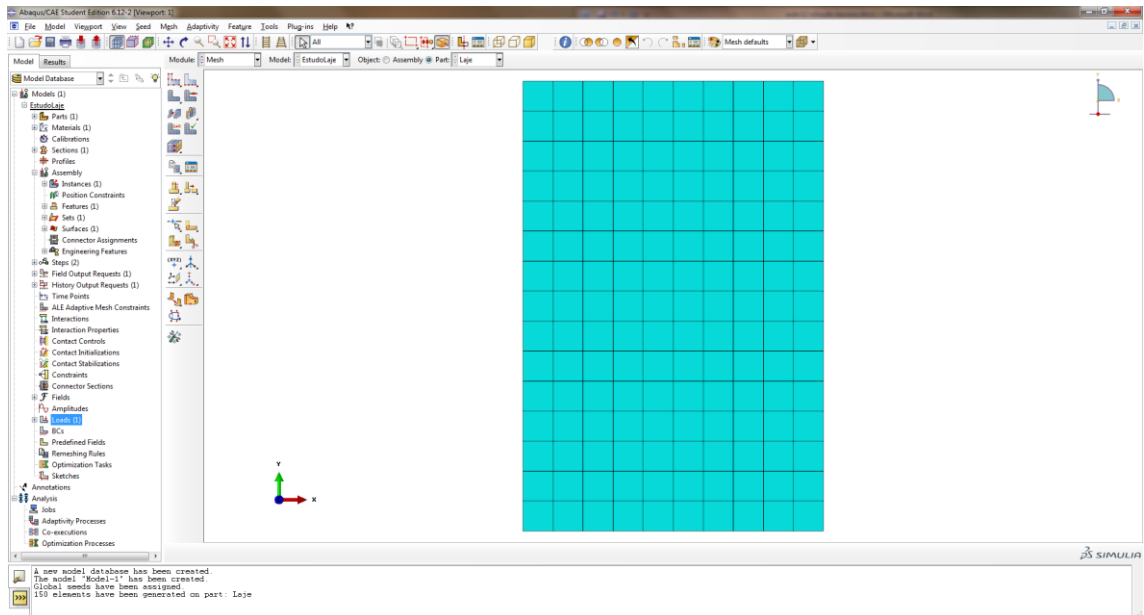
- ✓ Na barra de contexto, em **Module**, **selecione** **Mesh**, e em **Object**, **selecione** **Part**. Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Element Type** e **selecione** com o mouse toda a placa. **Clique** em **Done**, abrirá a janela **Element Type**. Em **Family**, **selecione** **Shell** e em **Geometric Order**, **selecione** **Quadratic**. **Clique** em **OK**.



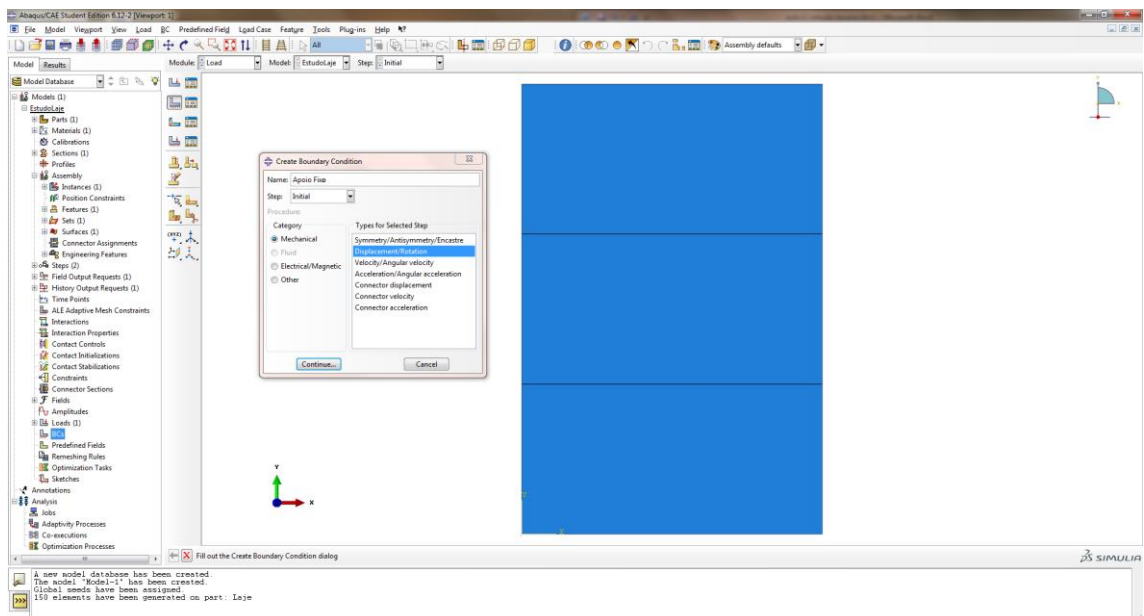
✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Seed>Part** e **clique** em **OK**.



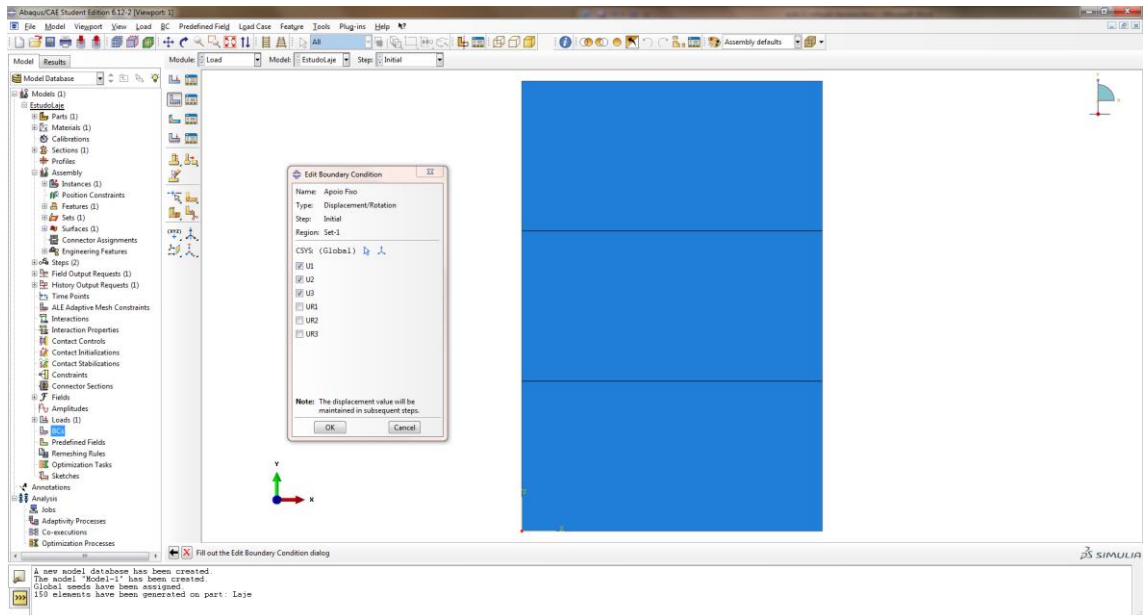
✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Part**. Aparecerá a pergunta “OK to mesh the part?”, **clique** **Yes**. **Perceba** que a placa fica na cor azul.



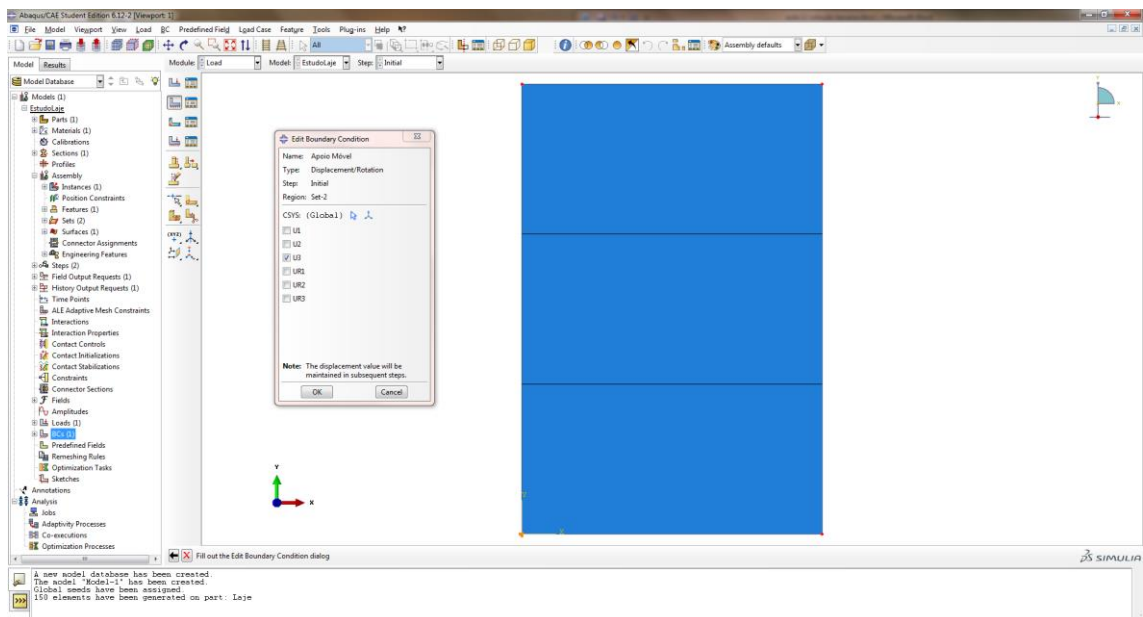
- ✓ A partir desse passo será caracterizado o caso da laje simplesmente apoiada.
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **BCs**. Na janela **Create Boundary Condition**, **altere** o campo **Name** para *ApoioFixo*, **Step** para **Initial** e **Types for Selected Step** para **Displacement/Rotation**. **Clique** em **Continue...**



- ✓ **Selecione** o vértice 0,0 e **clique** em **Done**. **Marque** U1, U2 e U3 na janela **Edit Boundary Condition** e **clique** em **OK**.



- ✓ **Repita** os 2 últimos passos para criar o Apoio Móvel nos demais vértices, marcando então apenas **U3**.

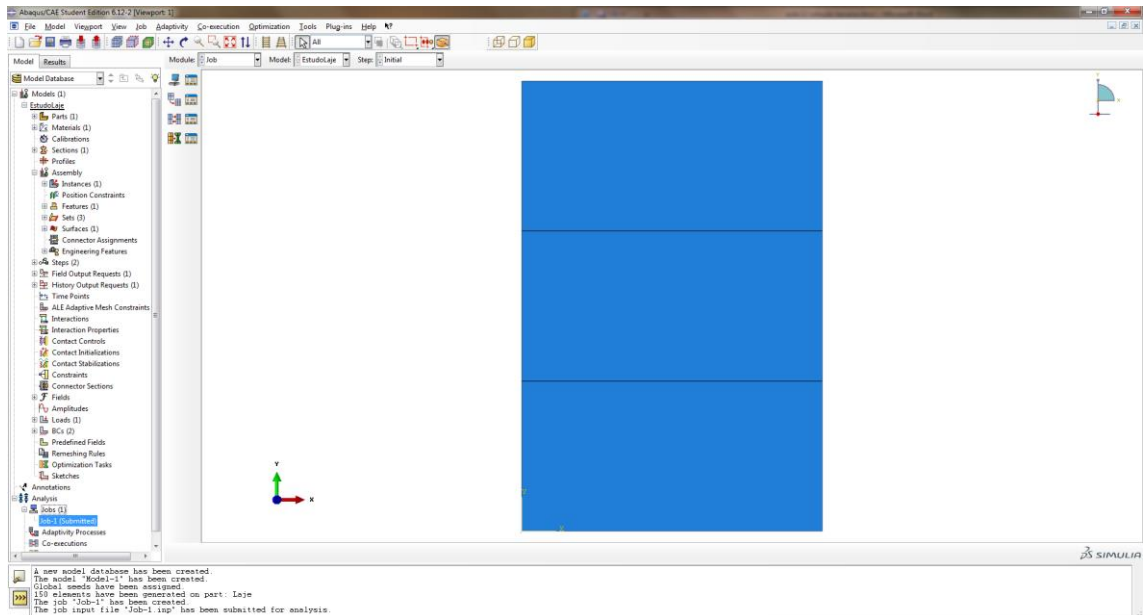


- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Seed>Part** e **altere** approximate global size para **0.2**. **Clique** em **OK**.

### 2.3. PROCESSAMENTO 1

- ✓ No menu model à esquerda, **de duplo clique** em **Jobs**. Na janela **Create Job**, apenas **clique** em **Continue...** Na janela **Edit Job**, **clique** em **OK**.

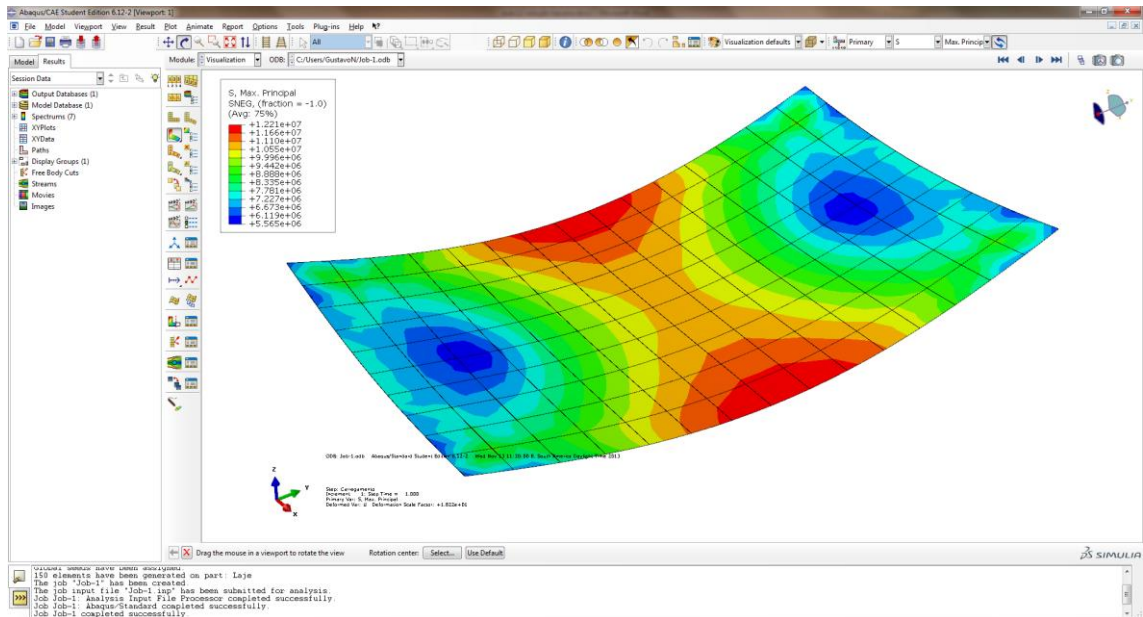
- ✓ **Abra Jobs** e **clique** com o botão direito em **Job-1**. **Clique** em **Submit**. Se aparecer uma janela dizendo “Job files already exist for Job-1. OK to overwrite?”, **clique** **OK**. **Aguarde** o processamento dos dados. Estará concluído quando aparecer “(Completed)” ao lado de **Job-1** no menu **model** à esquerda.



## 2.4. PÓS-PROCESSAMENTO 1

- ✓ No menu **model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Job-1(Completed)>Results**. A tela de análise de dados se abrirá. Na caixa de ferramentas, **clique** em **Plot Contours on Deformed Shape**.
- ✓ Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione** **S> Max**. **Principal**. Na barra de menus principal, **clique** em **Viewport>Viewport Annotation Options...** Na janela aberta, **selecione** a aba **Legend**. **Clique** em **Set Font**. Na nova janela, **altere** **Size** para **14**. **Clique** **OK** nas duas janelas abertas.



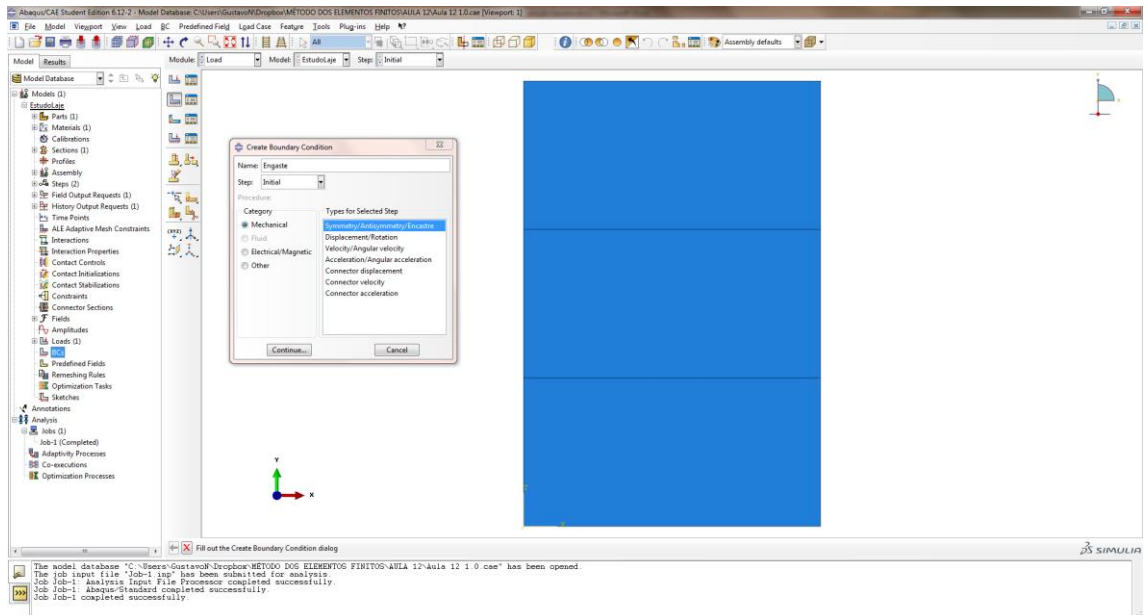


- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **File>Save As....** **Dê** um nome ao arquivo e **clique** em **OK** (É possível também salvar o arquivo com os resultados já calculados - **job-1.odb**).

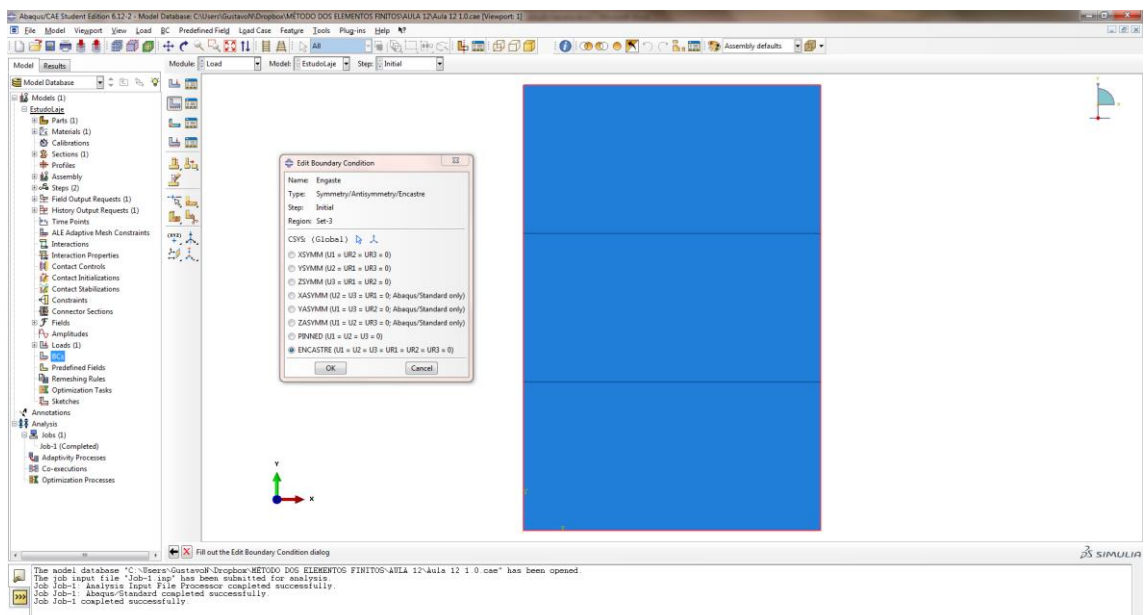
## 2.5. PRÉ-PROCESSAMENTO 2

- ✓ Os próximos passos se referem à resolução do caso da laje engastada.
- ✓ Na barra de contexto, **selecione** **Load**. No menu model à esquerda **abra** **BCs** e **clique** com o botão direito do mouse sobre o Apoio fixo e o Apoio Móvel e **selecione** **Delete...** Será necessário confirmar a ação, apenas **clique** em **Yes**.
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **BCs**. Na janela **Create Boundary Condition**, **altere** o campo **Name** para **Engaste**, **Step** para **Initial** e **Types** for **Selected Step** para **Symmetry/Antisymmetry/Encastre**. **Clique** em **Continue...**



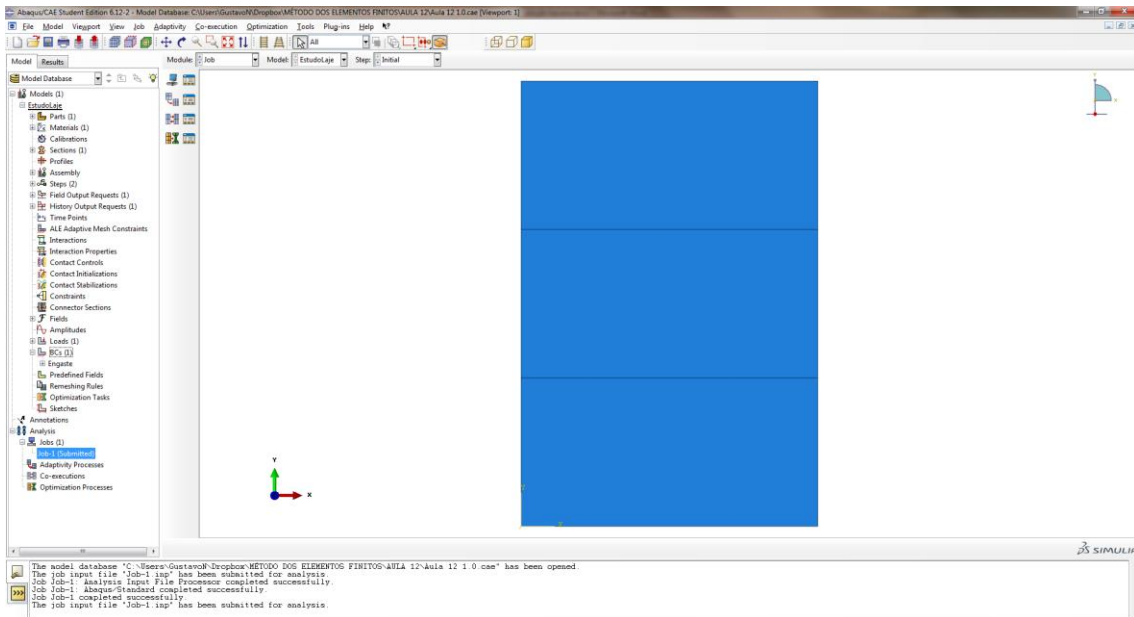


- ✓ **Selecione** todas as bordas da laje e **clique** em **Done**. **Marque** **ENCASTRE** ( $U1 = U2 = U3 = UR1 = UR2 = UR3 = 0$ ) na janela **Edit Boundary Condition** e **clique** em **OK**.



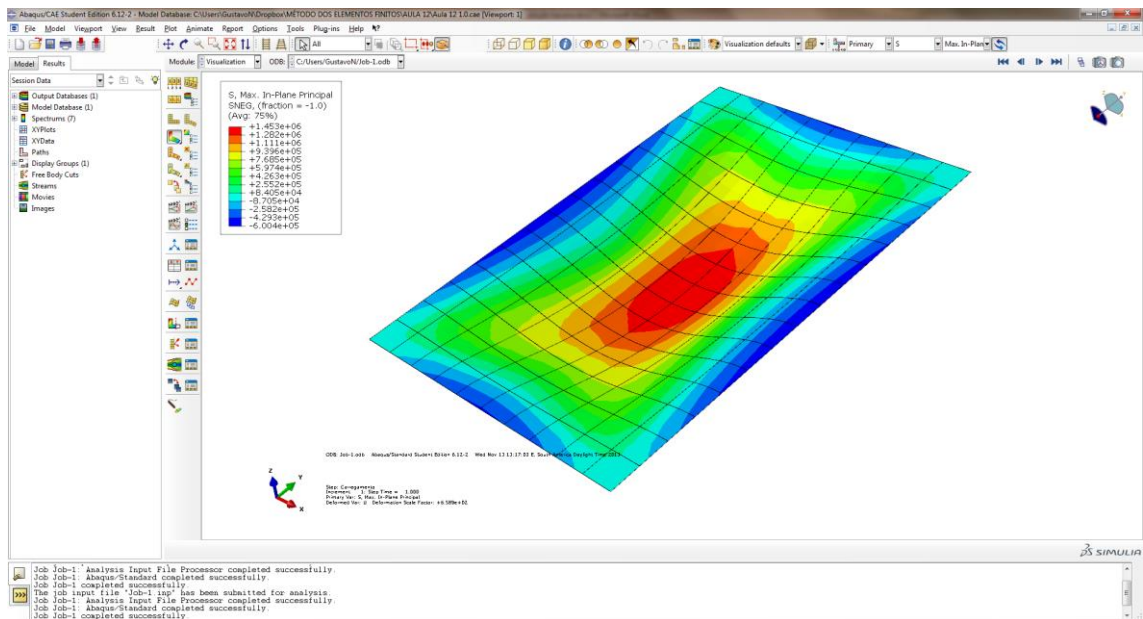
## 2.6. PROCESSAMENTO 2

- ✓ No menu **model** a esquerda, **clique** com o botão direito em **Jobs (1)**>**Job-1**. **Clique** em **Submit**. **Clique** em **OK**. **Aguarde** o processamento dos dados.



## 2.7. PÓS-PROCESSAMENTO 2

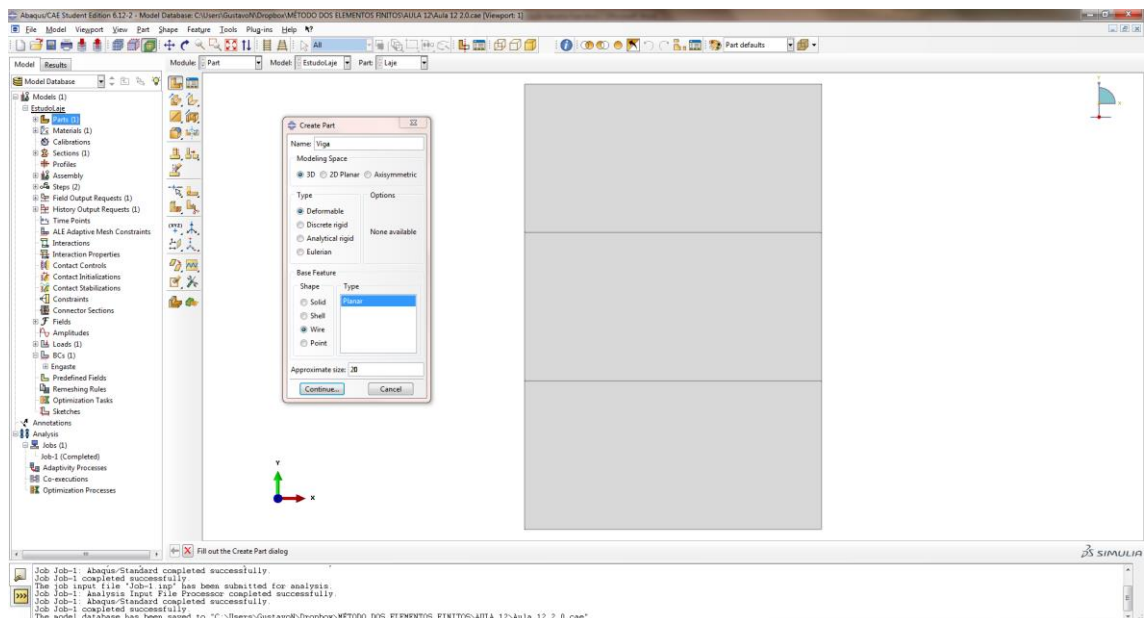
- ✓ No menu **model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Job-1(Completed)>Results**. A tela de análise de dados se abrirá. Na caixa de ferramentas, **clique** em **Plot Contours on Deformed Shape**.
- ✓ Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione S> Max. In-Plane Principal**.



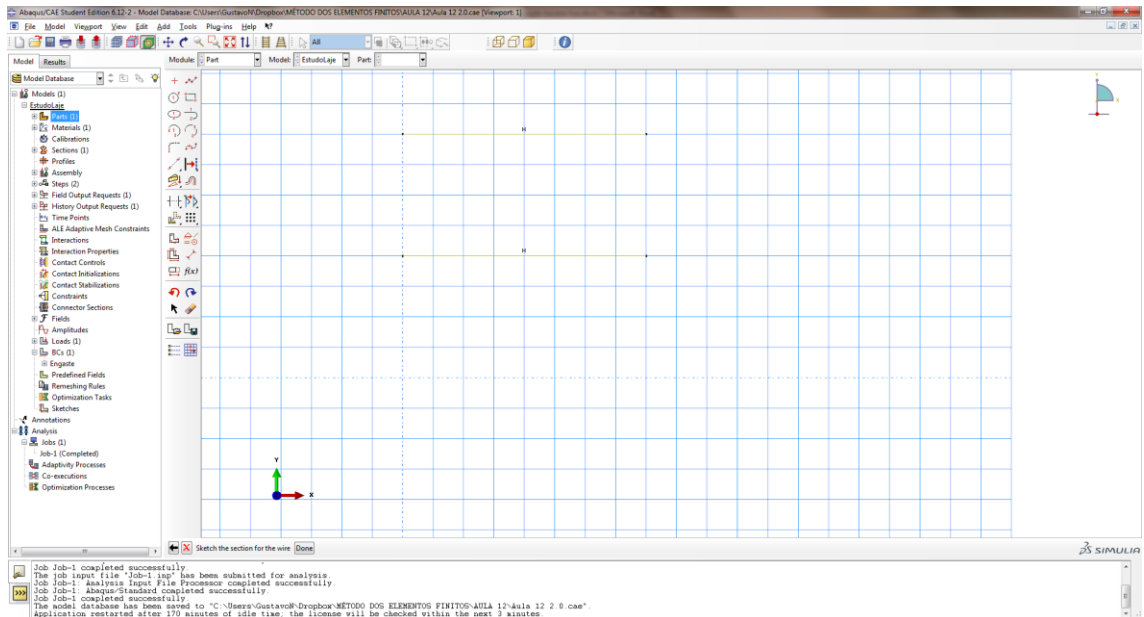
- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **File>Save As...** **Dê** um nome ao arquivo e **clique** em **OK** (É possível também salvar o arquivo com os resultados já calculados - **job-1.odb**).

## 2.8. PRÉ-PROCESSAMENTO 3

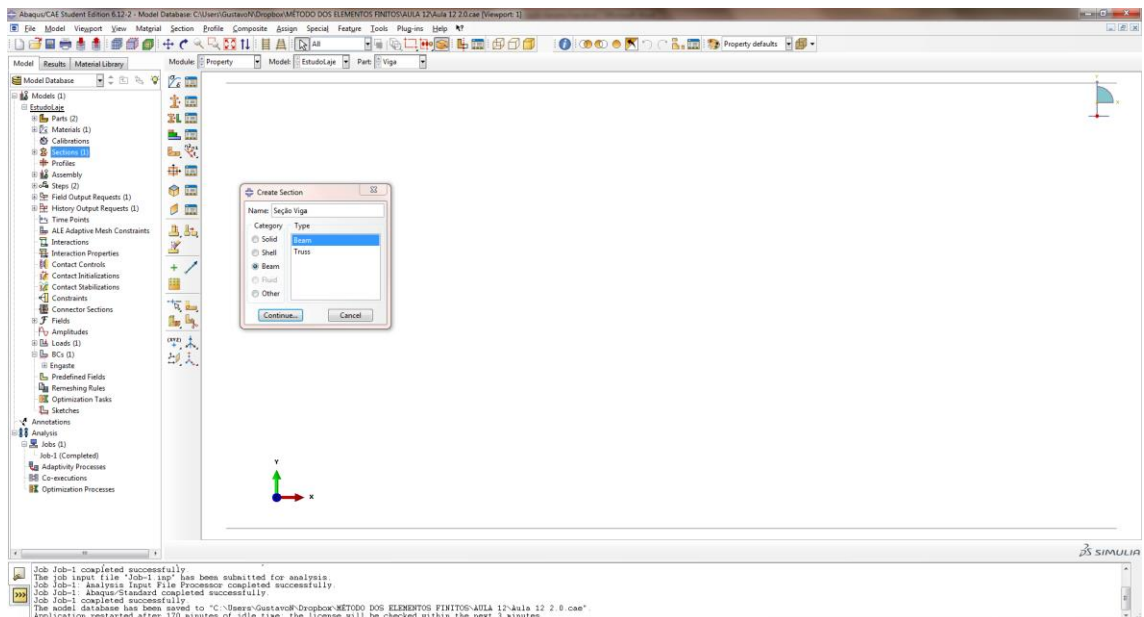
- ✓ Os próximos passos se referem à resolução do caso da laje engastada com vigas de suporte
- ✓ Na barra de contexto, **selecione** **Part**. No menu model à esquerda **dê** duplo clique em **Parts (1)**. No campo **Name** **digite** **Viga**, e **selecione** as opções: **3D**, **Deformable**, **Wire**, **Planar**. Em **Approximate size** **digite** **20** e **clique** em **Continue...**



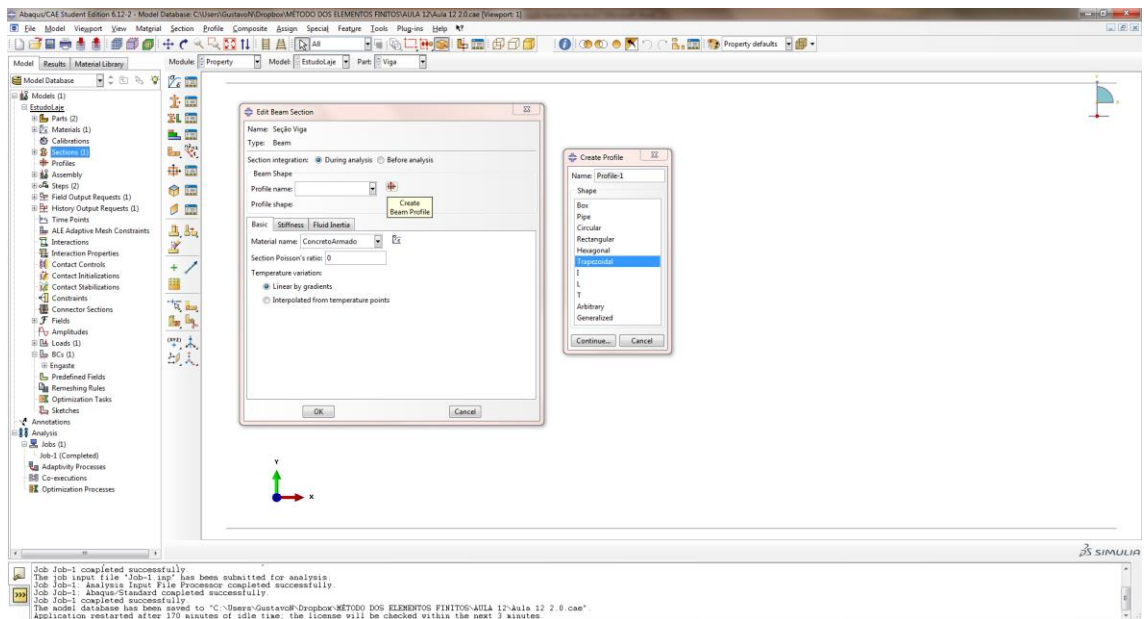
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Create Lines: Connected** **faça** duas linhas inserindo as coordenadas **0,2 / 4,2** e **0,4 / 4,4**. **Desative** a função **Create Lines: Connected** e **clique** em **Done**.



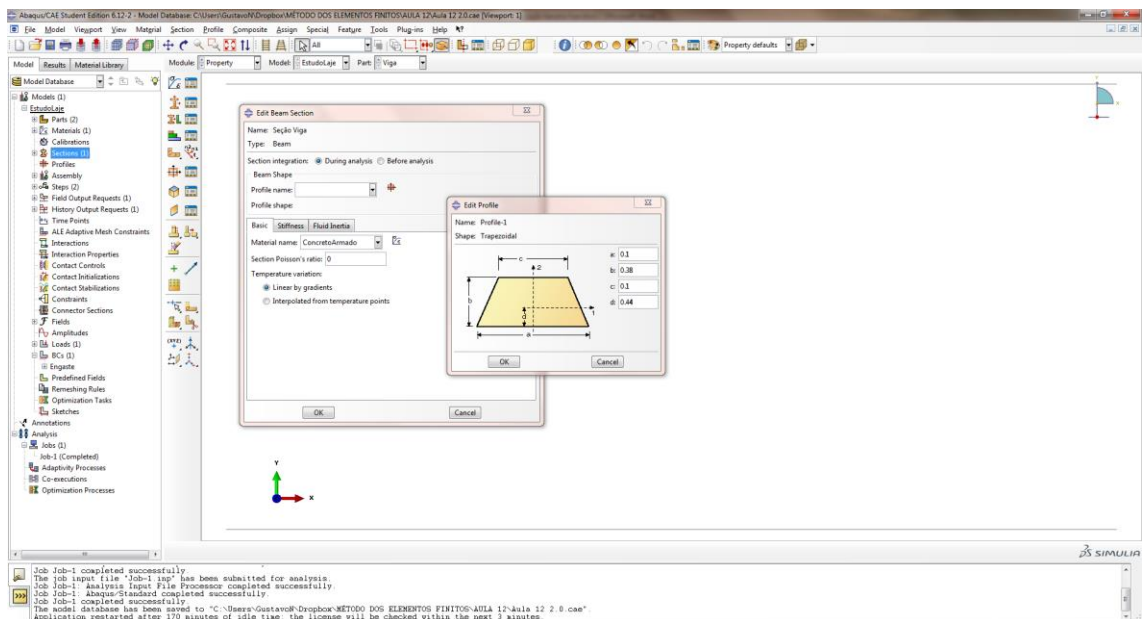
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Sections (1)**. No campo Name: **digite** **Seção Viga**, em Category **selecione** **Beam**, e em Type **selecione** **Beam**. **Clique** em **Continue...**



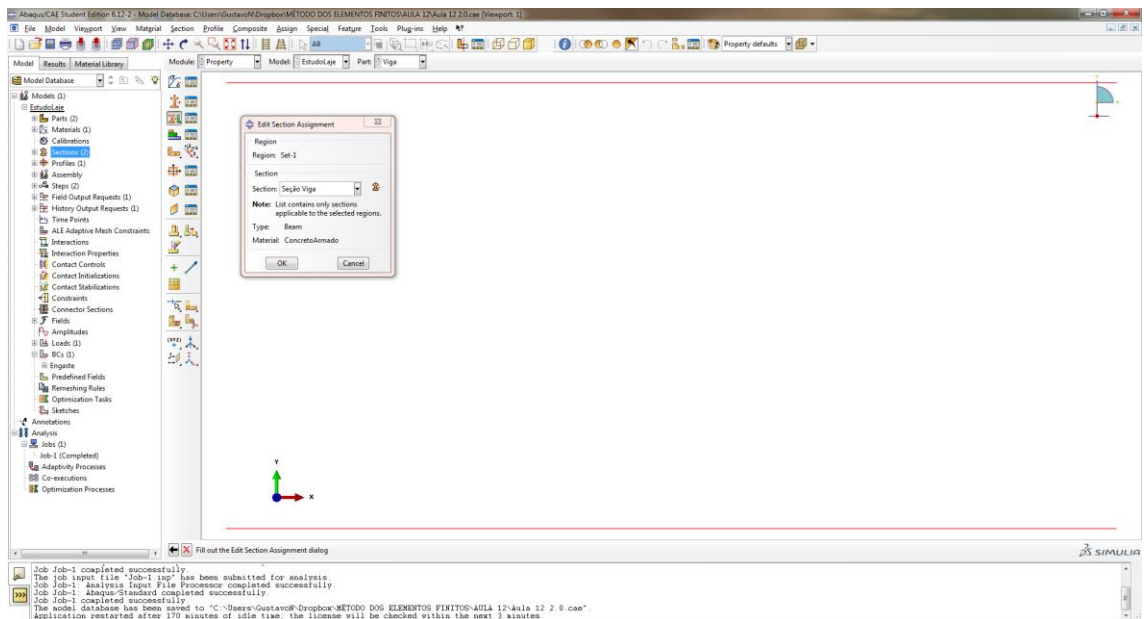
- ✓ Na janela Edit Beam Section, **clique** em **Create Beam Profile**. Na nova Janela, em Shape **selecione** **Trapezoidal** e **clique** em **Continue...**



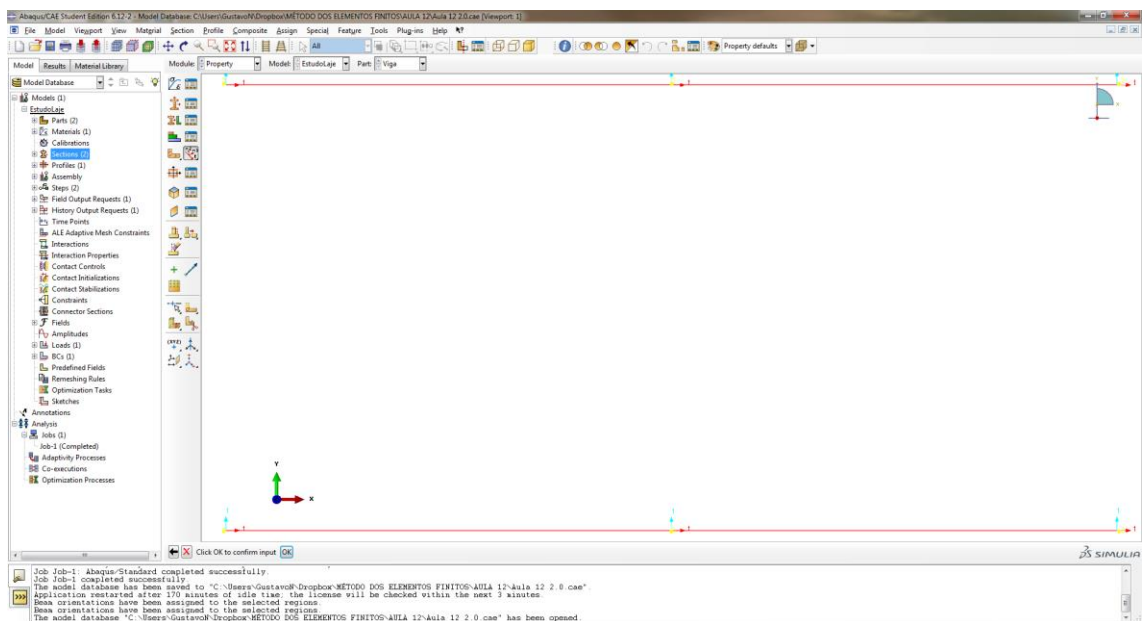
✓ No campo a **digite** 0.1, em b 0.38, em c 0.1 e em d 0.44. Então **clique** em OK e OK novamente.



✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em Assign Section. **Selecione** as duas Vigas e **clique** em Done. Em seguida **clique** em OK.

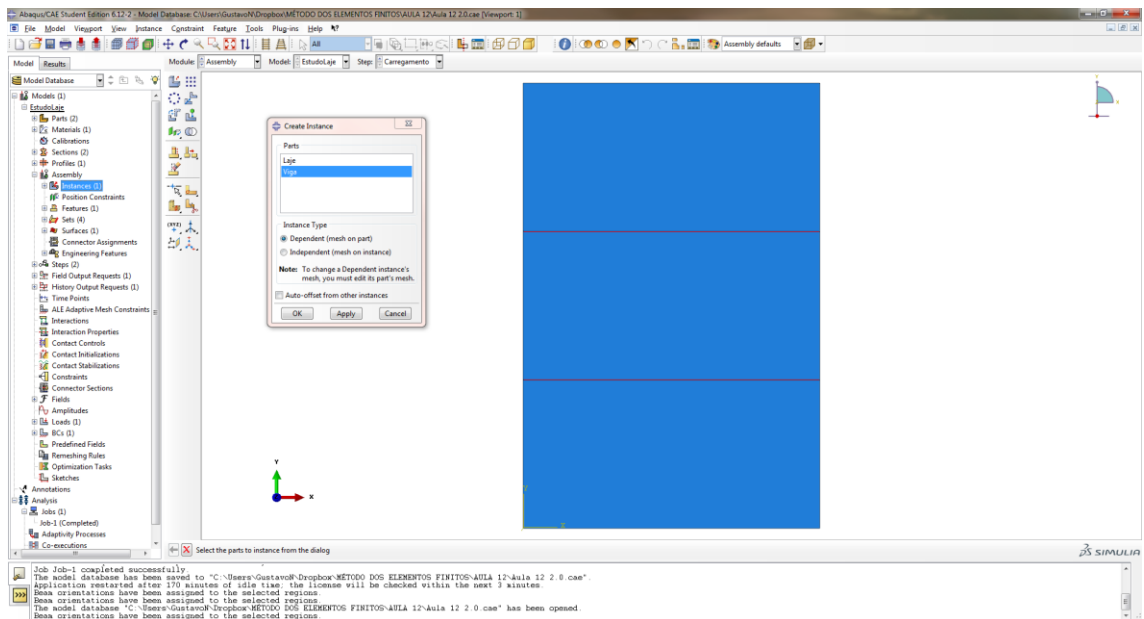


- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em Assign Beam Orientation. **Selecione** as duas Vigas e **clique** em Done. Em seguida **digite** 0,1,0, **tecle** enter e **clique** em OK.

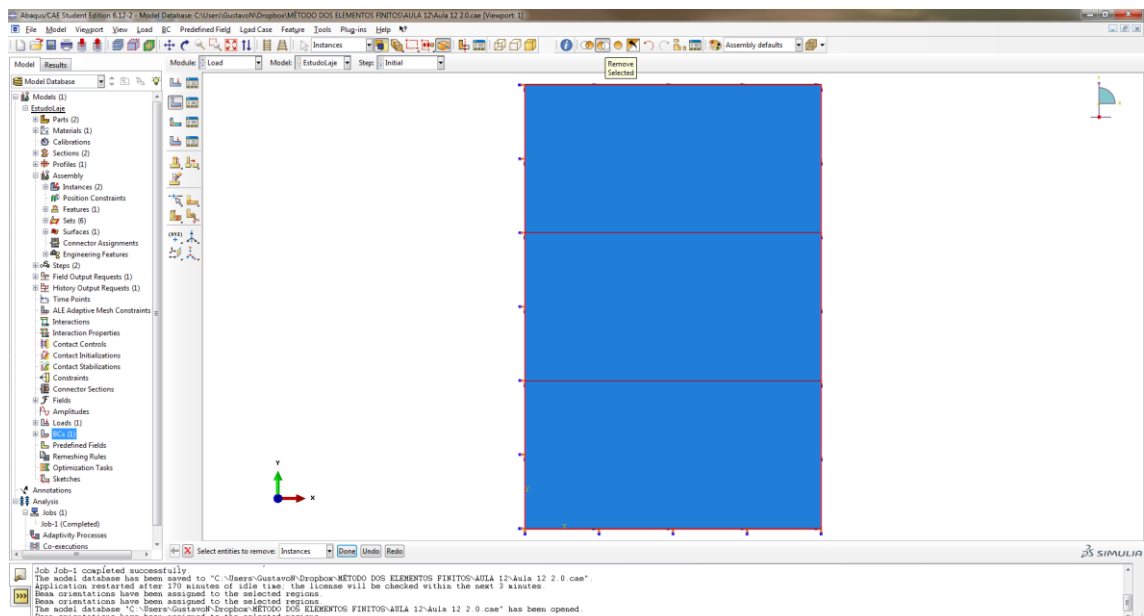


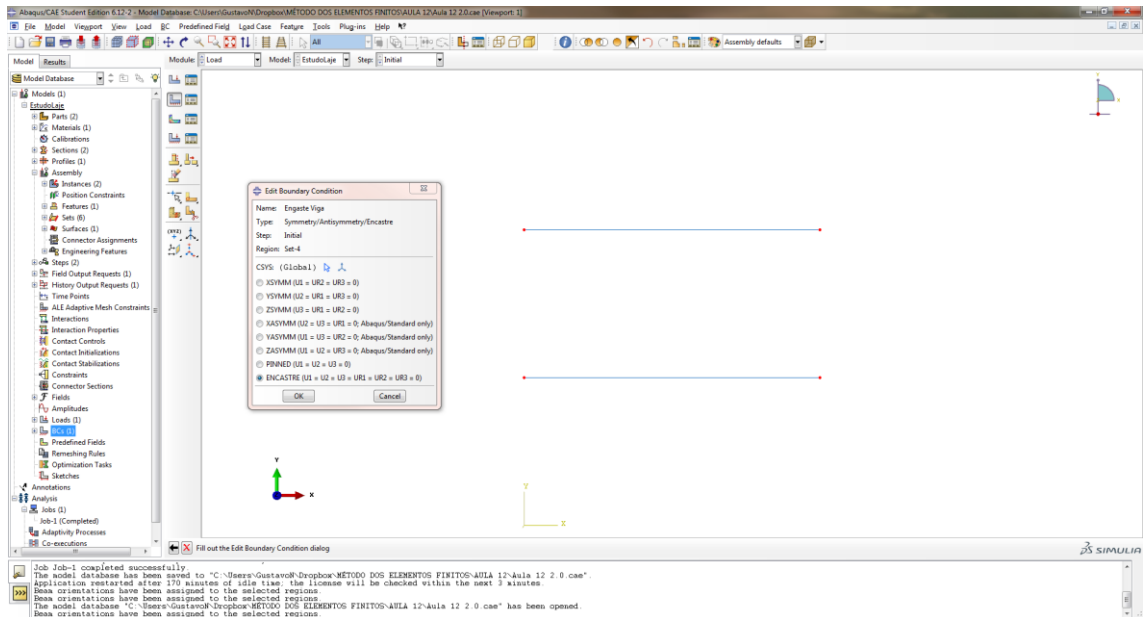
- ✓ No menu model a esquerda **abra** Assembly e **dê** duplo clique em Instances. **Selecione** a Part Viga e **clique** em OK.



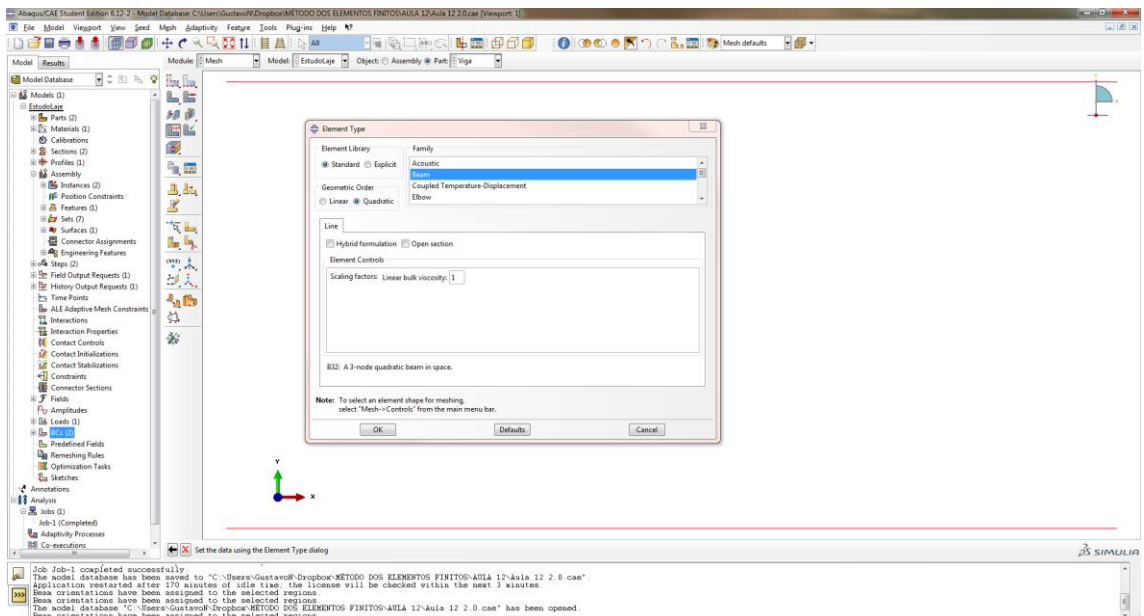


- ✓ No menu model a esquerda, **clique** duplo clique em BCs (1). No campo Name **digite** Engaste Viga, **troque** Step para Initial e Types for Selected Step para Symmetry/Antisymmetry/Encastre e **clique** em Continue... **clique** em Remove Selected, **selecione** Instances em Select entities to remove, **selecione** a Laje e **clique** em Done duas vezes. **Selecione** as 2 pontas de cada viga e **clique** em Done. Na janela Edit Boundary Condition, **marque** ENCASTRE ( $U_1 = U_2 = U_3 = UR_1 = UR_2 = UR_3 = 0$ )



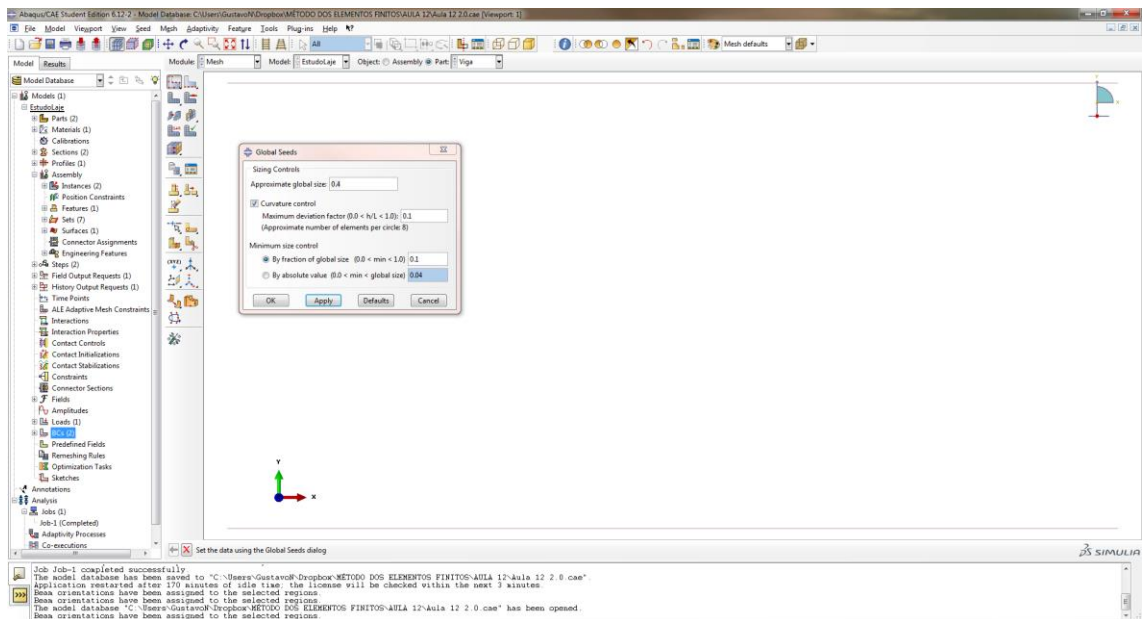


- ✓ Na barra de contexto, em **Module**, **selecione Mesh**, e em **Object**, **selecione Part>Viga**. Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Element Type** e **selecione** as duas vigas. **Clique** em **Done**, abrirá a janela **Element Type**. Em **Family**, **selecione Beam** e em **Geometric Order**, **selecione Quadratic**. **Clique** em **OK**.

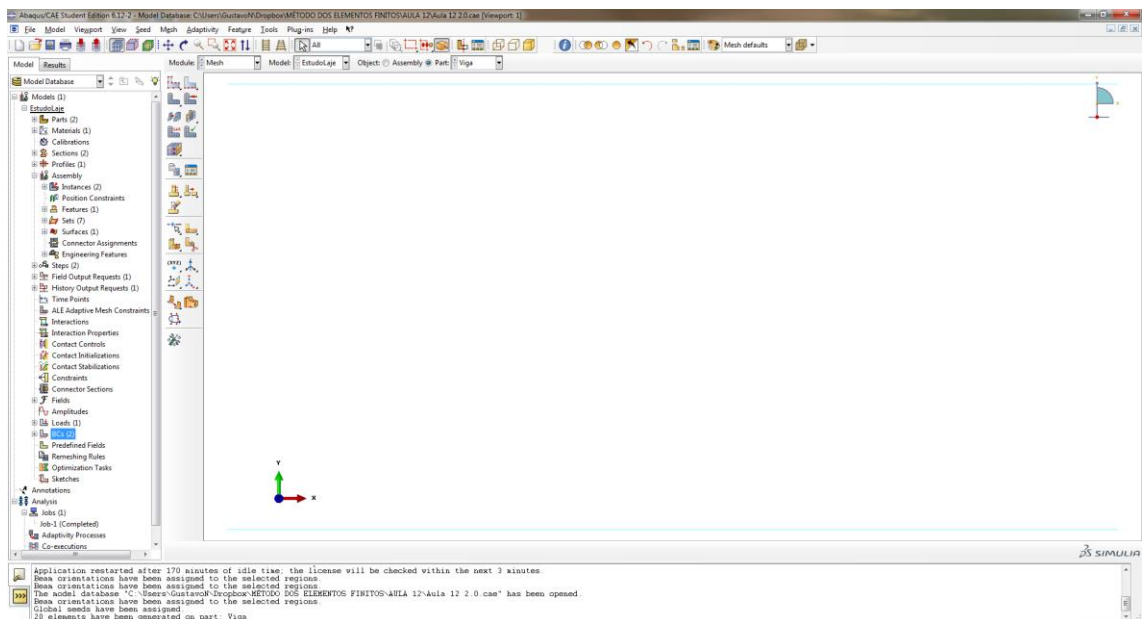


- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Seed>Part** e **clique** em **OK**.

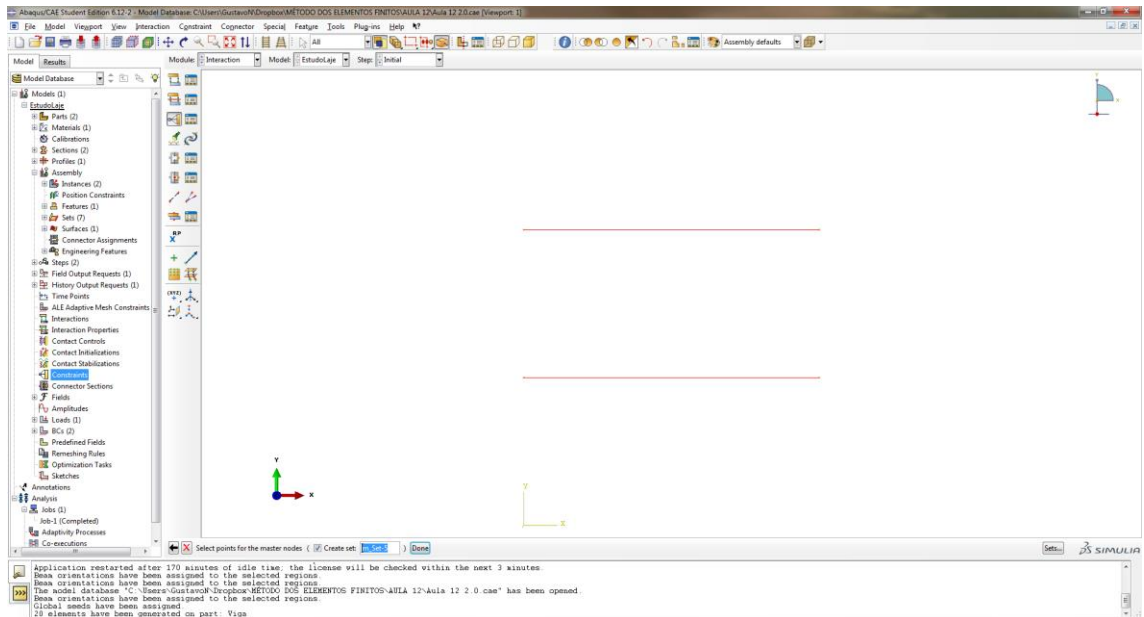




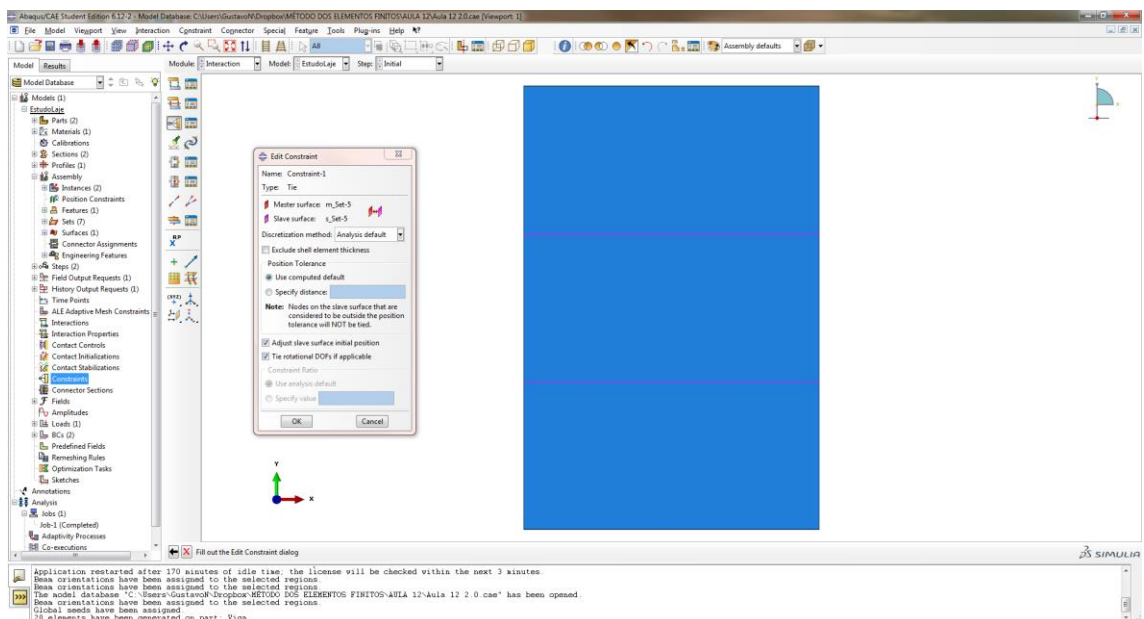
- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Part**. Aparecerá a pergunta “OK to mesh the part?”, **clique** **Yes**.



- ✓ No menu model a esquerda, **dê** duplo clique em **Constraints**. Na janela que se abre, **selecione** **Tie** e **clique** em **Continue...** **Clique** em **Node Region**, **selecione** as duas vigas e **clique** em **Done**.



- ✓ Na barra de ferramentas, **clique** em Invert Display. **Clique** então em Node Region, **selecione** as duas linhas do meio da laje e **clique** em Done. Na janela edit constraint **clique** em OK.

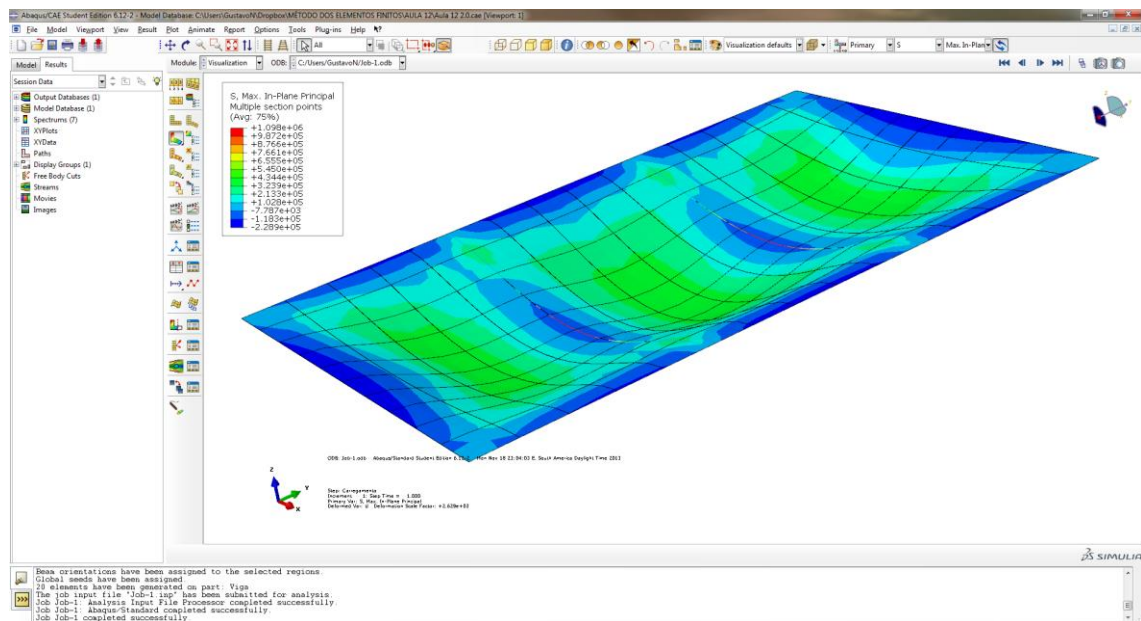


## 2.9. PROCESSAMENTO 3

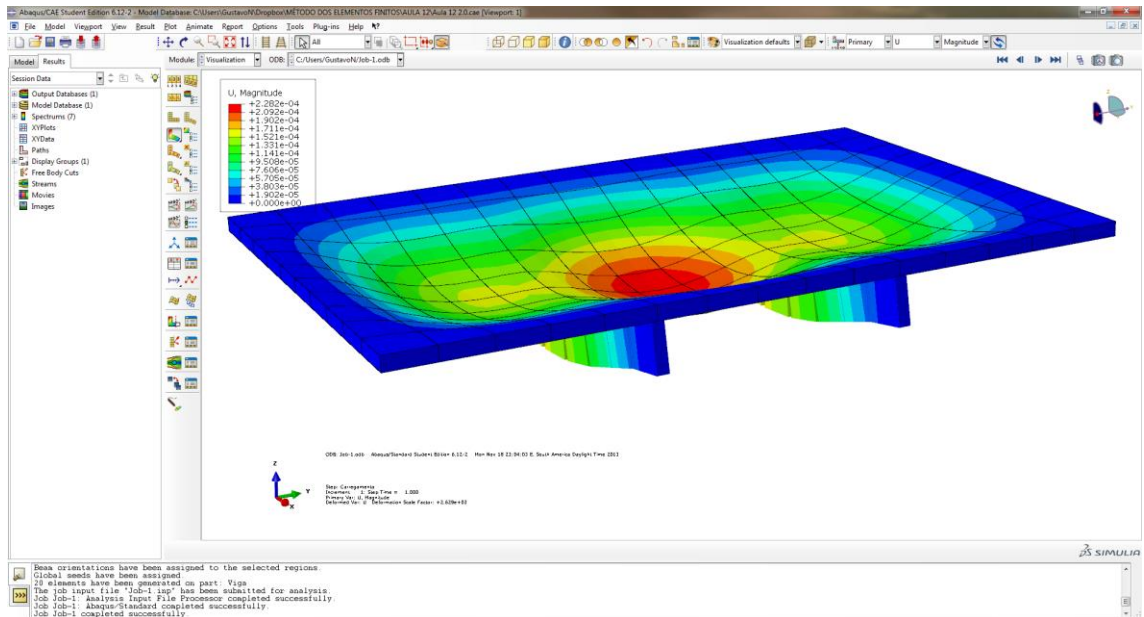
- ✓ No menu model a esquerda, **clique** com o botão direito em Jobs (1)>Job-1 (Completed). **Clique** em Submit. **Clique** em OK. **Aguarde** o processamento dos dados.

## 2.10. PÓS-PROCESSAMENTO 3

- ✓ No menu **model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Job-1(Completed)>Results**. A tela de análise de dados se abrirá. Na caixa de ferramentas, **clique** em **Plot Contours on Deformed Shape**. Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione S> Max. In-Plane Principal**.



- ✓ Para uma visualização alternativa, na barra do menu principal **clique** em **View>ODB Display Options...**, **marque** as opções **Render beam Profiles** e **Render Shell thickness** e **clique** em **OK**. Na barra de ferramentas **selecione U> Magnitude**.



- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **File>Save As....** **Dê** um nome ao arquivo e **clique** em **OK** (É possível também salvar o arquivo com os resultados já calculados - **job-1.odb**).