

ESTUDO DE UMA PONTE ROLANTE EM TRELIÇA ESPACIAL ENVOLVENDO MÚLTIPLAS CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO USANDO O ABAQUS 6.12 STUDENT EDITION

1. INTRODUÇÃO

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

Trata-se de uma treliça espacial com 18,96 metros de vão e 9,10 metros de altura, conforme mostram as figuras a seguir. A talha tem capacidade máxima de içamento de 5000 Kgf (carga que a ponte suporta, além do peso próprio). As cargas atuantes sobre a estrutura, devidas ao peso próprio, são: $P1 = 120$ Kgf e $P2 = 240$ Kgf. A carga $P1$ é aplicada a cada um dos 4 nós que compõem as extremidades do banzo inferior da viga e a carga $P2$ é aplicada em cada um dos 26 nós que correspondem aos demais nós do banzo inferior da viga, que não estão sujeitos ao carregamento $P1$. A figura 1 e 2 mostram a geometria da ponte rolante e o carregamento devido à talha. As figuras 3 a 5 mostram as vistas e dimensões da ponte rolante.

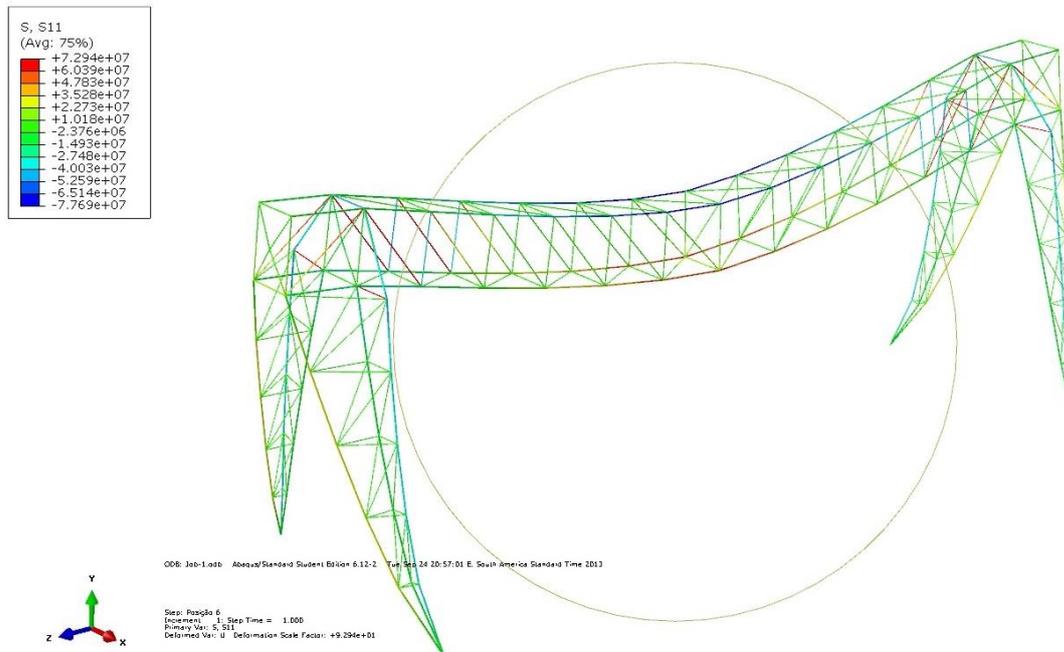
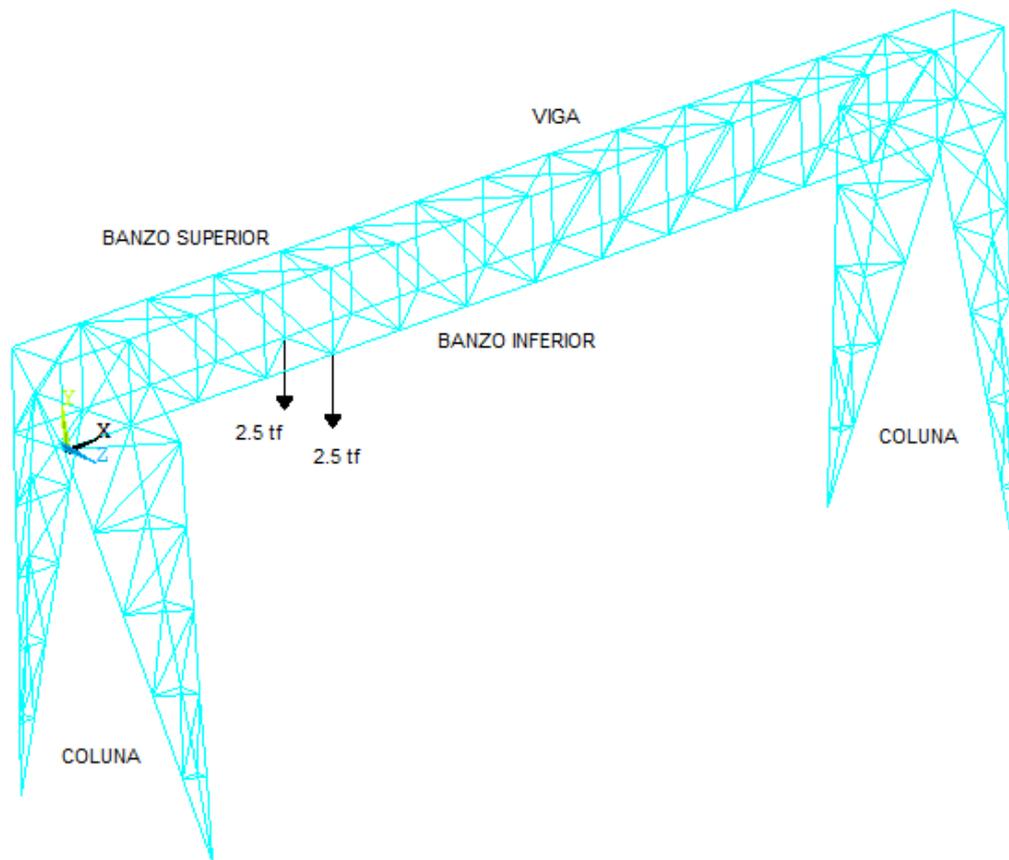


Figura 1. Geometria da Ponte Rolante - Abaqus



Ponte Rolante

Figura 2. Geometria da Ponte Rolante

1.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

Área das seções transversais das barras que compõem o banzo horizontal inferior e superior da viga e barras principais das colunas: $A = 11.1 \text{ cm}^2$

Área das seções transversais das diagonais, montantes e transversais da viga: $A = 5.52 \text{ cm}^2$

Área das seções transversais das diagonais e horizontais das colunas: $A = 3.95 \text{ cm}^2$

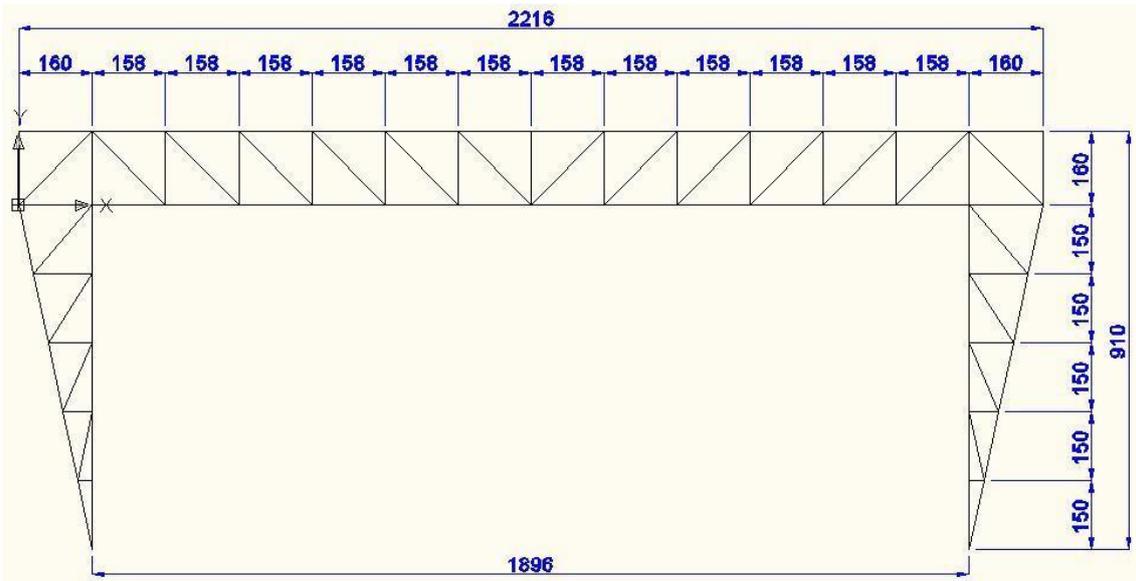


Figura 3. Vista Frontal e dimensões da ponte rolante (em cm)

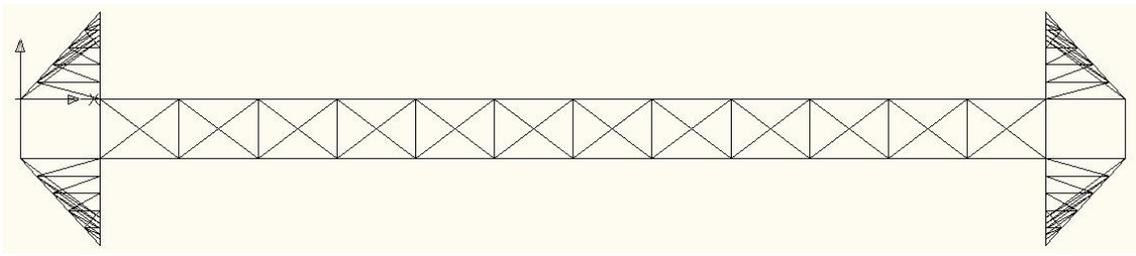


Figura 4. Vista superior da ponte rolante

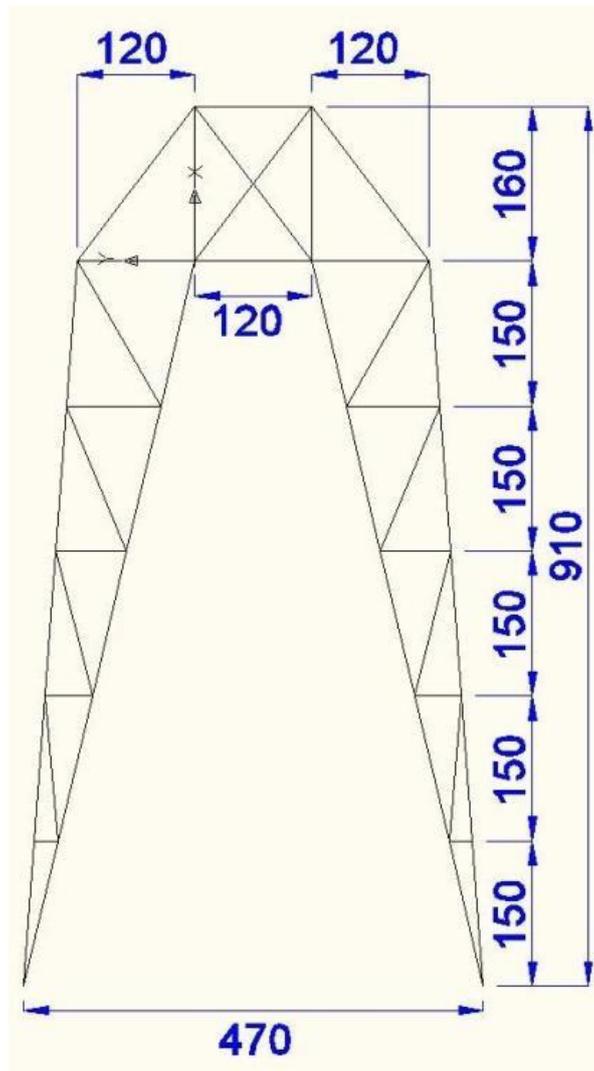


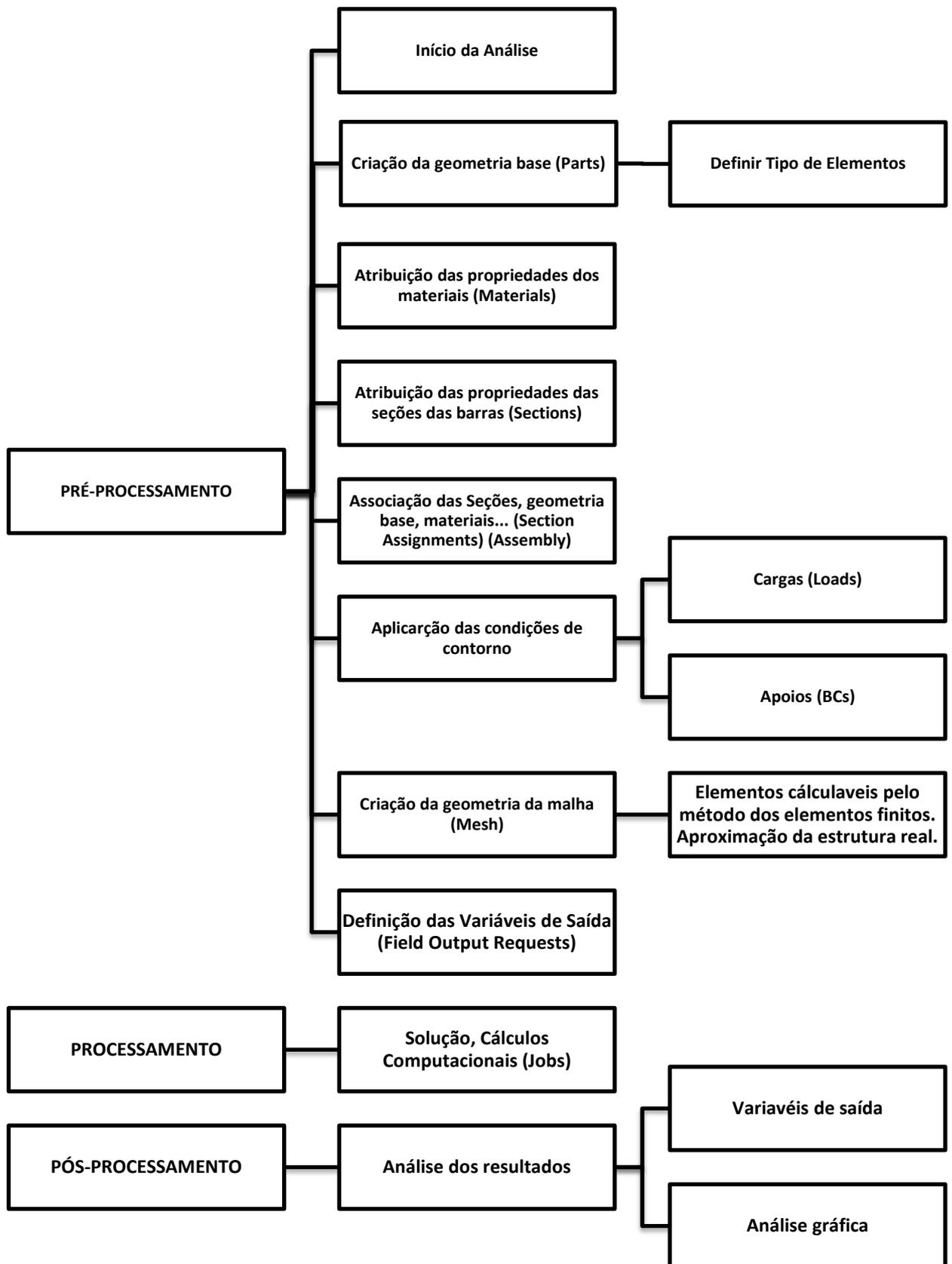
Figura 5. Vista lateral e dimensões da ponte rolante (em cm)

1.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Módulo de elasticidade do material das barras: $2.1E6 \text{ Kg/cm}^2$ (aço estrutural).

2. RESOLUÇÃO

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

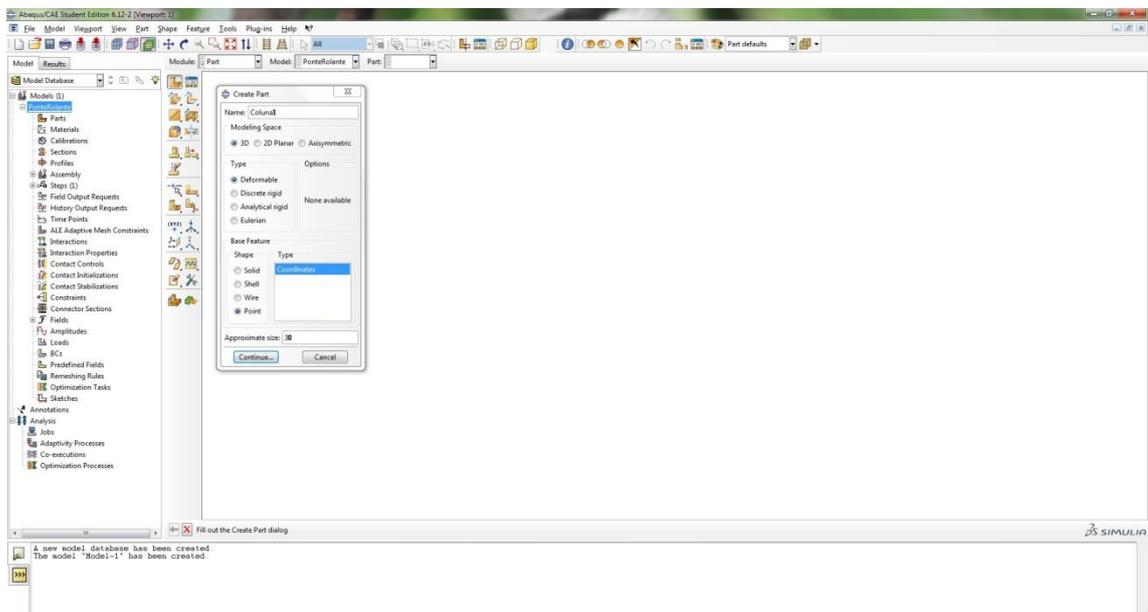


2.1. INÍCIO DA ANÁLISE

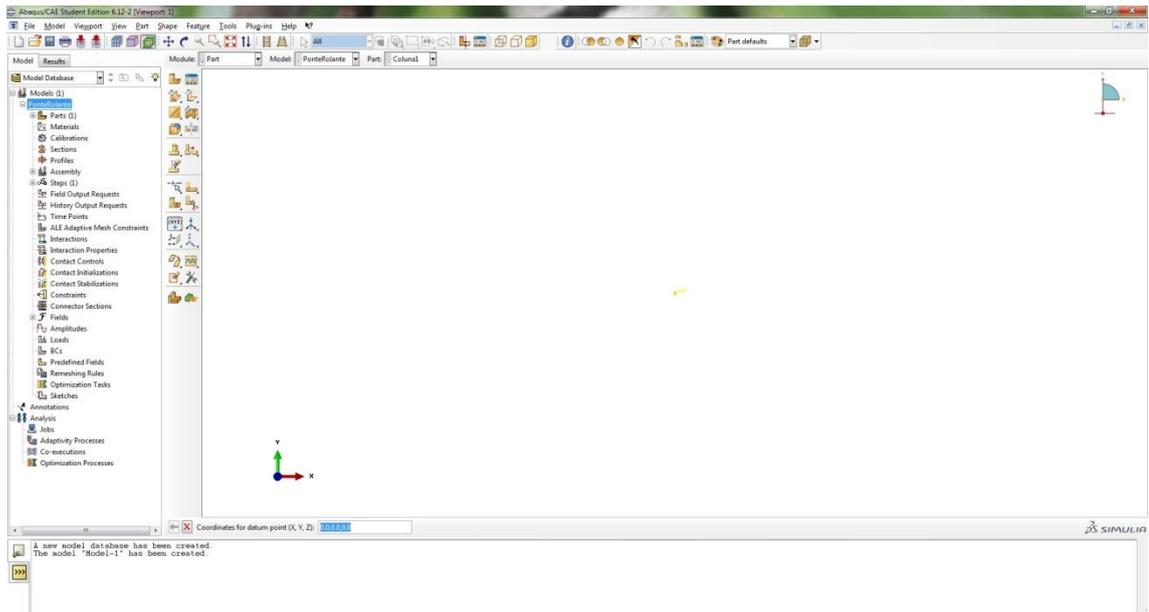
- ✓ Se você ainda não iniciou o programa **Abaqus/CAE**, **digite** *cmd* no **Menu Iniciar** para abrir o **Prompt de Comando** e nele **digite** *abq6122se cae* para executar o Abaqus.
- ✓ Em **Create Model Database** na caixa **Start Session** que aparece, **selecione** **With Standard/Explicit Model**.

2.2. PRÉ-PROCESSAMENTO

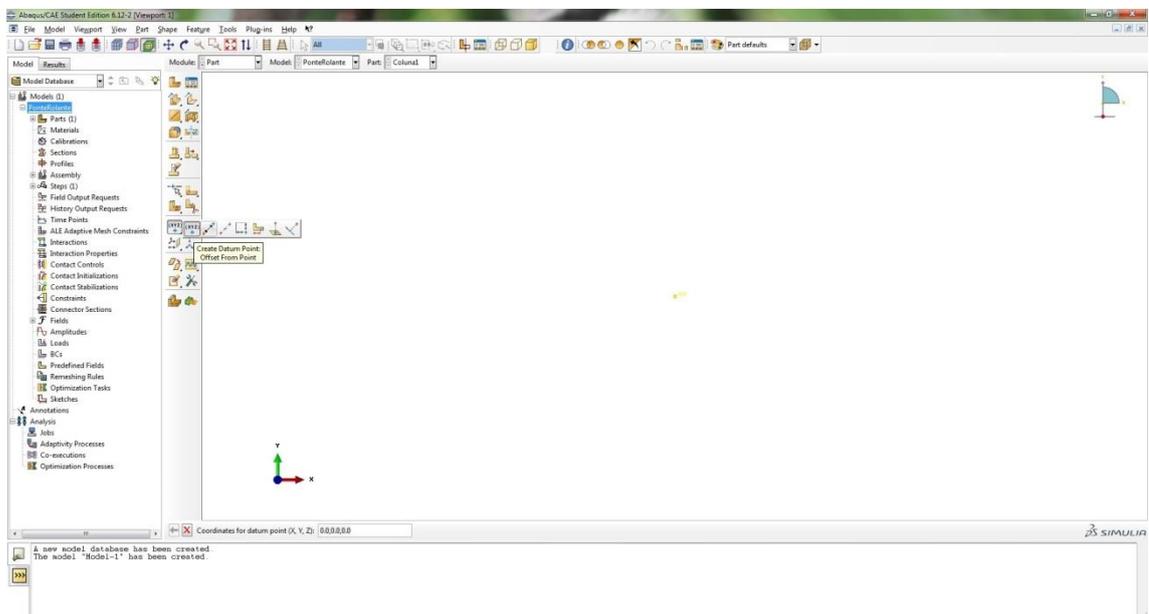
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Model-1** e **selecione** **Rename**. **Digite** *PonteRolante*
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Parts**, no campo **Name** **digite** *Coluna1*, e **selecione** as opções: **3D Planar**, **Deformable**, **Point**. Em **approximate size** **digite** *30*. **Clique** em **Continue...** e **tecle** **enter**.

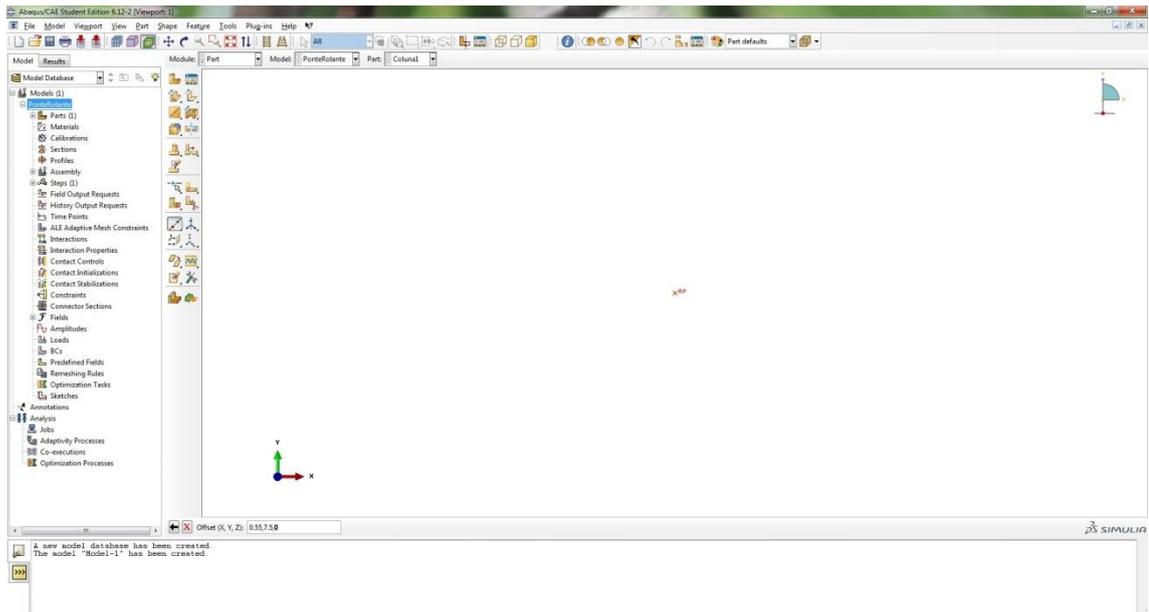


- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Create Datum Point: Enter** **Coordinates**, para criar o ponto referencial de coordenadas dessa parte. **Aceite** a coordenada *0,0,0* teclando **enter**

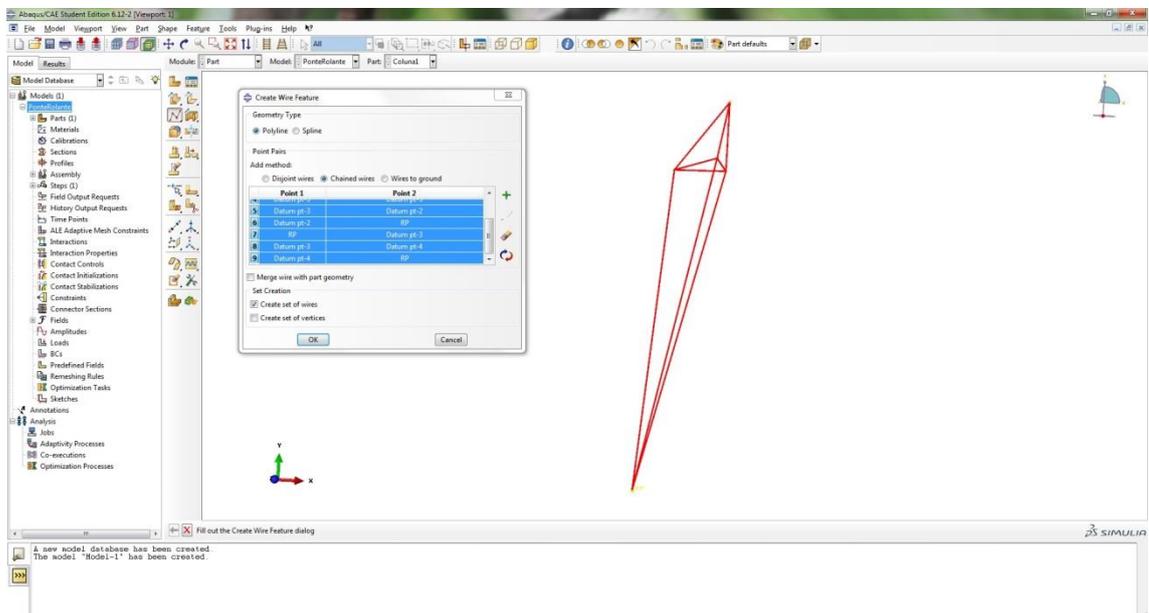


- ✓ Na caixa de ferramentas, **Clique** por alguns segundos em **Create Datum Point: Enter Coordinates**, e escolha a opção **Create Datum Point: Offset From Point**. **Selecione** o ponto criado (referência RP) e **insira** a coordenada: $0.55, 7.50, 0$ teclando enter. **Repita** esse procedimento para as coordenadas: $1.75, 7.5, 0$ e $1.75, 7.5, 1.6$ e $1.75, 9.1, 0$



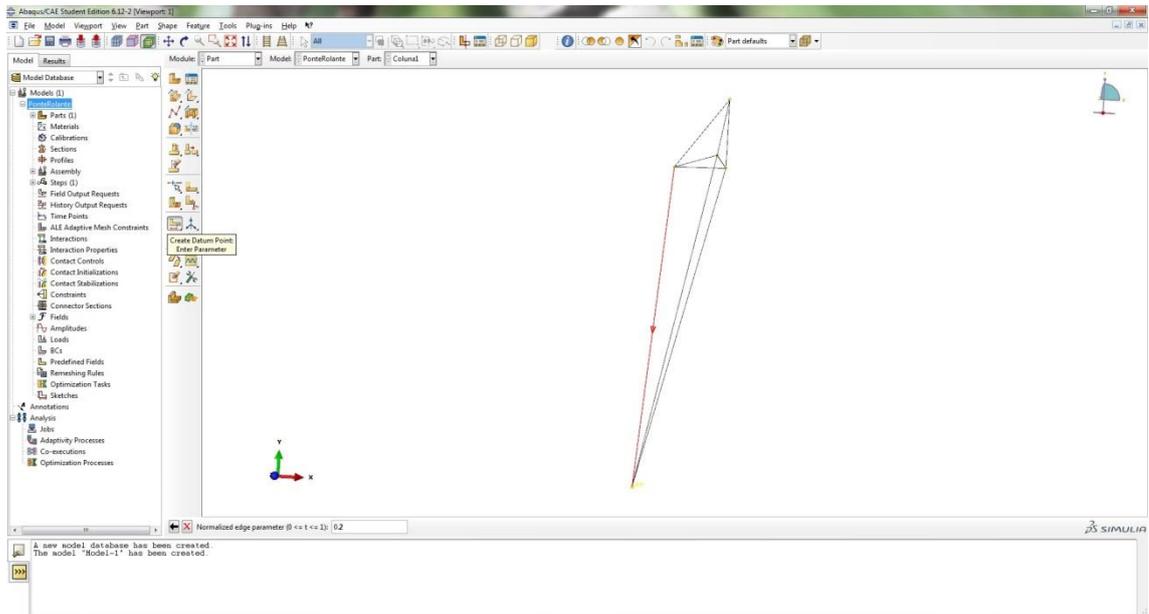


- ✓ Agora, deve-se criar as barras. Na caixa de ferramentas, clique por alguns segundos em **Create Wire: Planar** e **selecione** **Create Wire: Point To Point**. Na janela **Create Wire Feature**, **clique** em “Add” (+). **Junte** os pontos, formando as barras, conforme a imagem (cada clique irá continuar a linha do ponto anterior). **Clique** em **Done** e em seguida **OK**.

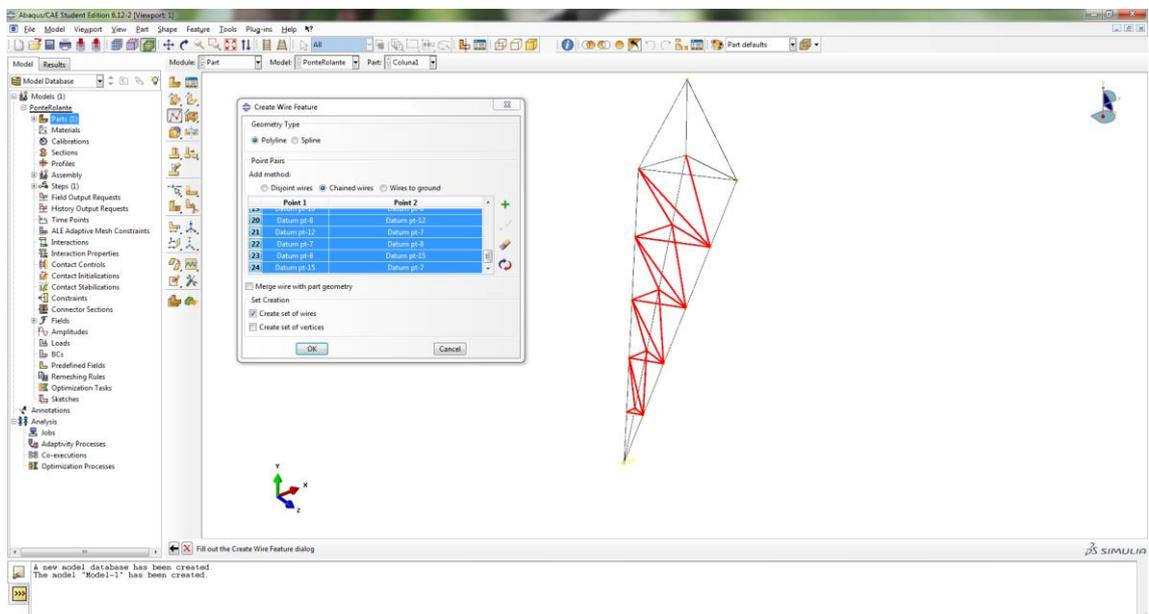


- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** por alguns segundos em **Create Datum Point: Offset from point** e **selecione** **Create Datum Point: Enter Parameter**. **Selecione** uma barra inferior e **digite** 0.2 e **tecle** enter.

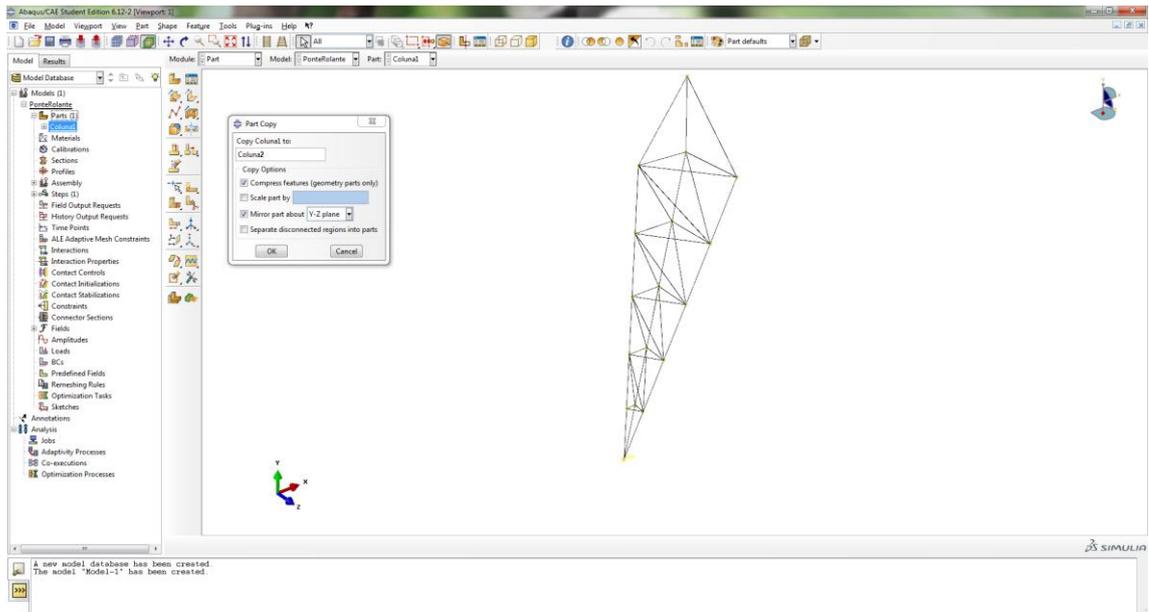
Repita esse procedimento para as outras duas barras inferiores, e também para os valores: *0.4, 0.6 e 0.8*.



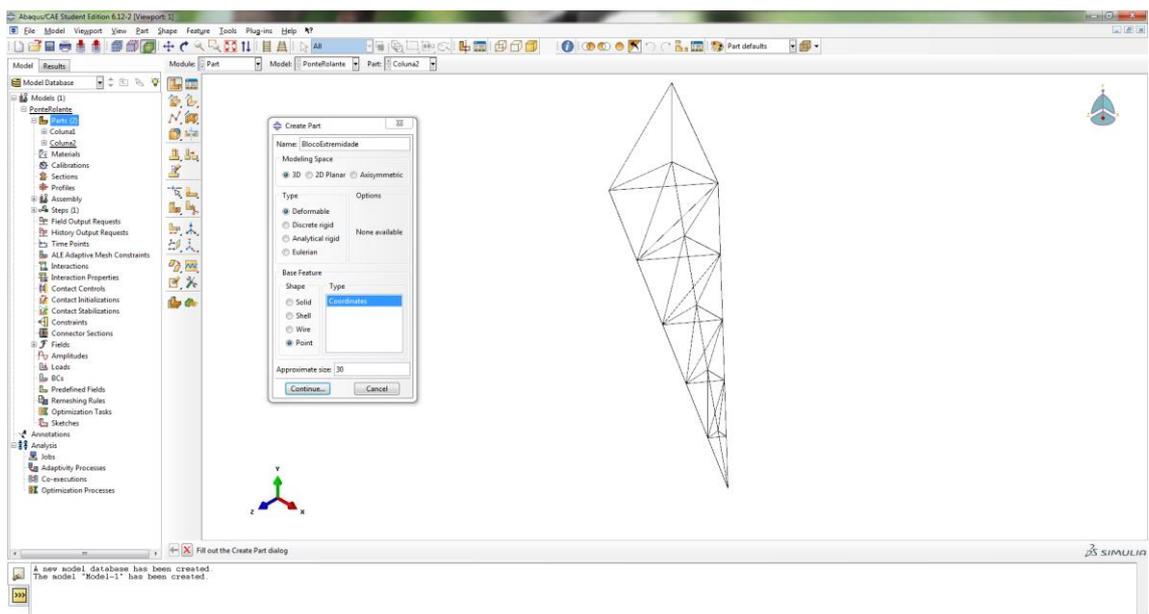
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Create Wire: Point To Point**. Na janela **Create Wire Feature**, **clique** em “Add” (+). **Junte** os pontos, formando as barras restantes, conforme a imagem (cada clique irá continuar a linha do ponto anterior). **Clique** em **Done** e em seguida **OK**.



- ✓ **Abra Parts (1)**, e **clique** com o botão direito em *Coluna1* e **selecione** “Copy”. Na janela **Part Copy**, **nomeie-a Coluna2** e **marque** **Mirror part about**, selecionando **Y-Z plane**. **Clique** em **OK**

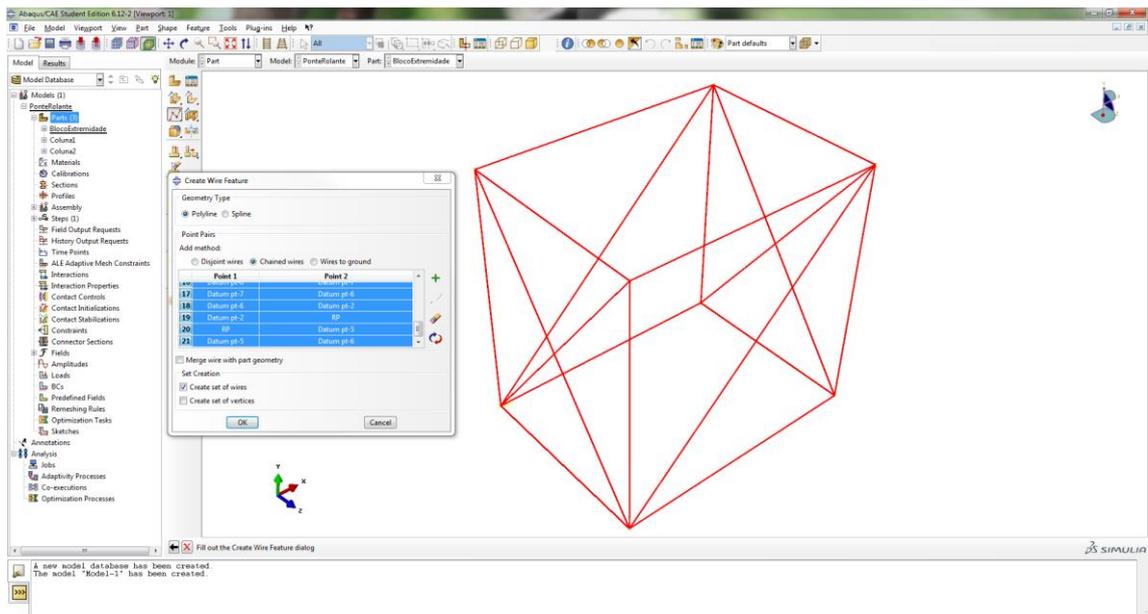


- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Create Part**. **Nomeie-o BlocoExtremidade** e **clique** em **Continue...** **tecle** enter.



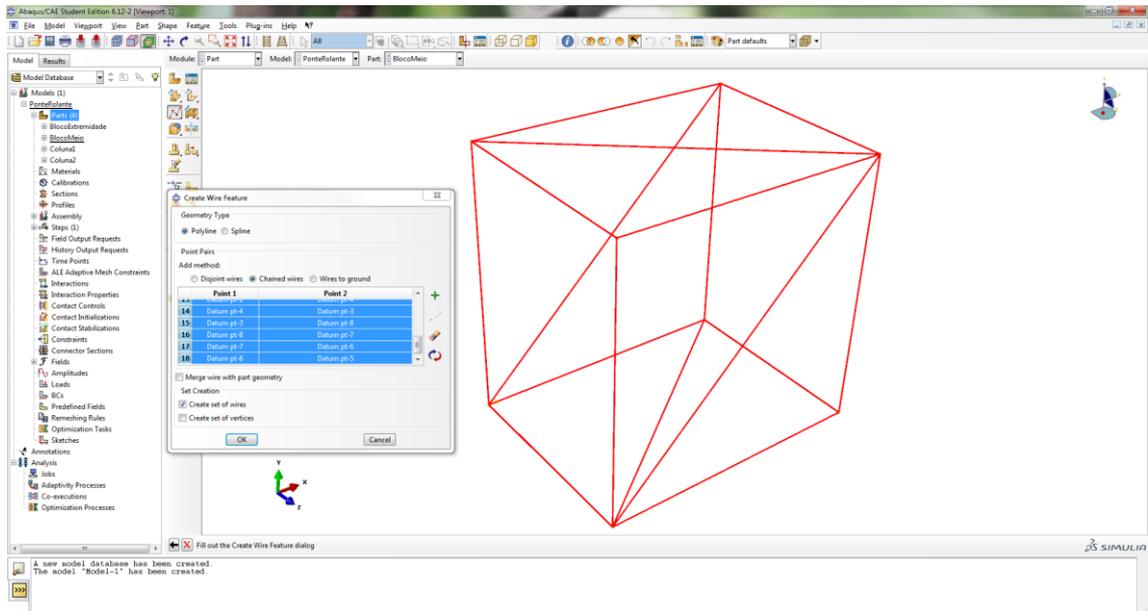
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Create Datum Point: Enter Coordinates**, para criar o ponto referencial de coordenadas dessa parte. **Aceite** a coordenada $0,0,0$ teclando enter.
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Create Datum Point: Offset From Point**. **Selecione** o ponto criado (referência RP) e **insira** a coordenada: $1.6,0,0$ teclando enter. **Repita** esse procedimento para as coordenadas: $0,1.6,0$ e $1.6,1.6,0$.

- ✓ Ainda em **Create Datum Point: Offset From Point**, **selecione** como referencia algum dos 4 pontos e **insira** as coordenadas $0,0,1.2$. **Repita** esse procedimento para os 3 demais pontos.
- ✓ Na caixa de ferramentas, clique em **Create Wire: Point To Point**. Na janela **Create Wire Feature**, **clique** em “Add” (+). **Junte** os pontos, formando as barras, conforme a imagem (cada clique irá continuar a linha do ponto anterior). **Clique** em **Done** e em seguida **OK**.

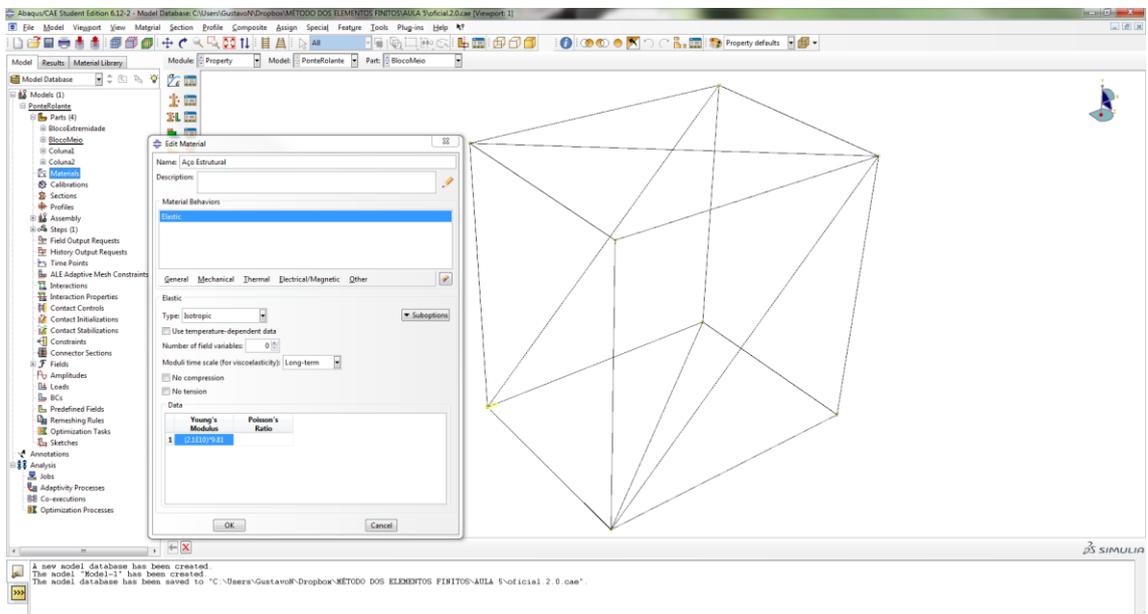


- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Create Part**. **Nomeie-o BlocoMeio** , **clique** em **Continue...** e **tecle** enter.
- ✓ Na caixa de ferramentas, **Clique** em **Create Datum Point: Enter Coordinates**, para criar o ponto referencial de coordenadas dessa parte. **Aceite** a coordenada $0,0,0$ teclando enter.
- ✓ Na caixa de ferramentas, **Clique** em **Create Datum Point: Offset From Point**. **Selecione** o ponto criado (referência RP) e **insira** a coordenada: $1.58,0,0$ teclando enter. **Repita** esse procedimento para as coordenadas: $0,1.6,0$ e $1.58,1.6,0$
- ✓ Ainda em **Create Datum Point: Offset From Point**, **selecione** como referencia algum dos 4 pontos e **insira** as coordenadas $0,0,1.2$. **Repita** esse procedimento para os demais.
- ✓ Na caixa de ferramentas, clique em **Create Wire: Point To Point**. Na janela **Create Wire Feature**, **clique** em “Add” (+). **Junte** os pontos, formando as

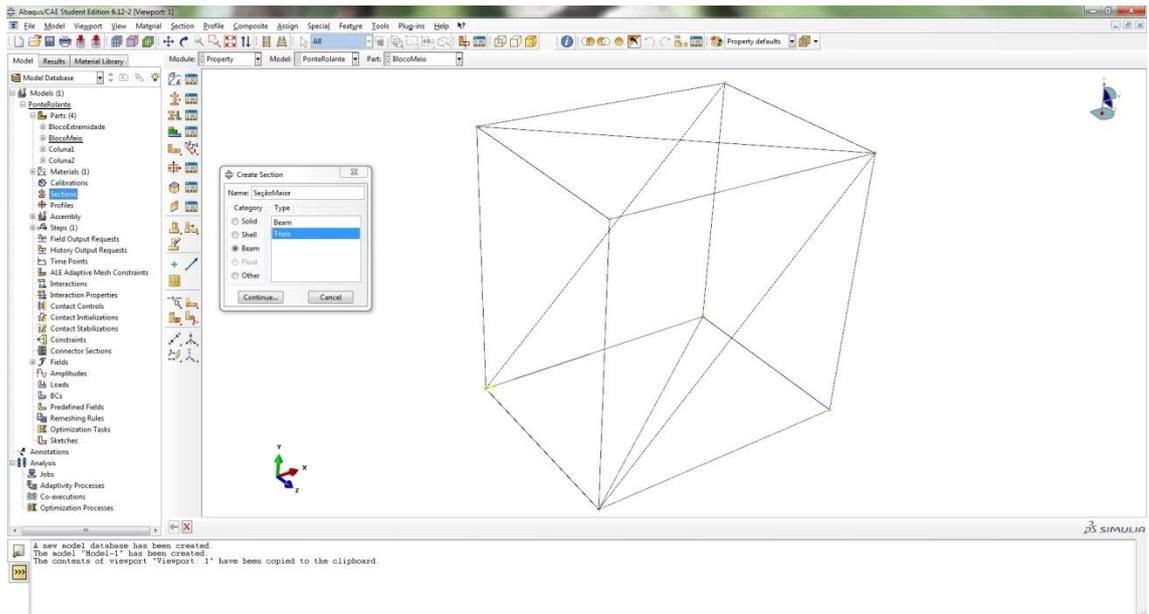
barras, conforme a imagem (cada clique irá continuar a linha do ponto anterior). **Clique** em Done e em seguida **OK**.



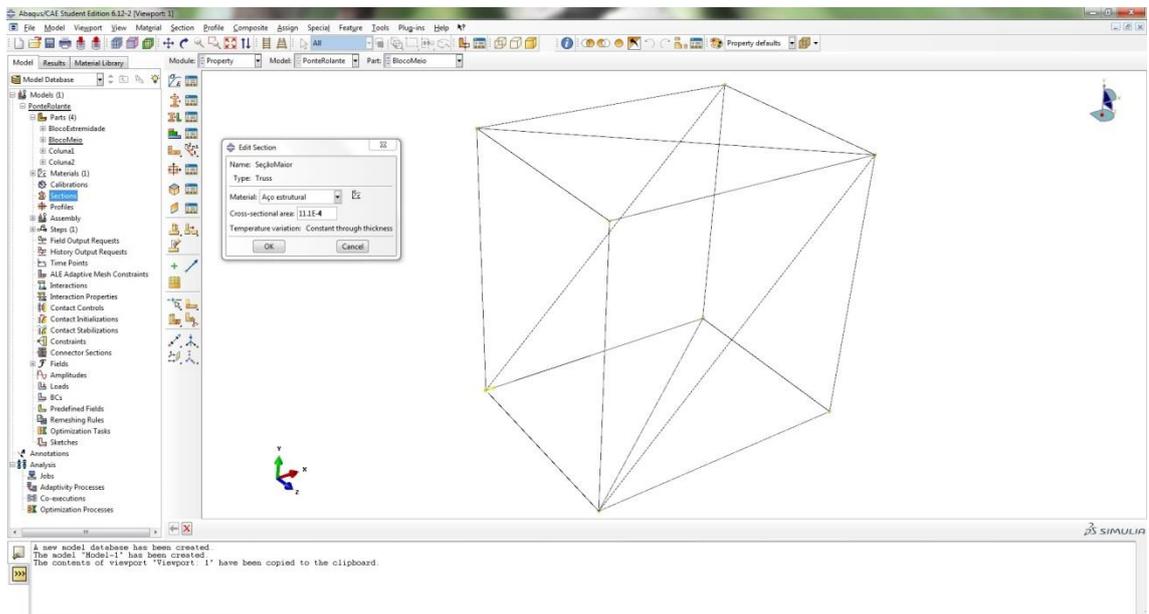
✓ No menu **Model** à esquerda, dê duplo clique em **Materials**. Nomeie-o **Aço Estrutural**. **Clique** em **Mechanical>Elasticity>Elastic**. Em **Data**, no campo **Young's Modulus** digite $(2.1E10)*9.81$ e **clique** **OK**.



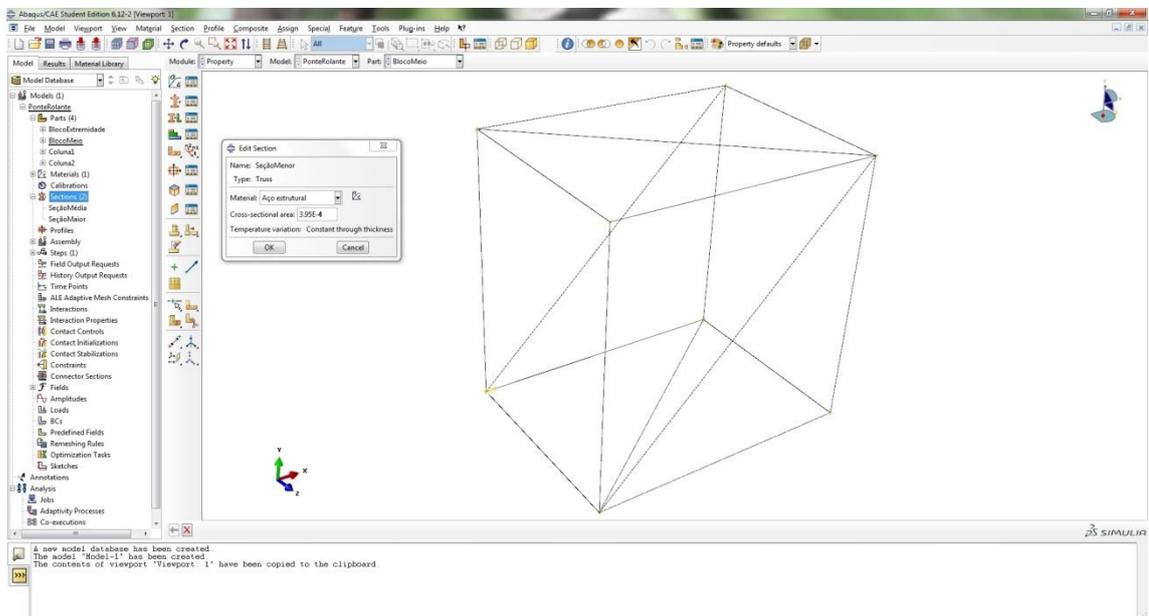
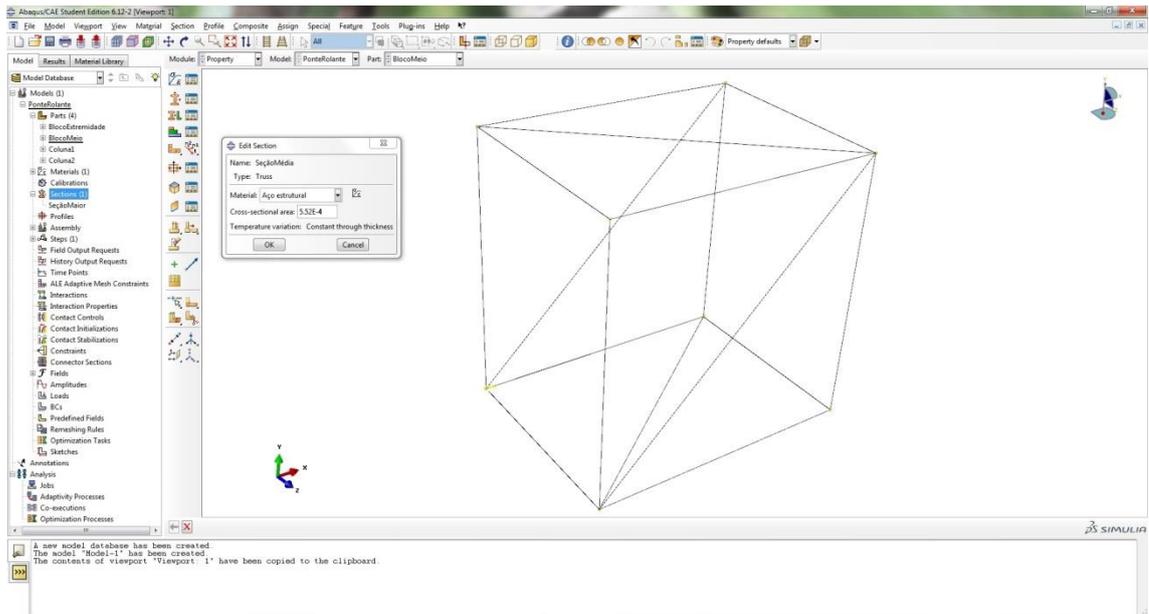
✓ No menu **Model** à esquerda, dê duplo clique em **Sections**. No campo **Name** digite **SeçãoMaior**, em **Category** **selecione** **Beam**, e em **Type** **selecione** **Truss**. **Clique** em **Continue...**



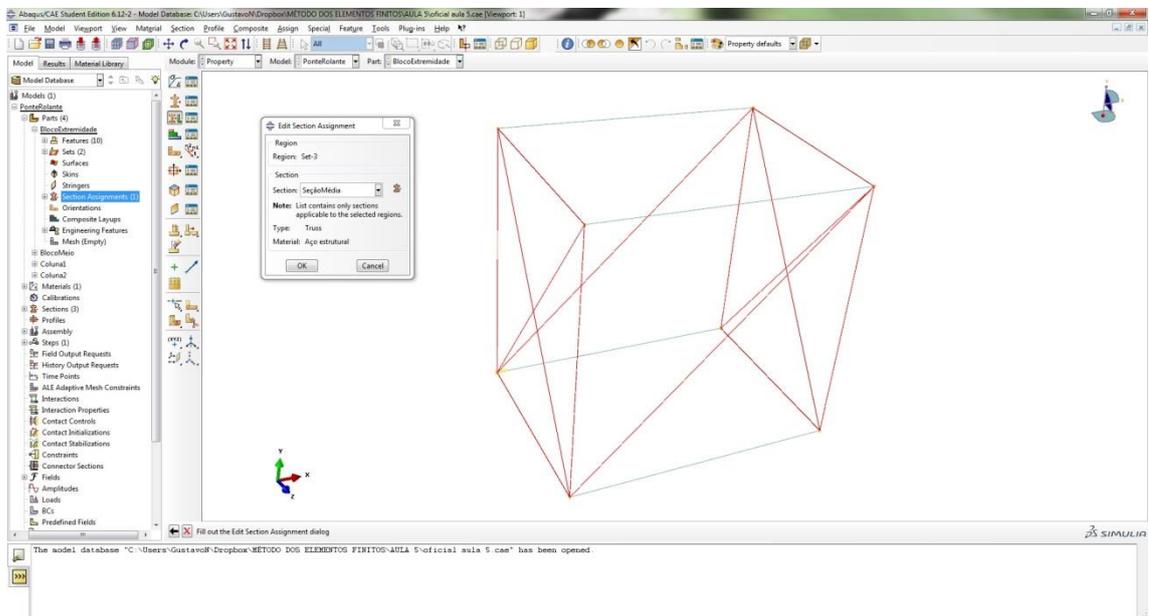
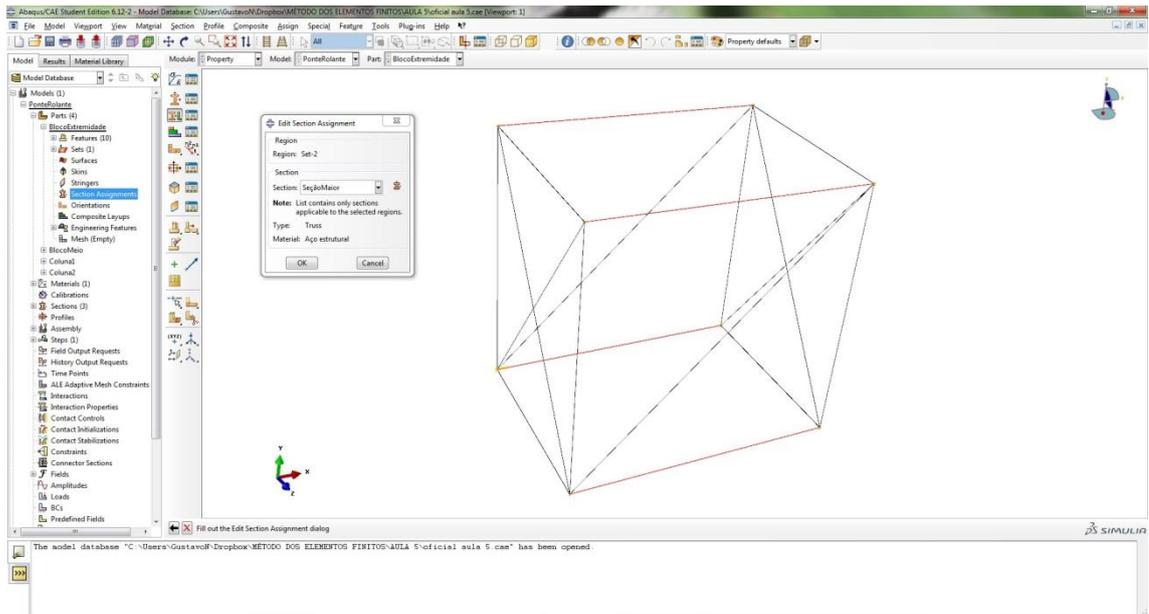
- ✓ Na janela **Edit Section**, que estará aberta, veja que *Aço Estrutural* está selecionado e em **Cross-sectional área**, **digite** a área de $11.1E-4$
Clique em **OK**.



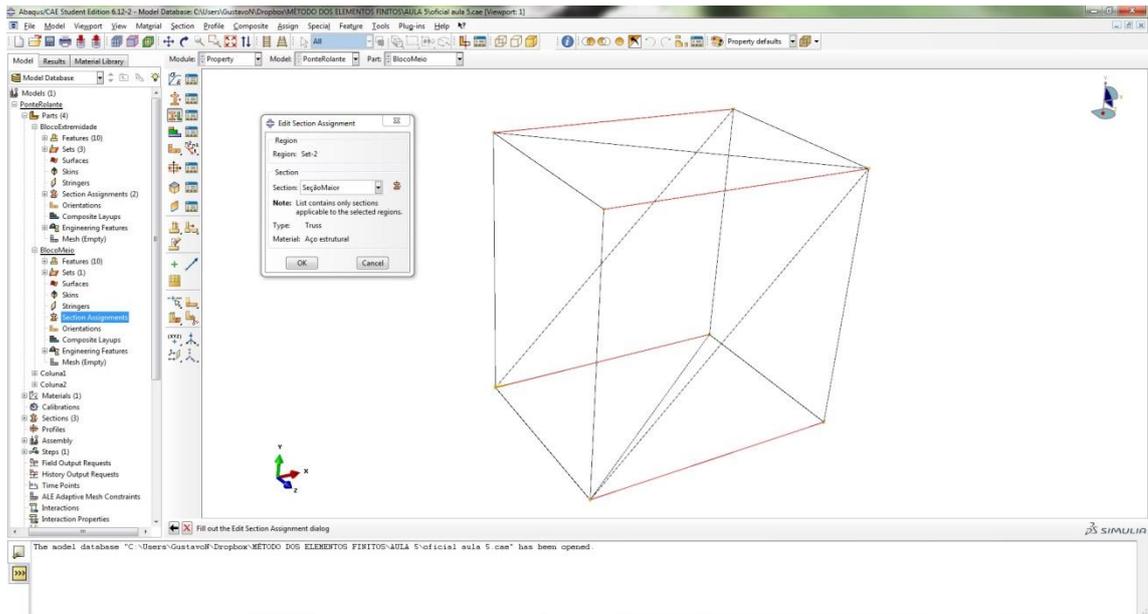
- ✓ **Repita** o ultimo procedimento para criar as outras 2 seções (Name: *SeçãoMédia* e *SeçãoMenor*), com áreas de $5.52E-4$ e $3.95E-4$.



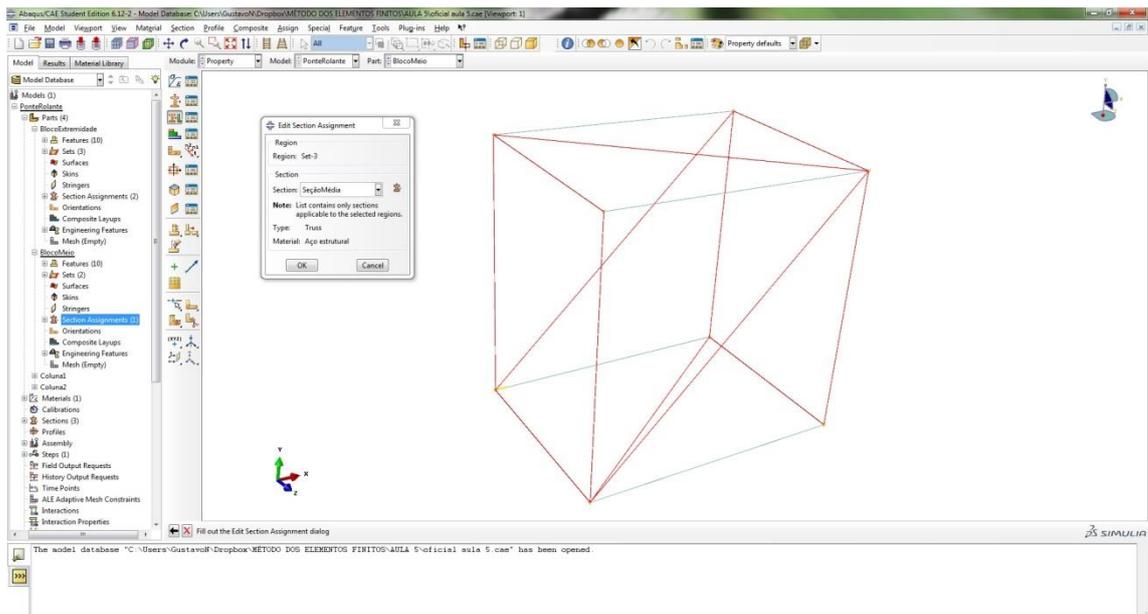
- ✓ No menu model à esquerda, abra **Parts>BlocoExtremidade** e dê duplo clique em **Section Assignments**. **Selecione** as barras do banzo inferior e superior que formarão a viga, **veja** que está escrito **set-2** e **clique** em **Done**. Na janela **Edit Section Assignment**, **selecione** a **Seção Maior** e **clique** **OK**. **Repita** esse procedimento, selecionando as barras diagonais e montantes, e associando à **Seção Média** (set-3).



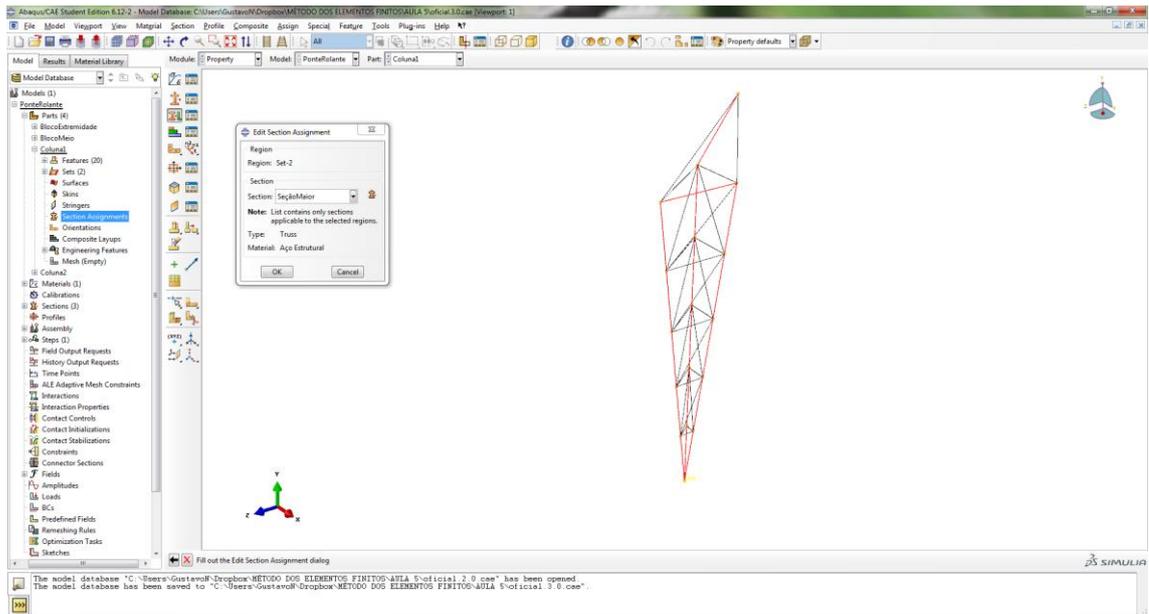
- ✓ No menu model à esquerda, **abra** Parts>BlocoMeio e **dê** duplo clique em Section Assignments. **Selecione** as barras do banco inferior e superior que formarão a viga, **veja** que está escrito **set-2** e **clique** em Done. Na janela Edit Section Assignment, **selecione** a SeçãoMaior e **clique** OK.



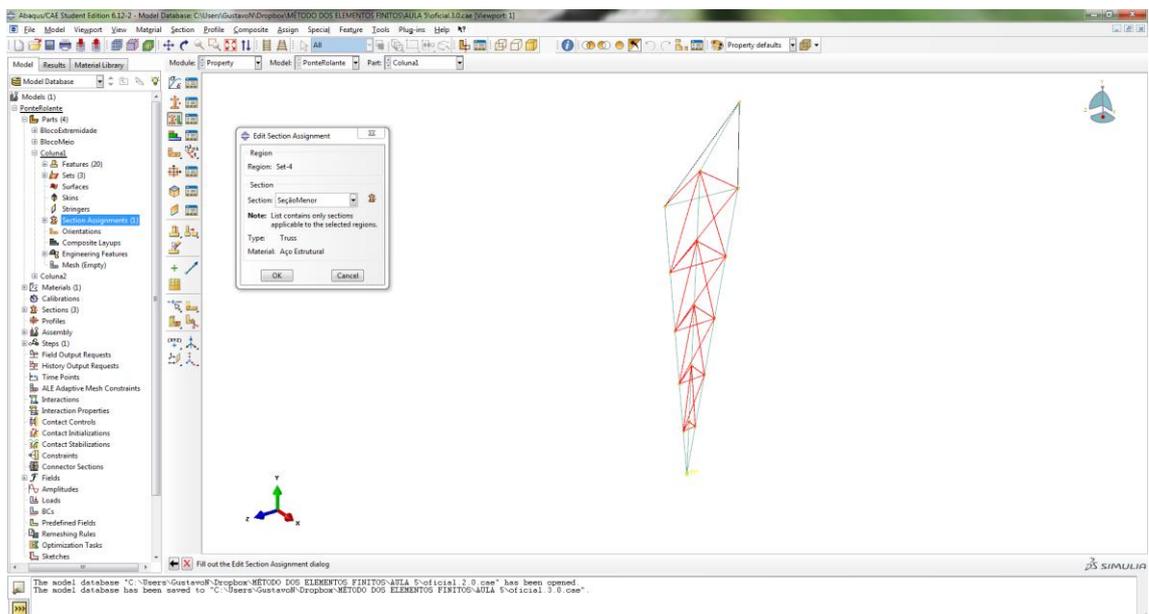
- ✓ **Repita** esse procedimento, selecionando as barras diagonais e montantes, e associando à **SeçãoMédia** como mostra a imagem (set-3).



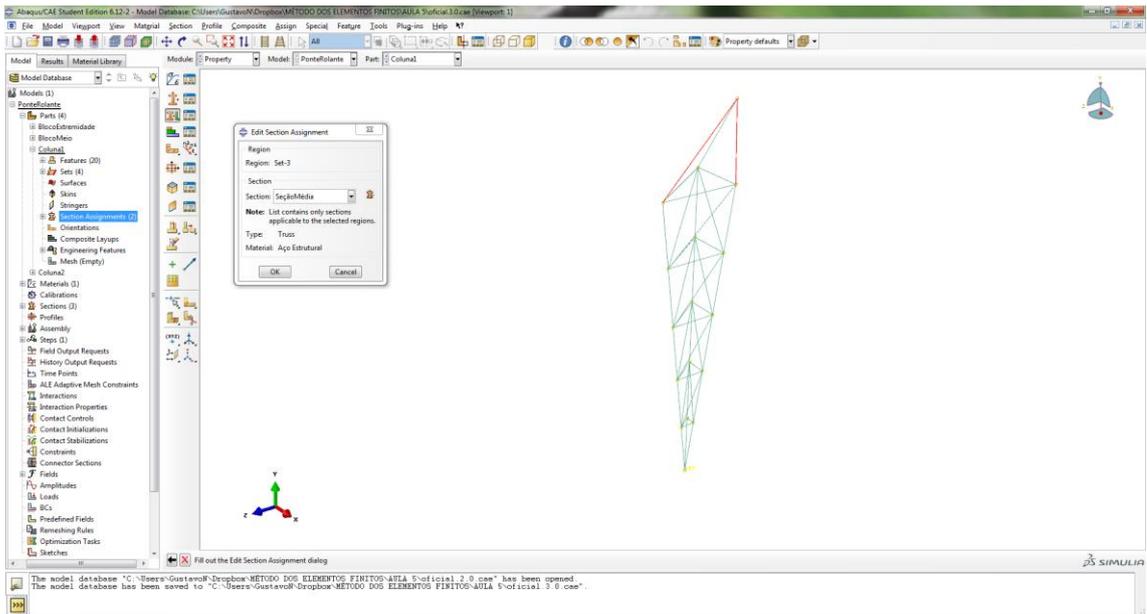
- ✓ No menu **model** à esquerda, **abra** **Parts>Coluna1** e **dê** duplo clique em **Section Assignments**. **Selecione** as barras principais como mostra a imagem, **escreva** em **Create set: Set-2** **clique** em **Done**. Na janela **Edit Section Assignment**, **selecione** a **Seção Maior** e **clique** **OK**.



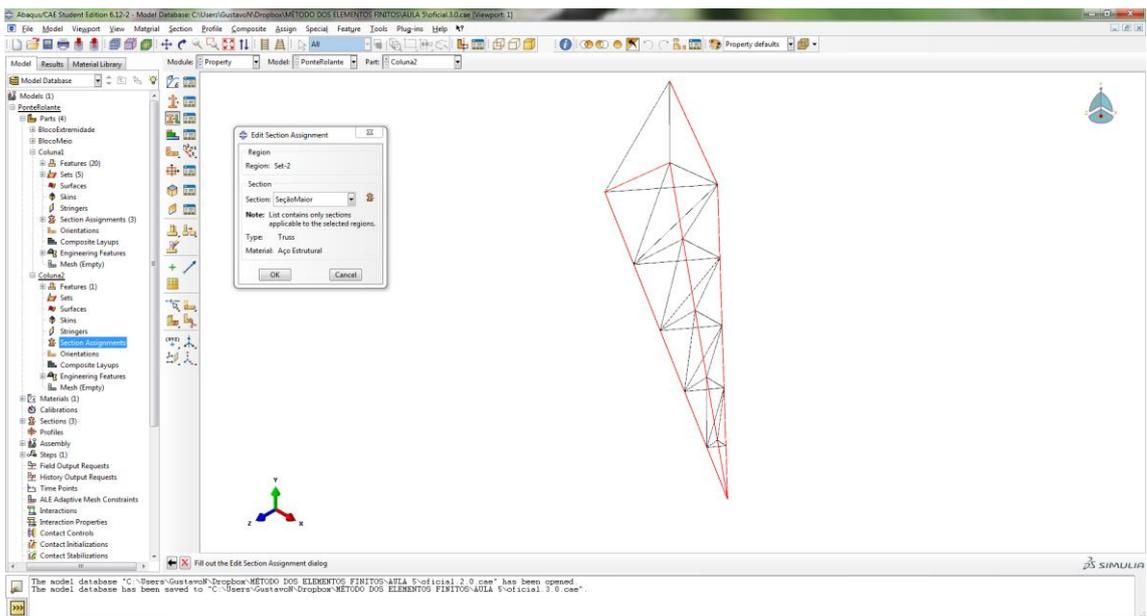
- ✓ **Repita** esse procedimento, selecionando as barras diagonais e montantes, e associando-as à **SeçãoMenor (Set-4)**, como segue na imagem.

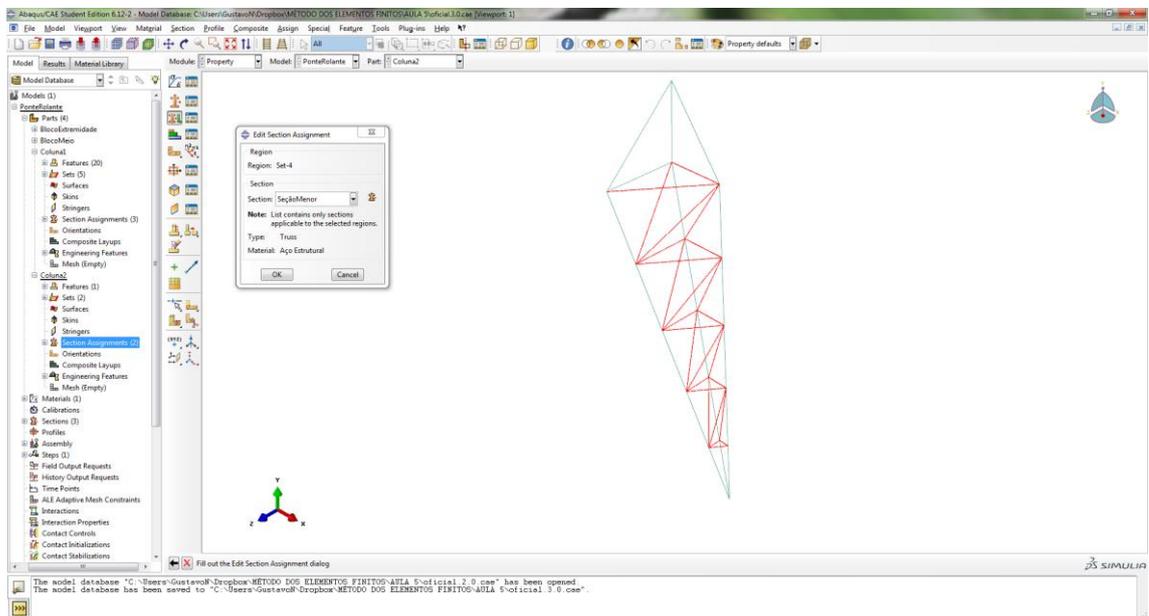
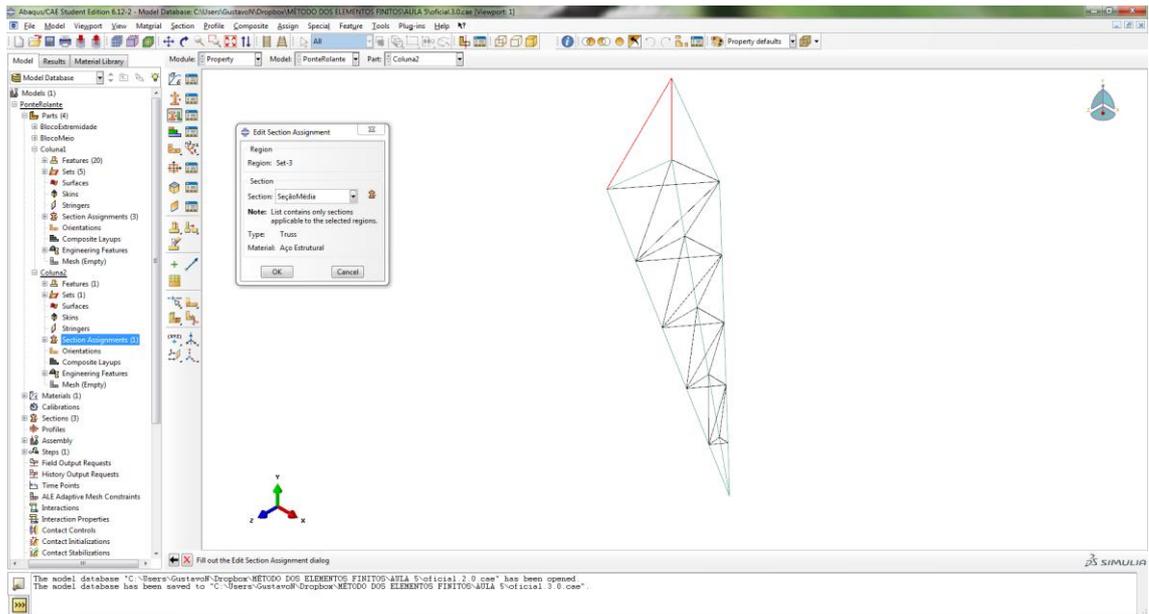


- ✓ **Repita** esse procedimento uma última vez, selecionando as barras diagonais e montantes de contato com o **BlocoExtremidade**, e associando-as à **Seção Média (Set-3)**, como segue na imagem.

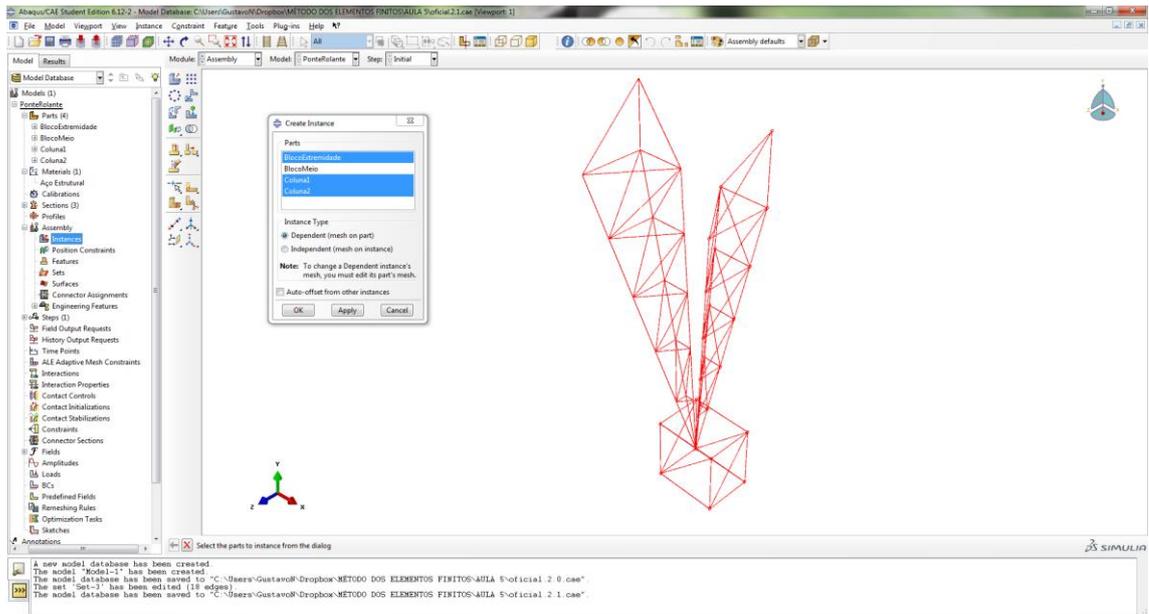


- ✓ **Repita** os procedimentos feitos de associação de seções para a **coluna1**, agora para a **coluna2**.

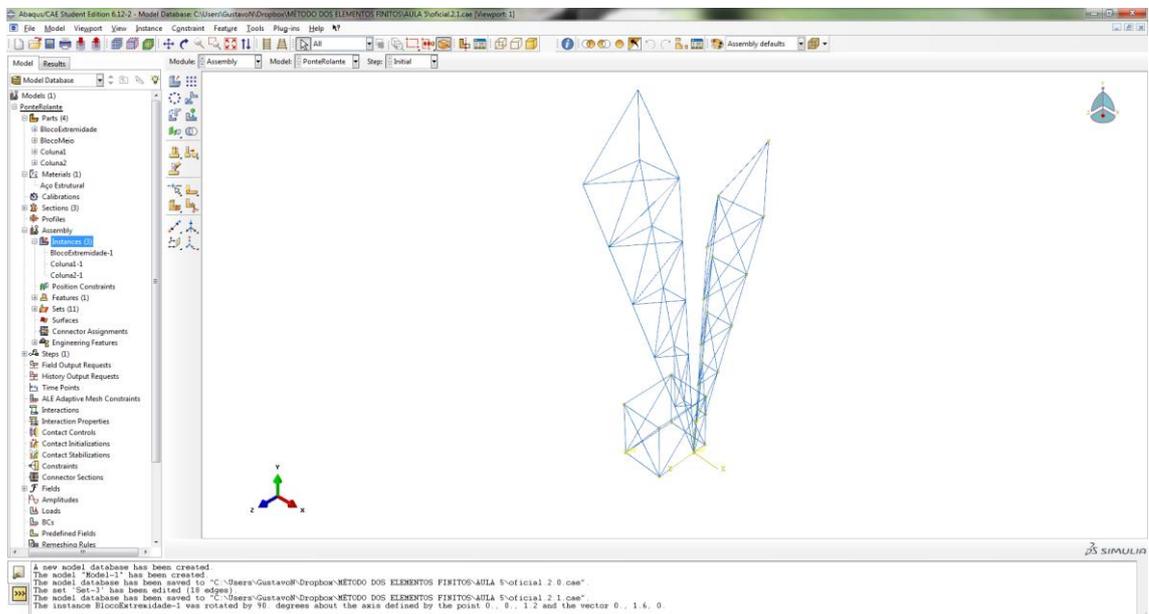




- ✓ No menu **Model** à esquerda, **abra Assembly** e **dê** duplo clique em **Instances**. **Certifique-se** que o Instance Type consta em “**Dependent (mesh on part)**”, **selecione** (segurando a tecla ctrl) **Coluna1, Coluna2, BlocoExtremidade** e **clique** em **OK**.



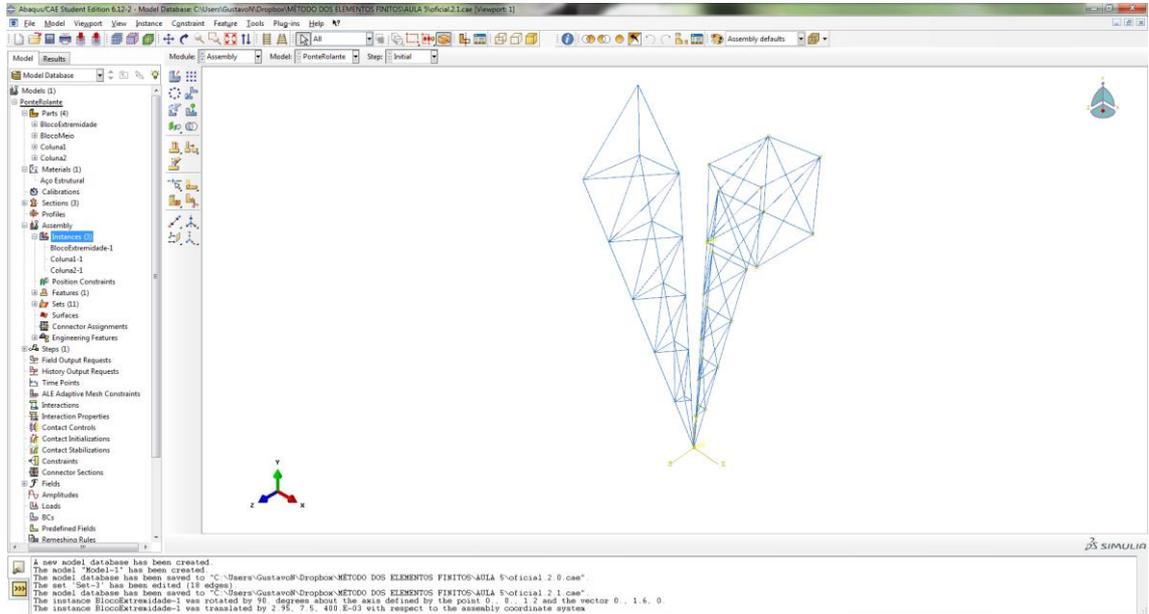
- ✓ Deve-se agora organizar as partes conforme a geometria da ponte rolante. Na caixa de ferramentas, **selecione** Rotate Instance. **Selecione** o BlocoExtremidade e **clique** em Done. **Selecione** o eixo de rotação, clicando em dois nós de uma das arestas verticais (primeiro o de ponto inferior, depois o superior). Agora, **insira** o ângulo de rotação: 90 e **tecle** enter. **Clique** em OK.



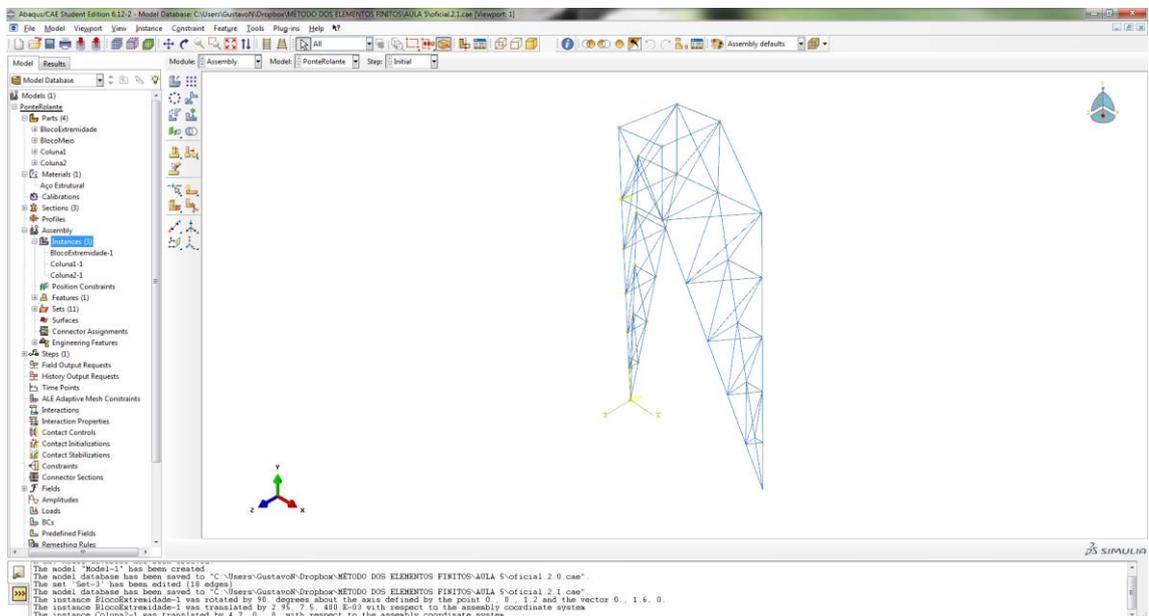
- ✓ Na caixa de ferramentas, **selecione** Translate Instance. **Selecione** o BlocoExtremidade e **clique** em Done. Com esta ferramenta, é possível transladar a parte selecionada, em função de um ponto referencial

escolhido: após a escolha desse ponto, selecione o ponto onde se deseja posicionar a referencia (toda a parte irá se deslocar conforme o movimento desse ponto referencial) **Posicione-o** conforme a imagem.

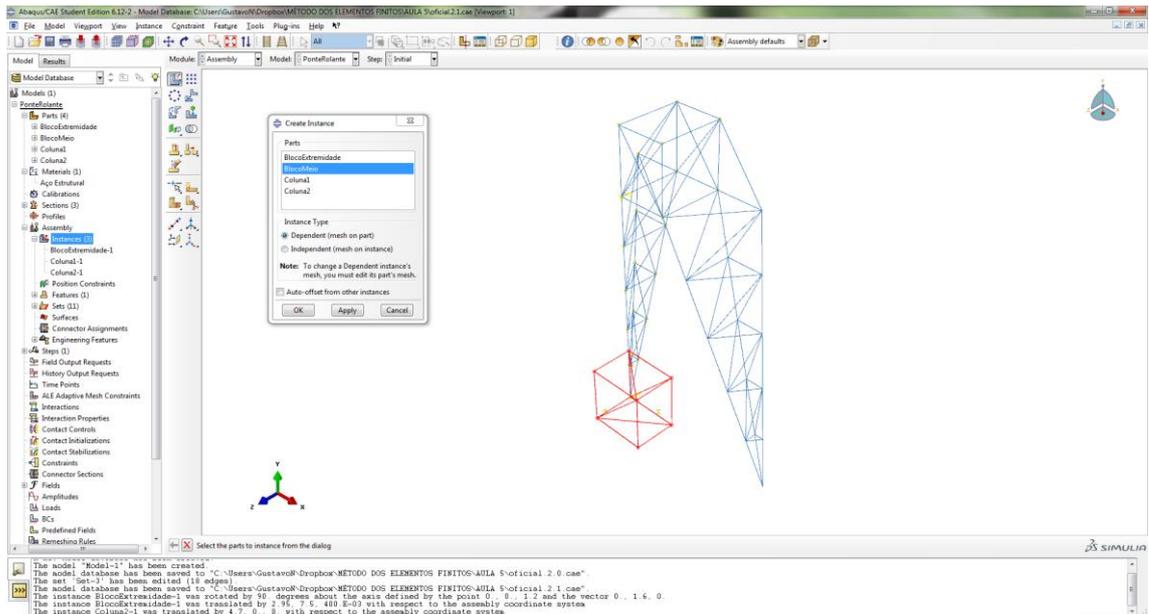
Clique em OK



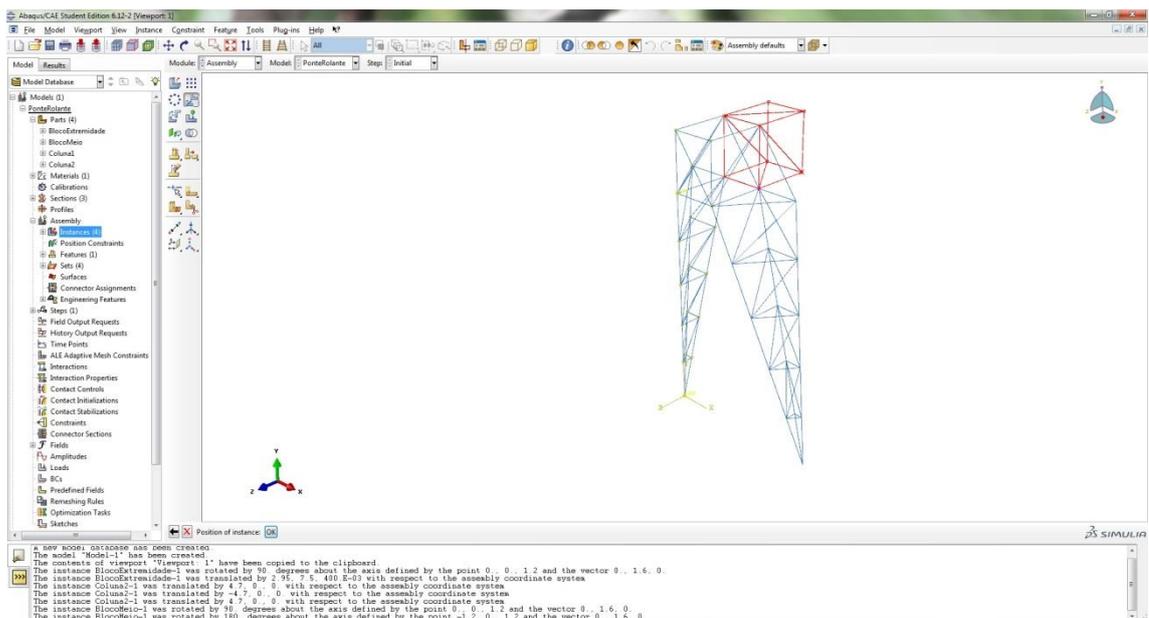
✓ **Repita** o procedimento, selecionando a *coluna afastada*, e posicionando-a conforme a imagem.



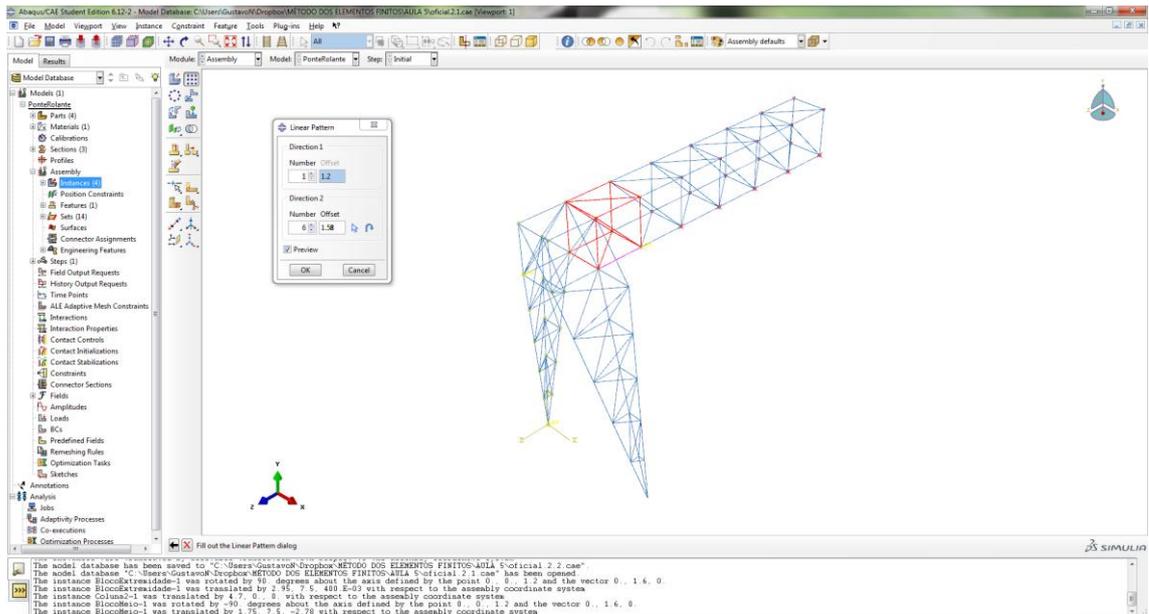
✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em Instance Part e **insira** o BlocoMeio, e **clique** em OK.



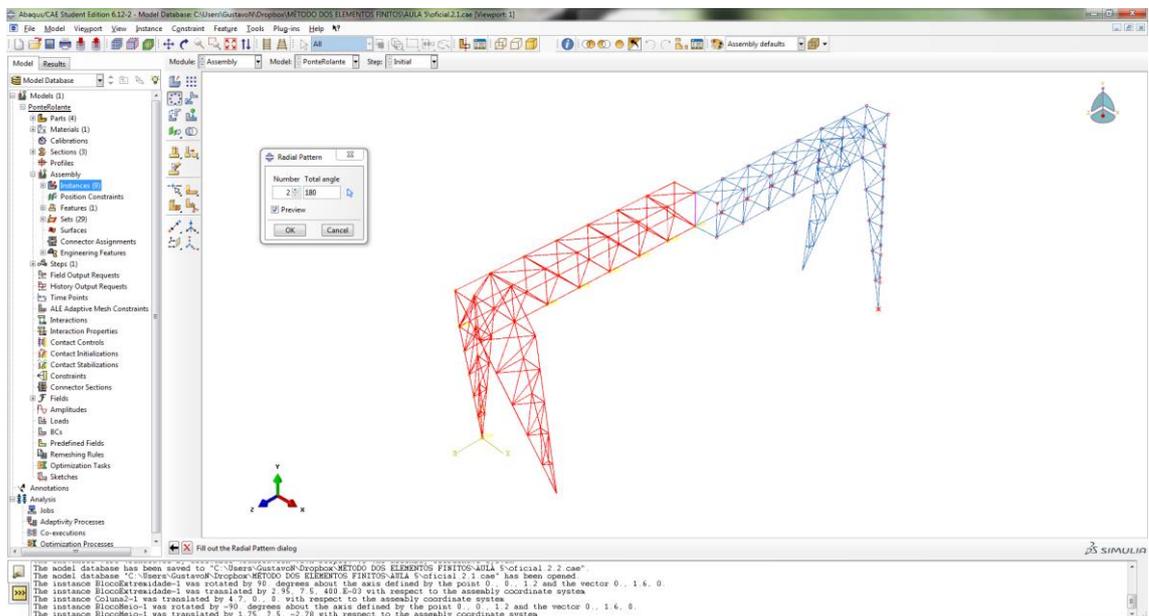
- ✓ Utilizando as ferramentas de rotação e translação, **posicione** o BlocoMeio conforme a imagem.



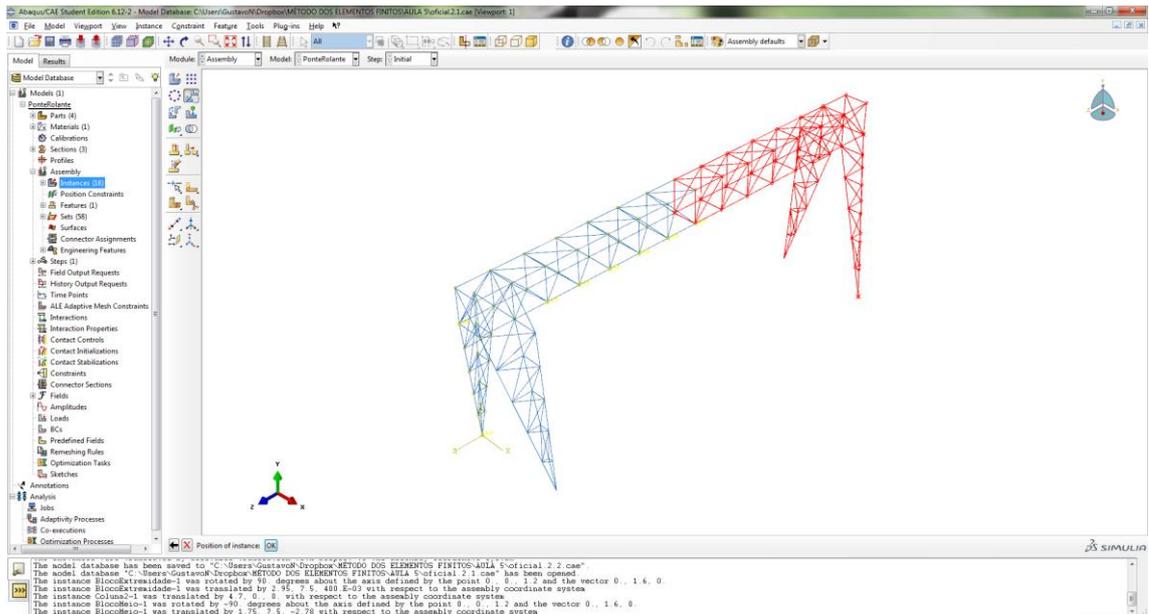
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em linear pattern. **Selecione** o BlocoMeio e **clique** em Done. **Altere** Number em Direction 1 para 1, e em Direction 2 para 6 e **clique** em Direction. **Selecione** uma linha na direção da viga. **Altere** Offset em Direction 2 para 1.58 e **clique** em Flip para endireitar a criação das cópias e **verifique** se a geometria corresponde com a imagem.



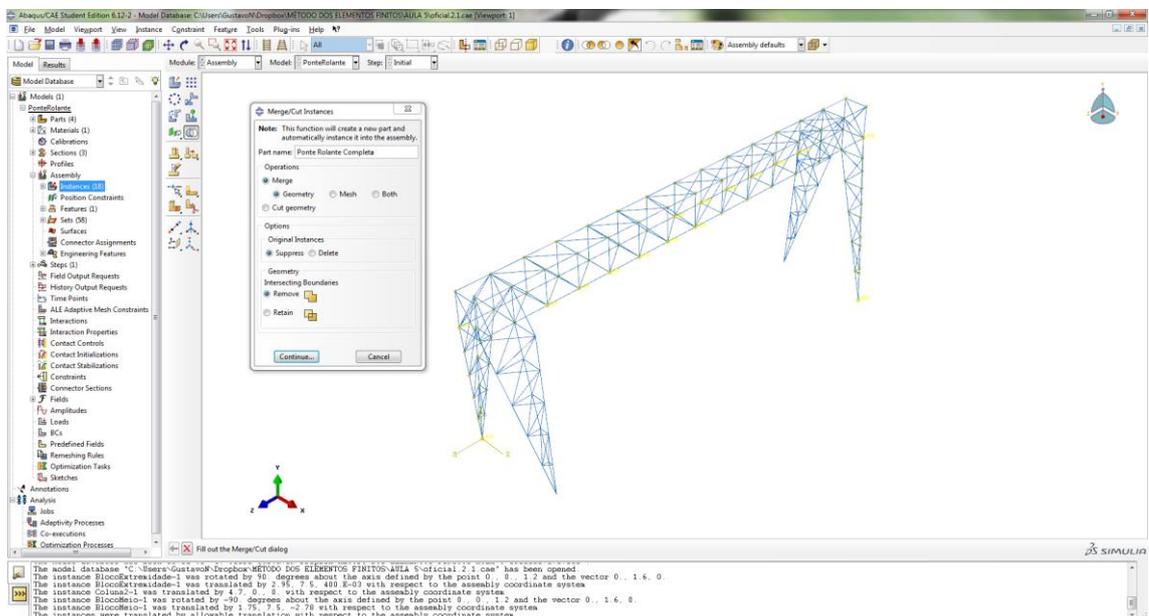
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em Radial Pattern. **Selecione** toda a estrutura e **clique** em Done. **Altere** Number para 2, Total angle para 180 e clicando em Select axis... **selecione** uma aresta vertical do meio da viga. **Clique** em OK.

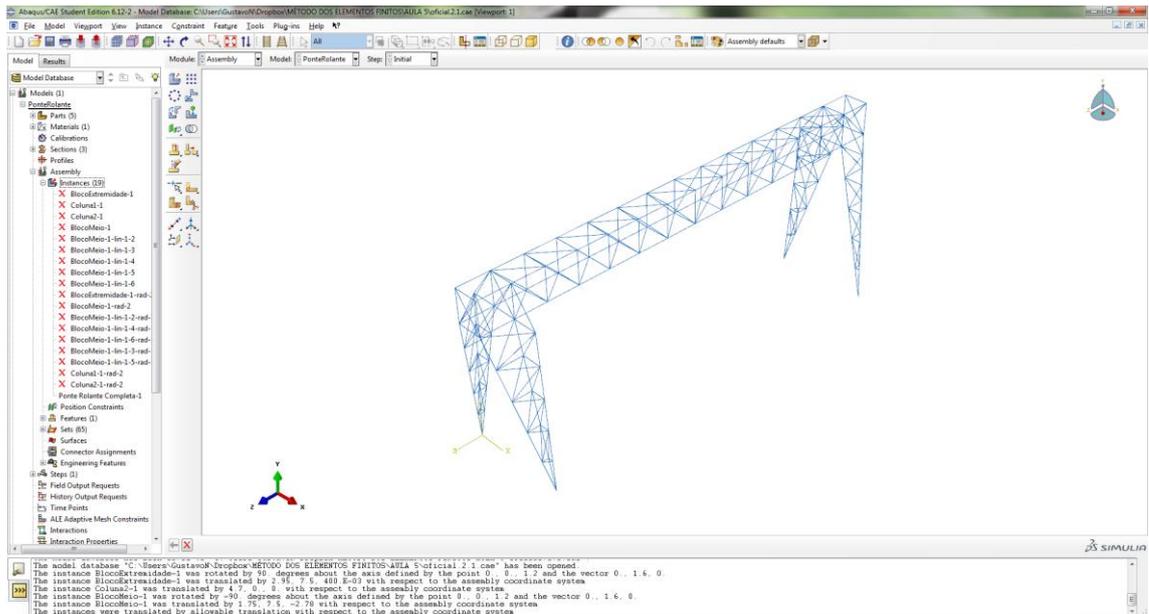


- ✓ **Utilize** a ferramenta de translação, selecionando a cópia fora de posição, para ajustar conforme a geometria da ponte.

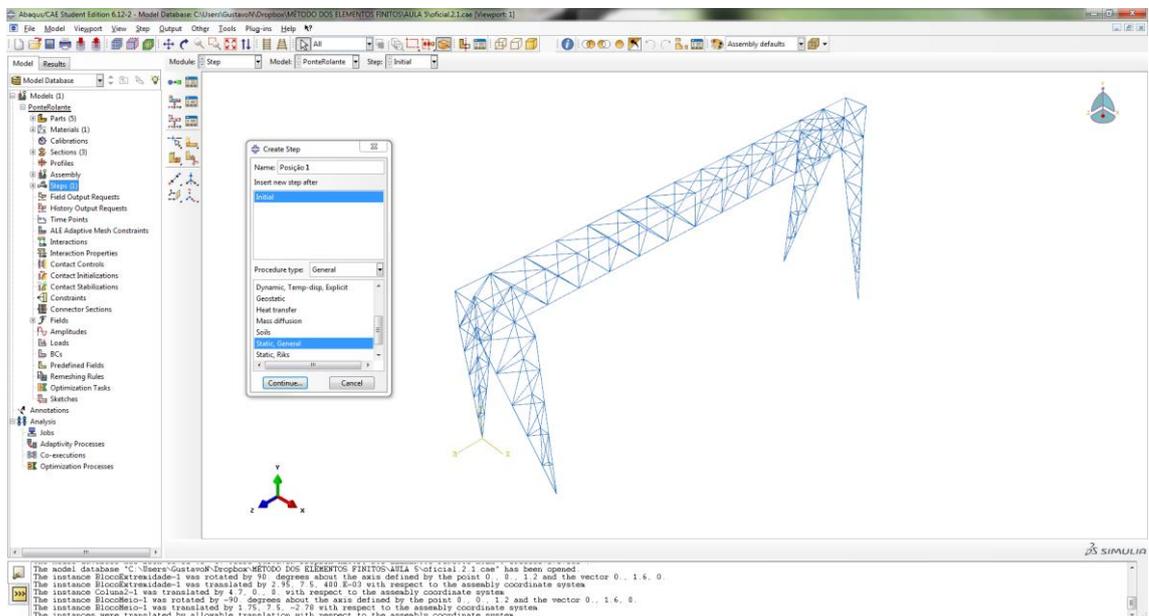


- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Merge/Cut Instance**. Na janela **Merge/Cut instance**, **nomeie** como *Ponte Rolante Completa*. **Certifique-se** que estão marcados os campos: **Merge>Geometry**; **Suppress**; **Remove** . **Clique** em **Continue...** **Selecione** toda a ponte. **Clique** em **Done**.

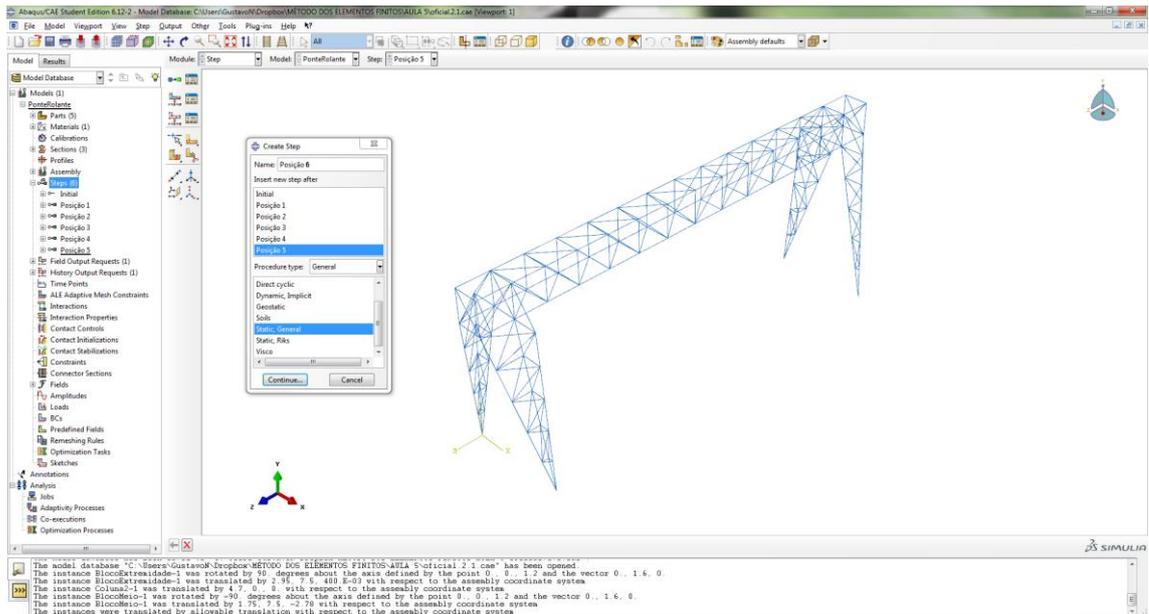




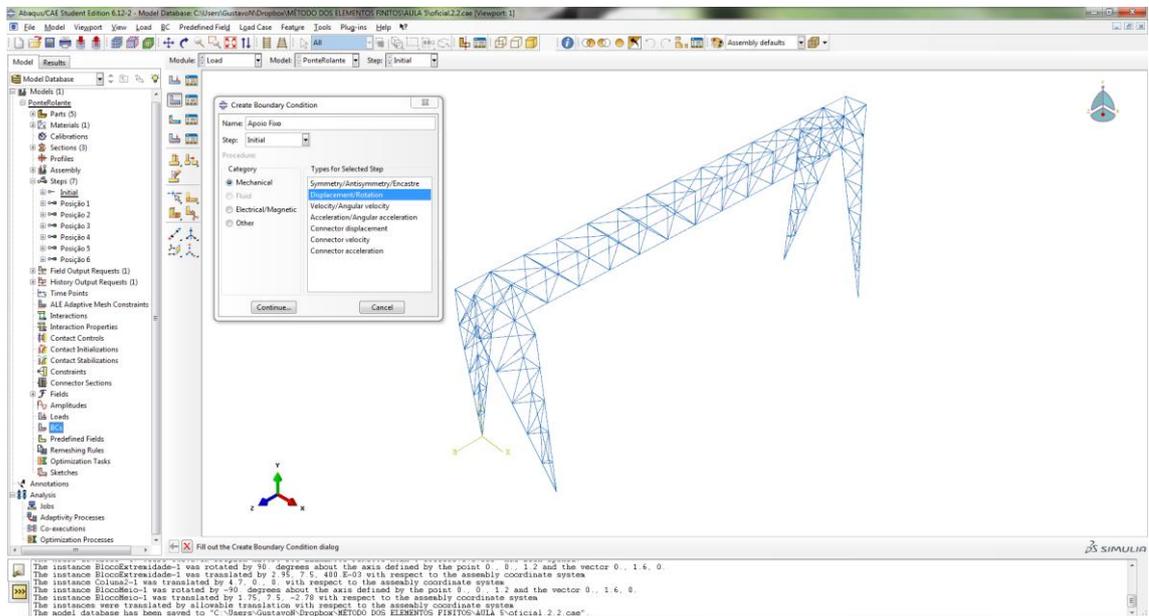
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Steps**. No campo **Name**, **digite** *Posição 1* e em **Procedure Type**, **certifique-se** que **General>Static General** está selecionado. **Clique** em **Continue...** Então **clique** **OK** na nova janela que se abre.

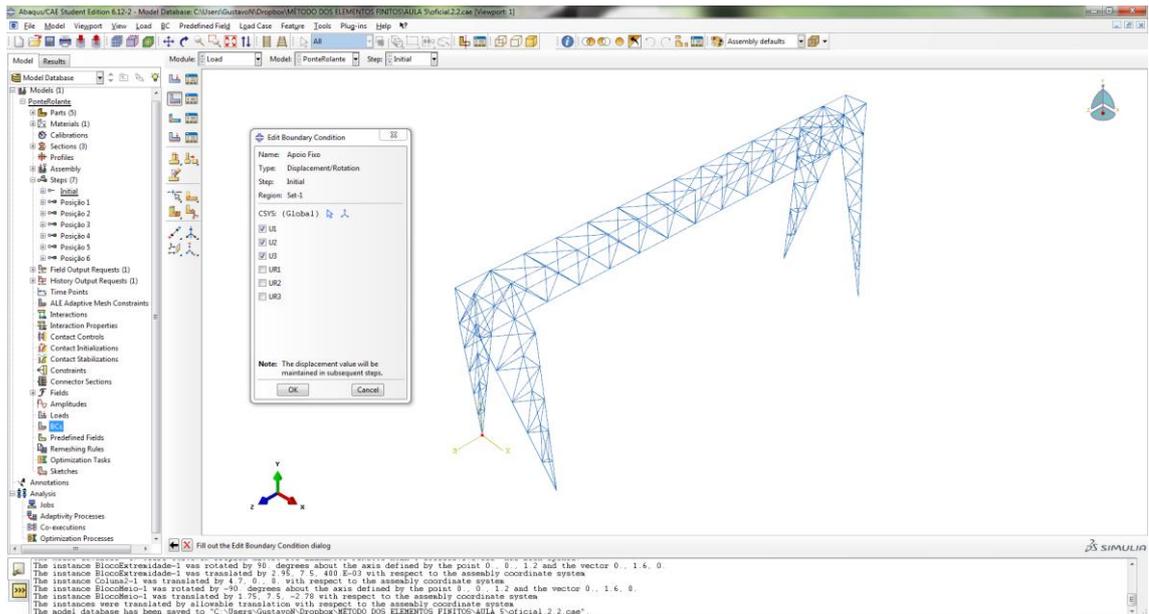


- ✓ **Repita** esse procedimento para criar as posições 2, 3, 4, 5 e 6.

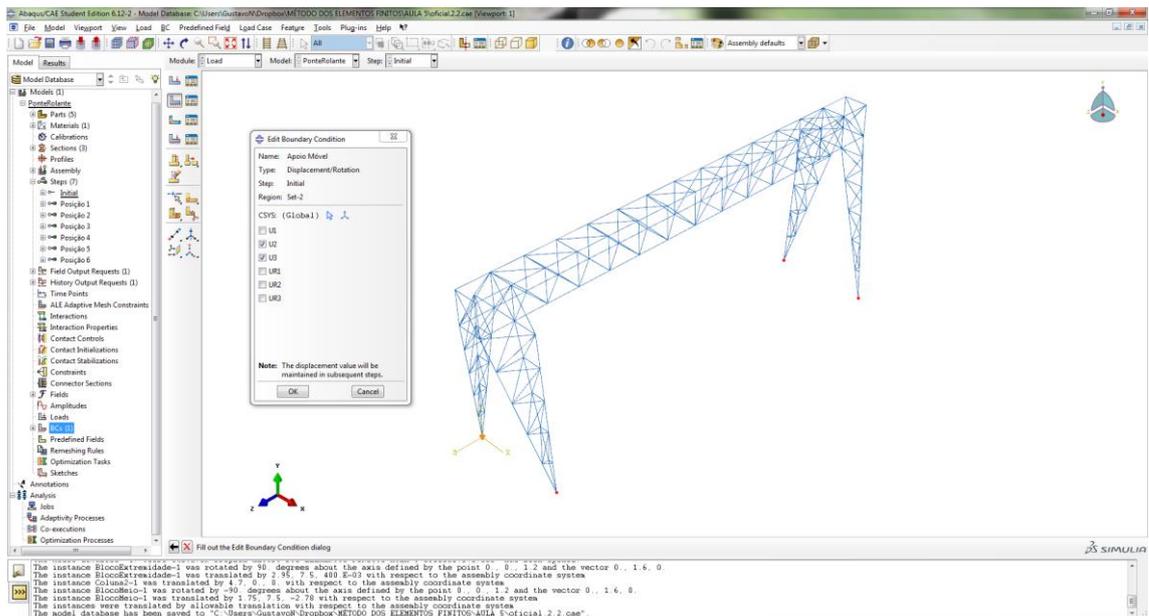


- ✓ No menu model à esquerda, **clique** duplo clique em BCs. Na janela Create Boundary Condition, **altere** o campo Name para Apoio Fixo, Step para Initial e Types for Selected Step para Displacement/Rotation. **Clique** em Continue.... **Selecione** qualquer um dos quatro pontos da base da ponte rolante e **clique** em Done. **Marque** na nova janela U1 , U2 e U3. **Clique** em OK.

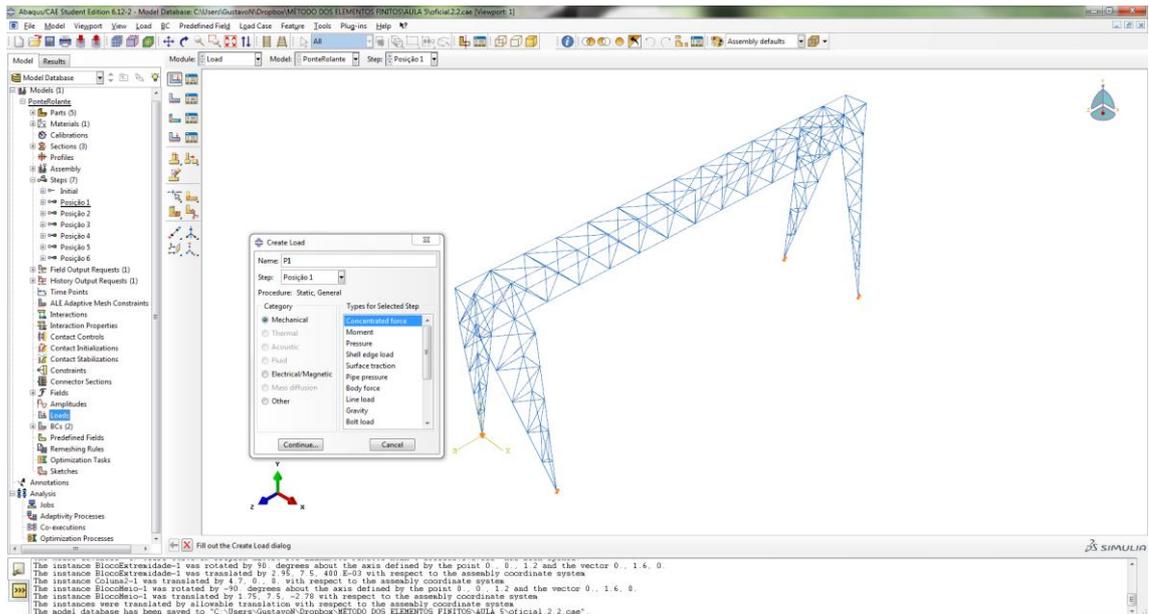




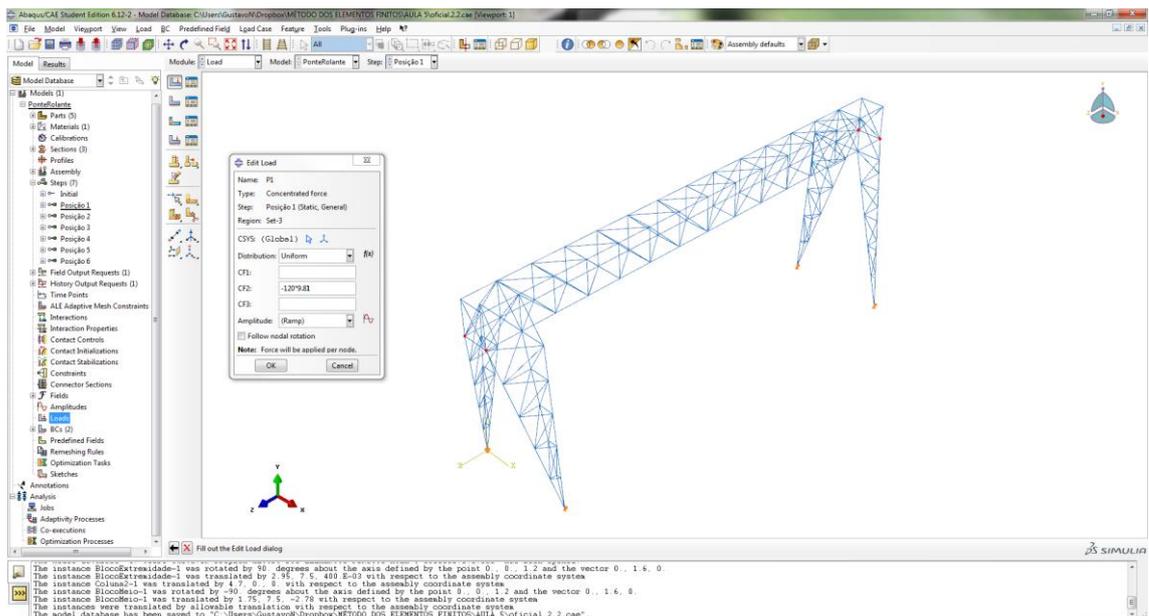
- ✓ **Repita** esse procedimento para criar os outros apoios (Apoio Móvel 1, 2 e 3), selecionando os demais pontos da base da ponte, marcando na janela Edit Boundary Condition apenas **U2** e **U3**.



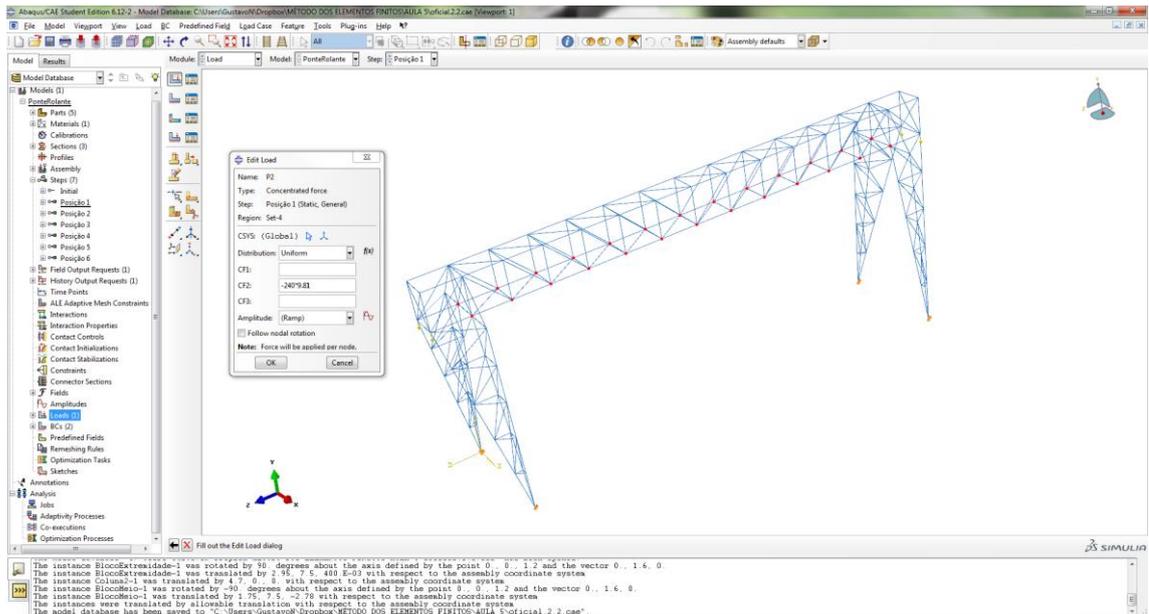
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Loads**. Na janela **Create Load**, no campo **Name** **digite P1**, **troque** o **Step** para **Posição 1** e **clique** em **Continue**....



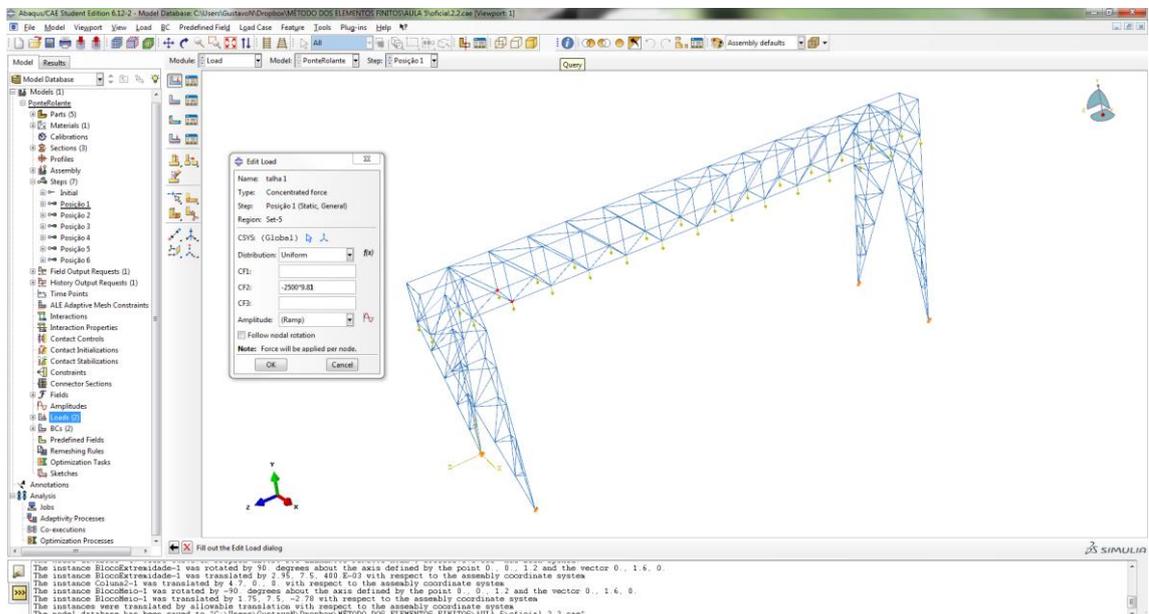
- ✓ **Selecione** os 4 pontos extremos inferiores da viga e **clique** em Done Na janela Edit Load, no campo CF2 **digite** -120×9.81 e **clique** em OK.



- ✓ **Repita** o procedimento para criar a carga $P2$, aplicada em todos os demais nós do banzo inferior da viga, aplicando em CF2 -240×9.81

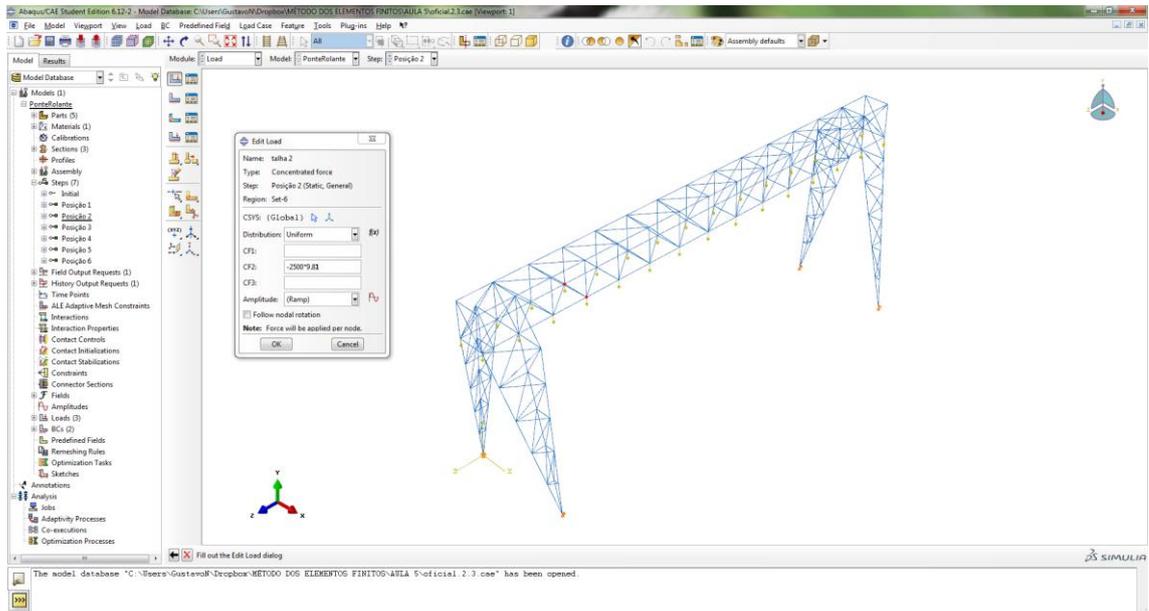


- ✓ **Dê** duplo clique em **Loads**. Na janela **Create Load**, no campo **Name** digite **talha1**, troque o **Step** para **Posicao1** e **clique** em **Continue...** **Selecione** os 2 pontos extremos inferiores entre o primeiro e o segundo **BlocoMeio** e **clique** em **Done**. Na janela **Edit Load**, no campo **CF2** digite **-2500*9.81** e **clique** em **OK**.

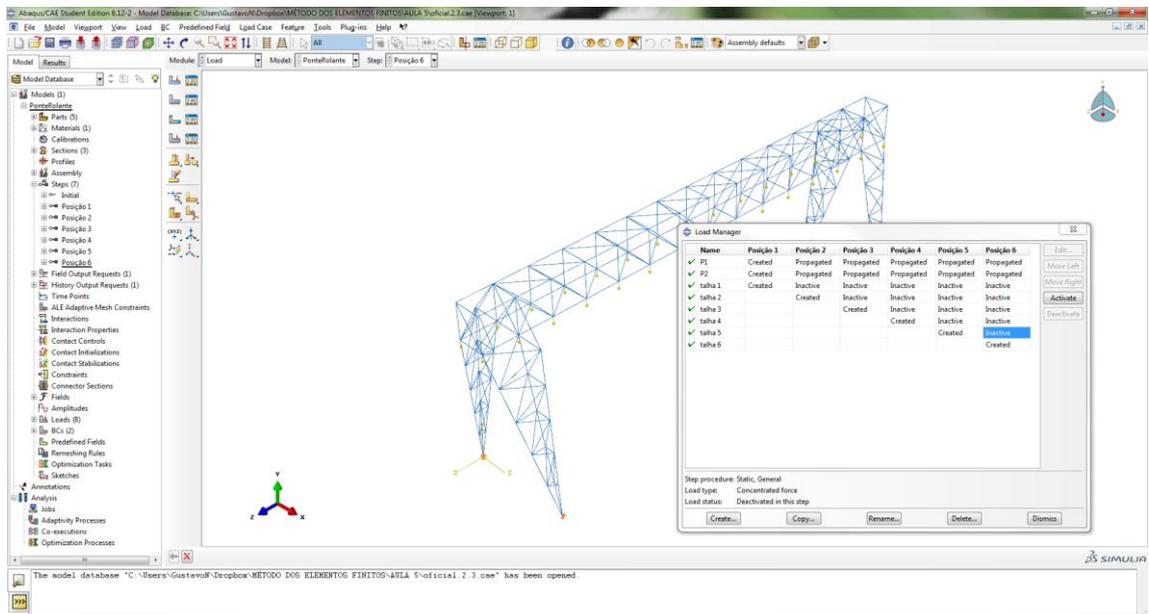


- ✓ **Repita** o procedimento anterior para criar as cargas talha 2, talha 3, talha 4, talha 5 e talha 6 associadas aos Steps criados (posição 2, posição 3...). **Selecione** os nós por pares para as próximas posições, buscando simular a carga que se desloca sobre a ponte rolante. **Faça**

assim como na imagem a seguir, onde foram selecionados os nós de aplicação para a posição 2.

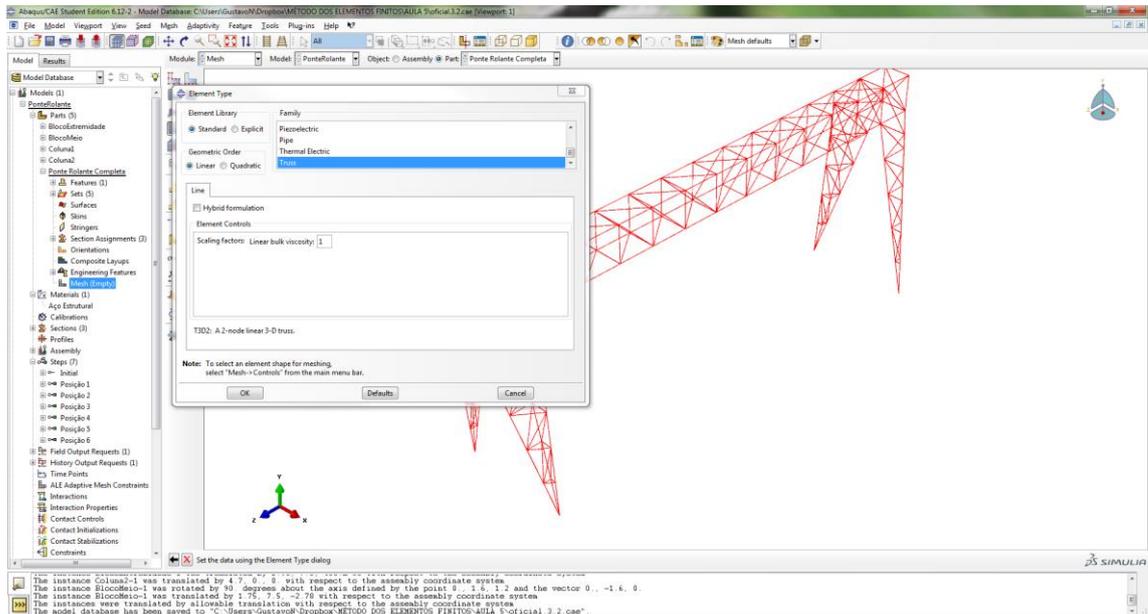


- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Load Manager**. Na janela aberta, **selecione** Propagated após Created para talha 1 e **clique** em Deactivate. **Repita** para as demais talhas como mostra a imagem. **Clique** em Dismiss.

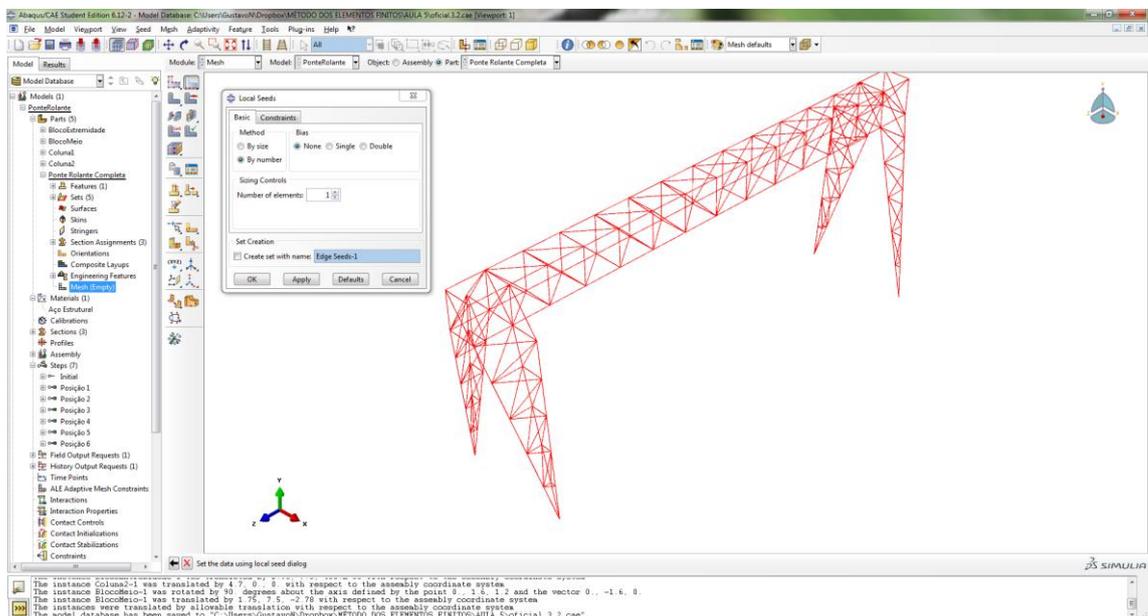


- ✓ No menu model à esquerda, **abra** Parts>Ponte Rolante Completa e **dê** dois cliques em **Mesh**. Na barra de contexto, em **Object**, **selecione** Part. Na barra do menu principal, **clique** em Mesh>Element Type e

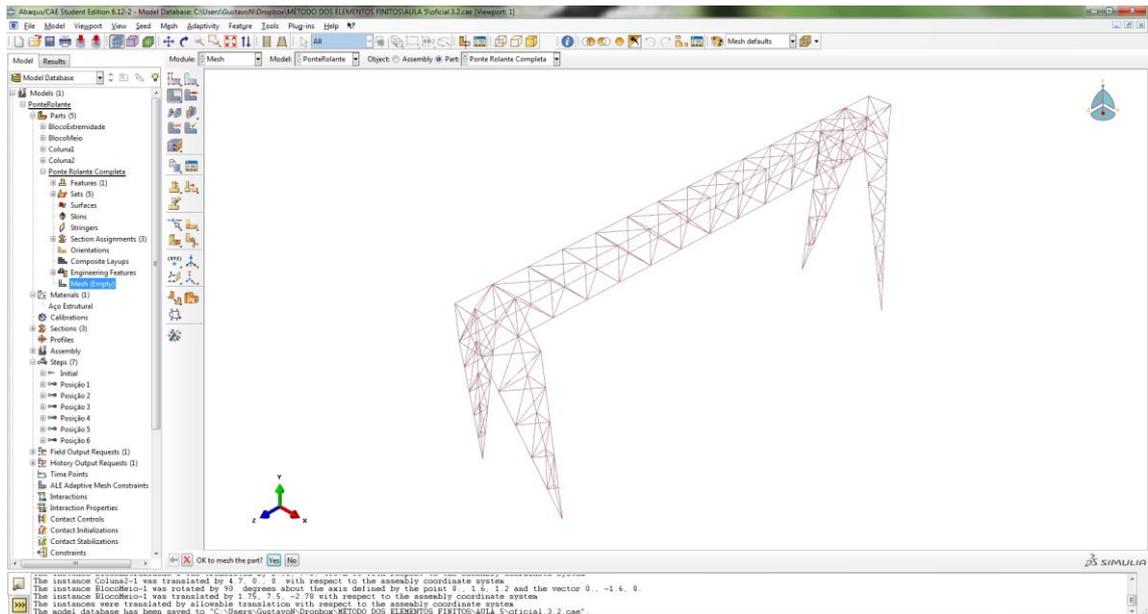
selecione toda a região da treliça. Clicando em **Done**, abrirá a janela **Element Type**. Em **Family**, selecione **Truss** e **clique OK**.



✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Seed>Edges** e **selecione** toda a região da treliça novamente e **clique** em **Done**. Na janela **Local Seeds**, **altere** **Method** para **By number** e em **Sizing Controls**, **altere** **Number of elements** para **1**. **Clique** em **OK**.

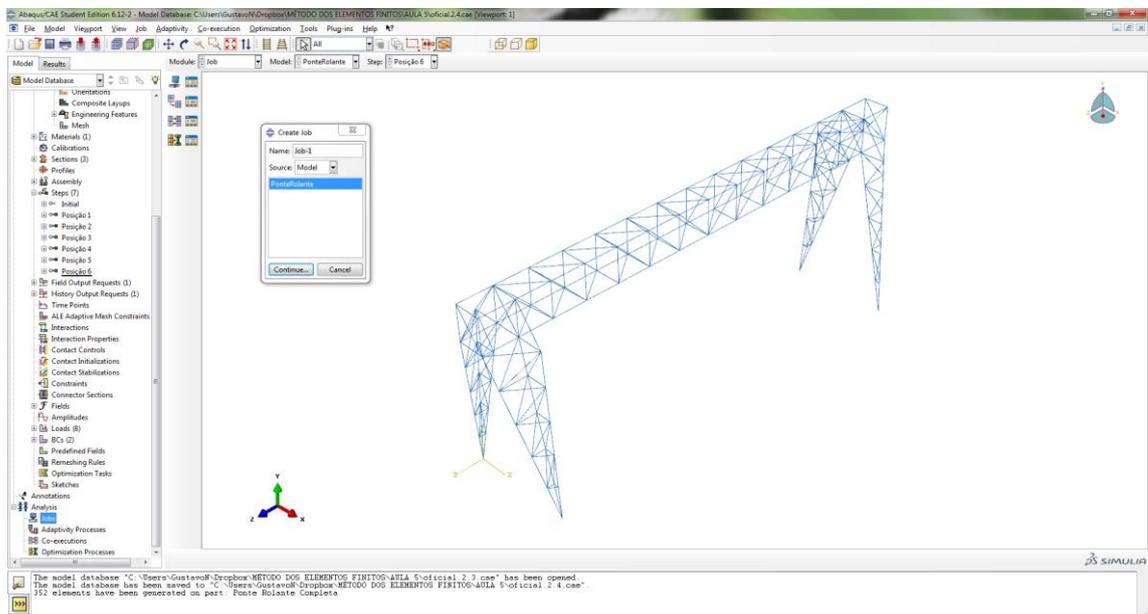


✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Part**. Aparecerá a pergunta “OK to mesh the part?”, **clique** **Yes**. **Note** que a treliça fica na cor azul.

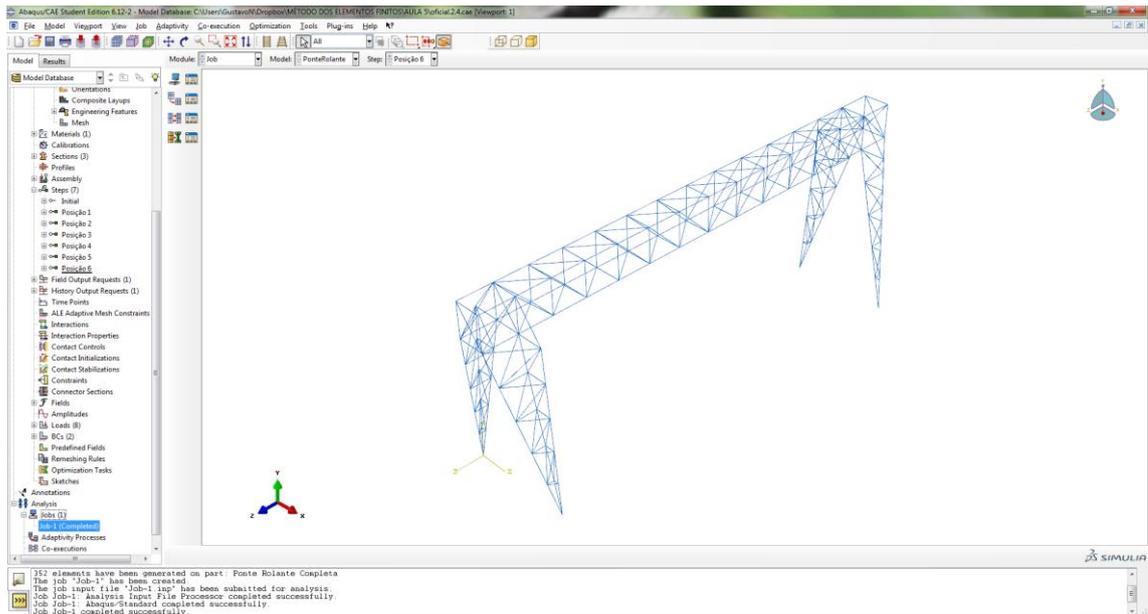


2.3. PROCESSAMENTO

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

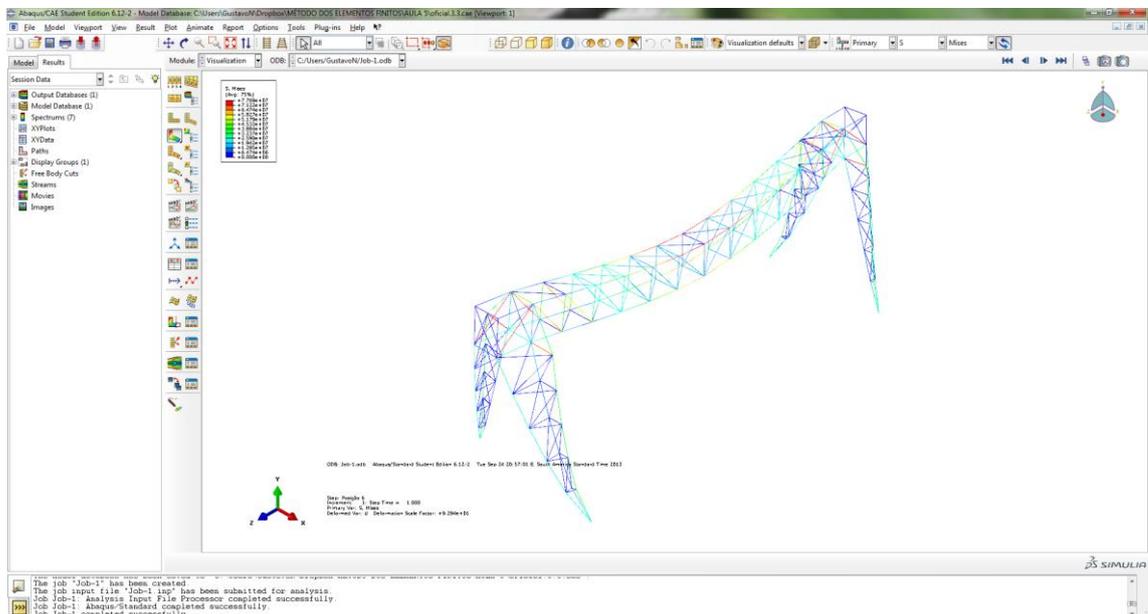


- ✓ **Abra Jobs** e **clique** com o botão direito em Job-1. **Clique** em Submit. Se aparecer uma janela dizendo “Job files already exist for Job-1. OK to overwrite?”, **clique** OK. **Aguarde** o processamento dos dados. Estará concluído quando aparecer “(Completed)” ao lado de Job-1 no menu model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



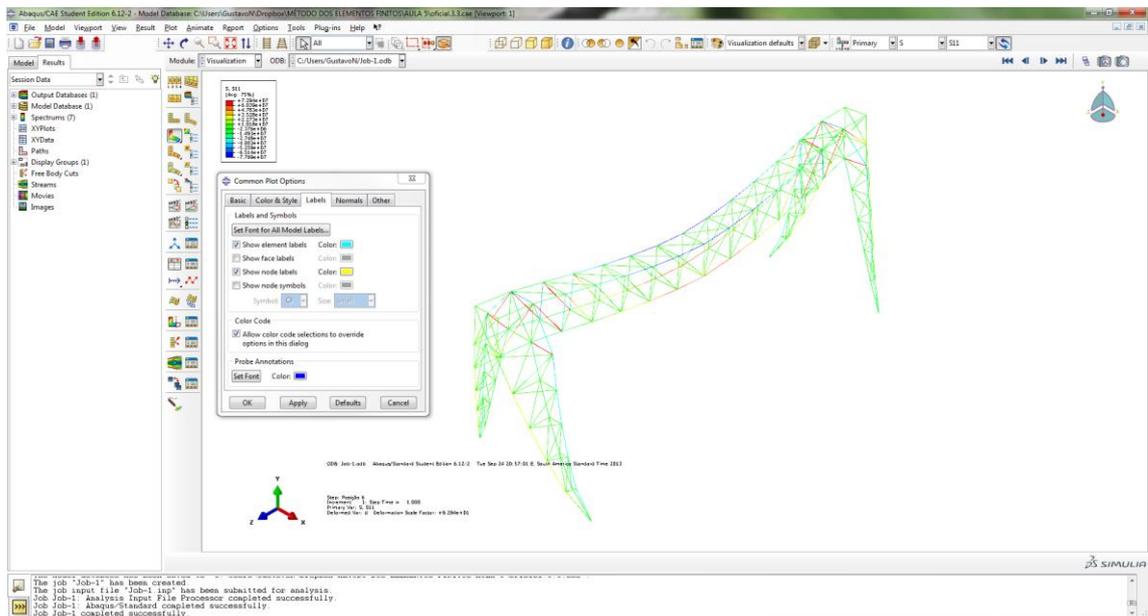
2.4. PÓS-PROCESSAMENTO

- ✓ 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**.

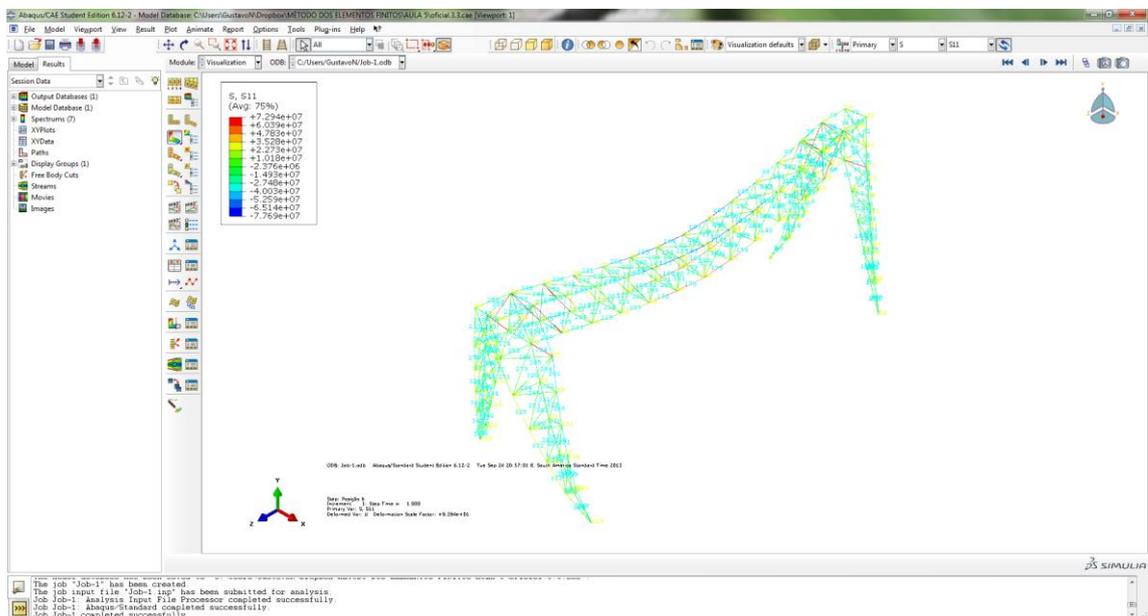


- ✓ Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione S11** onde, por padrão, estava selecionado **Mises**. Na caixa de ferramentas, **clique** em **Common Options**. Na janela **Common Plot Options**,

selecione a aba Labels e marque Show element labels e show node labels. Clique OK.

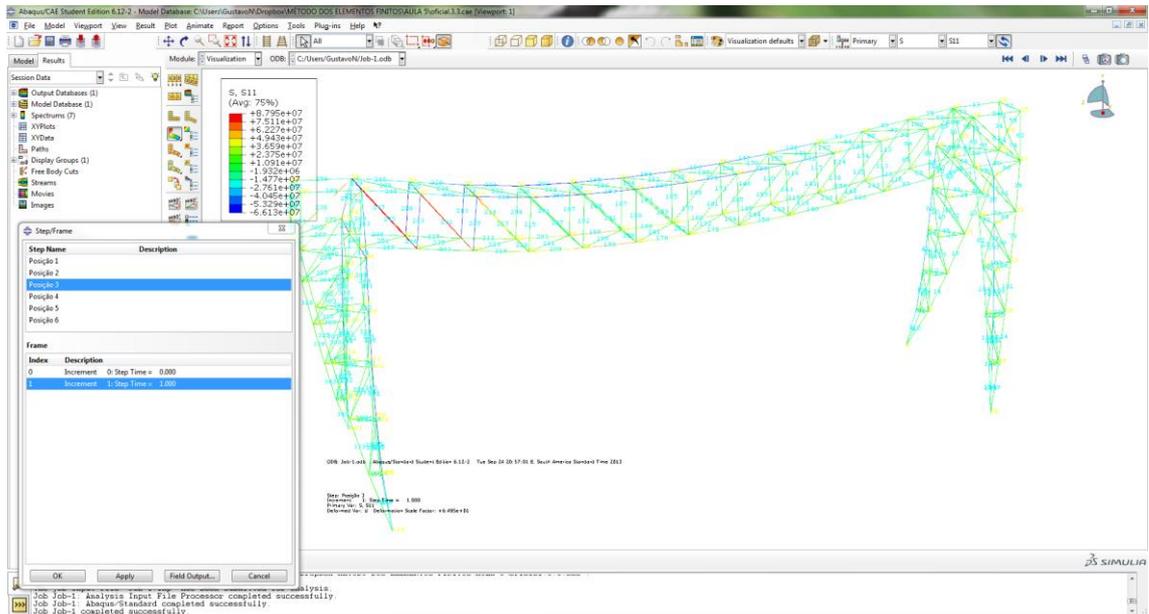


- ✓ Na barra de menu principal, **clique** em Viewport>Viewport Annotation Options.... Na janela aberta, **selecione** a aba Legend. **Clique** em Set Font. Na nova janela, **altere** Size para 14. **Clique** OK nas duas janelas abertas.

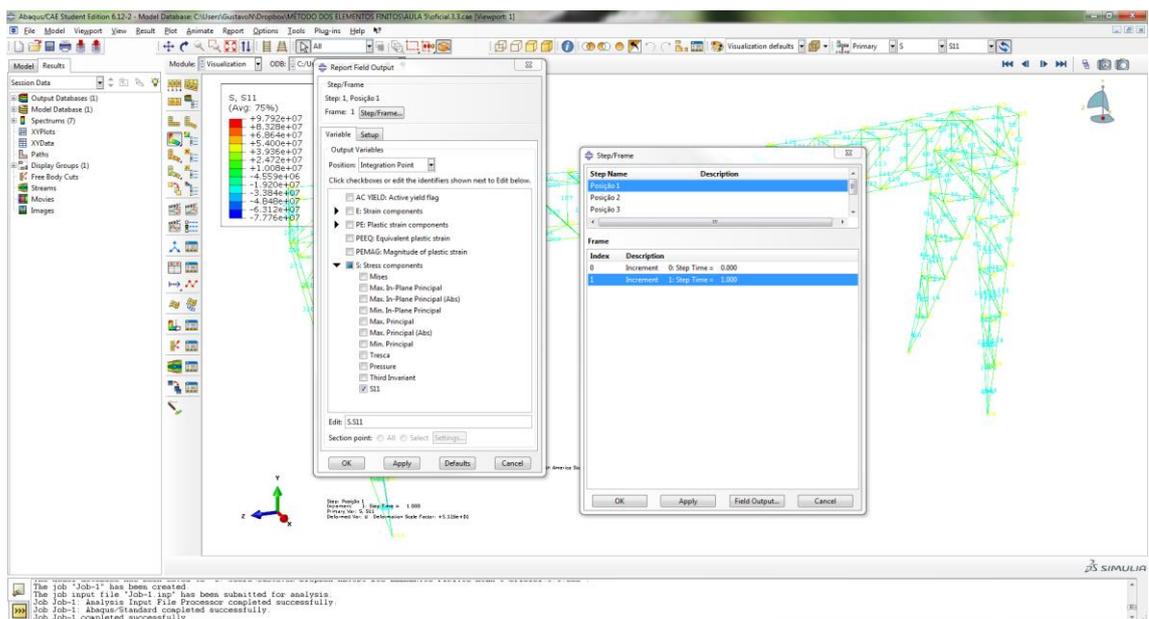


- ✓ Na barra de menu principal, **clique** em Results>Step/Frame. Na janela aberta você pode ativar qualquer uma das 6 diferentes posições de

carga criadas na estrutura. **Selecione** a posição 3 por exemplo e **clique** em **Apply**. **Clique** em **OK**.



✓ Na barra de menu principal, **clique** em **Report>Field Output**. Na janela **Report Field Output**, **clique** em **S: Stress components>S11** e **clique** em **Step/Frame**. Na janela **Step/Frame**, **Selecione** a posição 1 e **clique** em **OK** nas duas janelas. A mensagem aparecerá: “The field output report was appended to file “abaqus.rpt”.”. **Repita** para plotar os esforços na **posição 6**. O arquivo **abaqus.rpt** pode ser encontrado em **C:\Users\“Nome do Usuário”\abaqus.rpt**.



✓ O arquivo listará os esforços das barras.

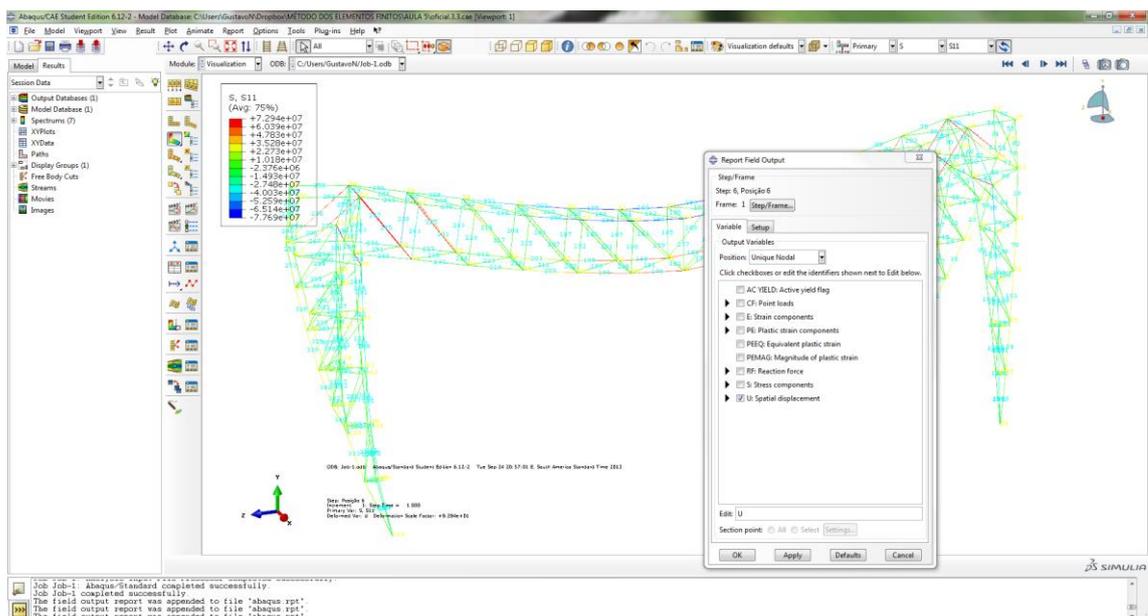
Para a posição 1:

| | |
|------------|--------------|
| Minimum | -77.7619E+06 |
| At Element | 279 |
| Int Pt | 1 |
| Maximum | 97.924E+06 |
| At Element | 255 |
| Int Pt | 1 |

Para a posição 6:

| | |
|------------|--------------|
| Minimum | -78.0839E+06 |
| At Element | 176 |
| Int Pt | 1 |
| Maximum | 72.9382E+06 |
| At Element | 77 |
| Int Pt | 1 |

✓ Na barra do menu principal, **clique** em Report Field Output. Na janela Report Field Output, **clique** em Step/Frame... **selecione** a posição 1 e **clique** em OK, **desmarque** Stress Components e no campo Position **selecione** Unique Nodal. Então **marque** U: Spatial Displacement e **clique** OK. **Repita** para a posição 6.



✓ O arquivo listará o deslocamento dos nós.

Para a posição 1:

| Node Label | U.Magnitude @Loc 1 | U.U1 @Loc 1 | U.U2 @Loc 1 | U.U3 @Loc 1 |
|------------|--------------------|-------------|--------------|--------------|
| Minimum | 0. | -3.0252E-03 | -12.9994E-03 | -2.96541E-03 |
| At Node | 120 | 4 | 63 | 89 |
| Maximum | 43.2283E-03 | 43.2283E-03 | -18.2894E-33 | 868.597E-06 |
| At Node | 119 | 119 | 4 | 114 |

Para a posição 6:

| Node Label | U.Magnitude @Loc 1 | U.U1 @Loc 1 | U.U2 @Loc 1 | U.U3 @Loc 1 |
|------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| Minimum | 0. | -8.50675E-03 | -22.3754E-03 | -2.93951E-03 |
| At Node | 120 | 4 | 64 | 39 |
| Maximum | 23.8446E-03 | 23.8446E-03 | 10.0416E-33 | 2.93954E-03 |
| At Node | 119 | 119 | 4 | 112 |

✓ 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 da situação 1- job-1.odt).