

# RESERVATÓRIOS CILÍNDRICOS E SILOS METÁLICOS USANDO O ABAQUS 6.12 STUDENT EDITION

## 1. INTRODUÇÃO

Reservatórios cilíndricos são estruturas normalmente utilizadas para o armazenamento de água, de resíduos industriais, de resíduos da indústria petroquímica, de óleos, de grãos e etc. Em especial, seu estudo é importante no dimensionamento de silos agrícolas ou graneleiros. Esses devem apresentar condições necessárias para o armazenamento e a preservação de produtos agrícolas, especialmente as sementes como a soja, o trigo, o milho, a aveia e etc. Os primeiros estudos de silos remontam aos anos 1800 e seus critérios de dimensionamento e materiais utilizados foram evoluindo com o tempo.

Hoje, as condições de projeto devem levar em conta não só a etapa de armazenamento (por exemplo, a disposição e aeração dos grãos), mas também as etapas de carregamento e descarregamento (por exemplo, o fluxo e disposição dos grãos no carregamento e no descarregamento, sua velocidade e etc.).

Os reservatórios cilíndricos utilizados no armazenamento de grãos em geral são formados por chapas de aço de espessura “t”, soldadas entre si e geometricamente definidas pelo seu diâmetro (D) e sua altura (h). O corpo do reservatório poderá ser liso ou corrugado. O corpo do reservatório é soldado ao fundo, podendo esse fundo se apresentar de forma plana ou cônica (tremonha), sendo que o cone pode ter uma forma concêntrica ou excêntrica.

É pelo fundo que o produto guardado é descarregado pela ação da gravidade ou através de equipamentos apropriados. Quanto ao tampo, esse pode ser ou inteiramente soldado ou apenas fixado em determinados pontos do topo do reservatório.





Figura 1. Reservatório de Fundo Plano e Cônico

### **Reservatório Cilíndrico de Fundo Plano**

O primeiro exemplo a ser apresentado é um reservatório cilíndrico de fundo plano, conforme mostra o esquema da figura 2. Diferentemente dos reservatórios que contêm líquidos, a pressão horizontal nas paredes não aumenta linearmente com a profundidade do silo devido à presença do atrito dos grãos com as paredes do silo. Essa constatação deve-se a Roberts em 1884. A pressão de atrito é distribuída na superfície interna das paredes e equilibra parte do peso do produto, resultando em esforços de compressão na parede do silo. Deve-se a Janssen (1895) a teoria para o cálculo das pressões a partir do equilíbrio de forças infinitesimais que atuam em uma camada elementar da massa de grãos. Sua teoria é utilizada pelas principais normas internacionais para o cálculo das pressões de carregamento, quando o silo se encontra com o produto ensilado em repouso. Mas, ainda na década de 30, descobriu-se que as pressões durante o fluxo diferem das pressões no repouso, e vários estudos experimentais foram feitos com o intuito de mensurar em que proporção as pressões na carga e na descarga excediam as pressões iniciais. Ou seja, duas situações de carga devem ser estudadas: a que considera o material em repouso e a que considera o estado de carregamento ou descarregamento, que conterão as chamadas de pressões ativas. A figura 3 mostra pressões obtidas experimentalmente por Petrov e Kovtun (1959) para um silo de paredes de concreto com milho, onde  $p_h$  são as pressões horizontais que são normais e  $P_V$  pressões de atrito que são paralelas às paredes.

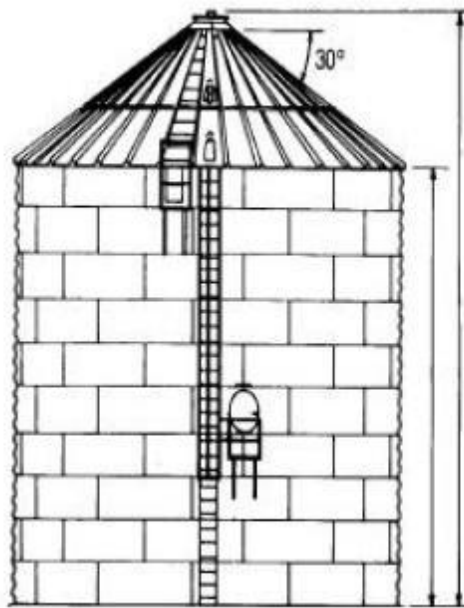


Figura 2. Esquema mostrando reservatório cilíndrico de fundo Plano

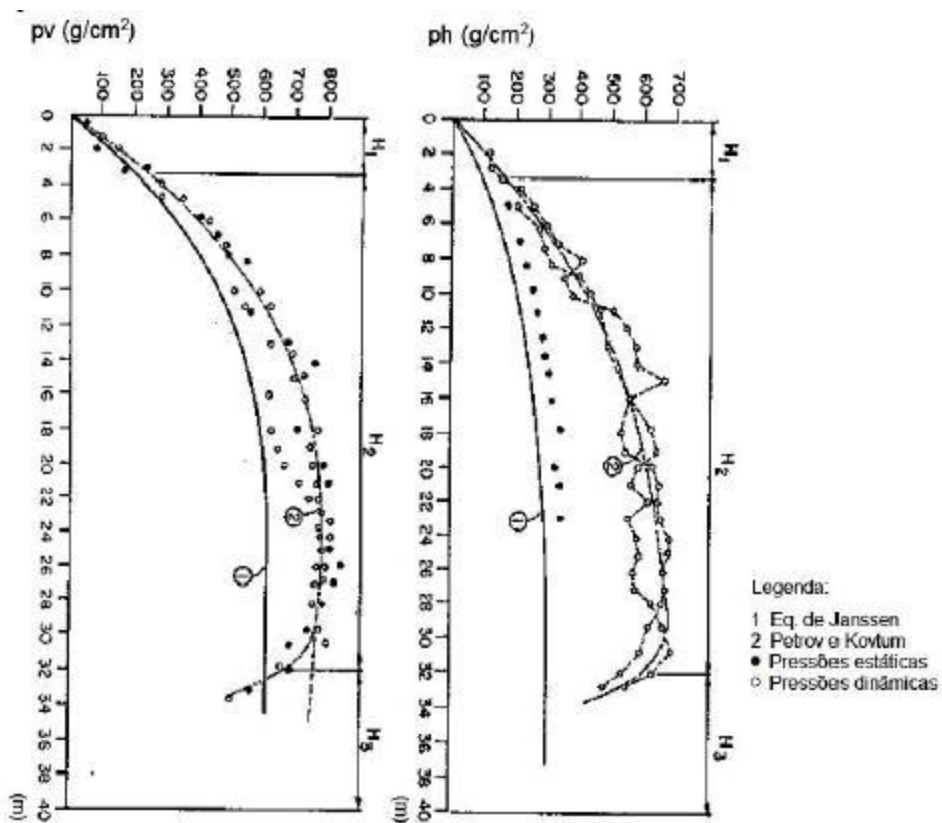


Figura 3. Pressões verticais e horizontais registradas em ensaios por Petrov e Kovtum (1959). Fonte: Gallego (2006)

## 1.1. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS E DOS MATERIAIS

Utilizando-se a hipótese de que o material está em repouso, além do peso próprio do reservatório, é importante a consideração das cargas referentes à pressão lateral e na placa de fundo devido aos grãos ensilados e da força de atrito. Igualmente importantes são as ações do vento que não serão consideradas neste exemplo.

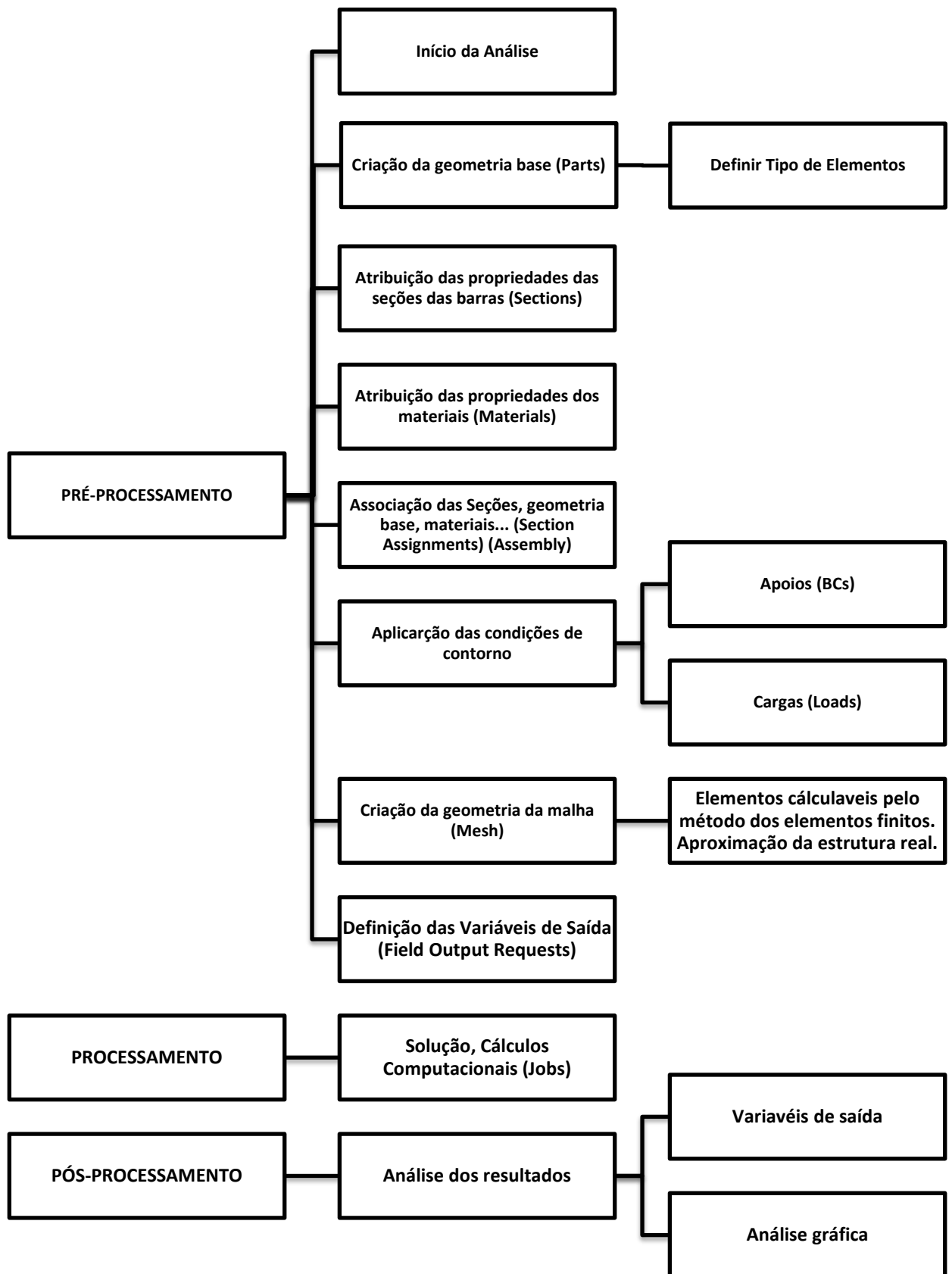
Tabela 1. Tabela contendo as características físicas, geométricas e de carregamento do reservatório na primeira fase.

<b>Características físicas, geométricas e de carregamento do reservatório</b>	
Módulo de Elasticidade ou de Young	205 GPa = 2,05E9 N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0,3
Peso específico	80 kN/m <sup>3</sup> = 8E4 N/m <sup>3</sup>
Altura “h”	11m
Diâmetro “D”	3m
Espessura “t”	0,002m
Carregamento utilizado	Peso e pressão dos grãos (pressão uniforme normal à parede $p_h = 10$ kPa, $p_w = 0$ ) Peso próprio da parede que constitui o corpo do reservatório Peso da estrutura de cobertura = 0,160kN/m
Condição de contorno	Engastado na base

Fonte: Madrona (2008)

## 2. RESOLUÇÃO

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

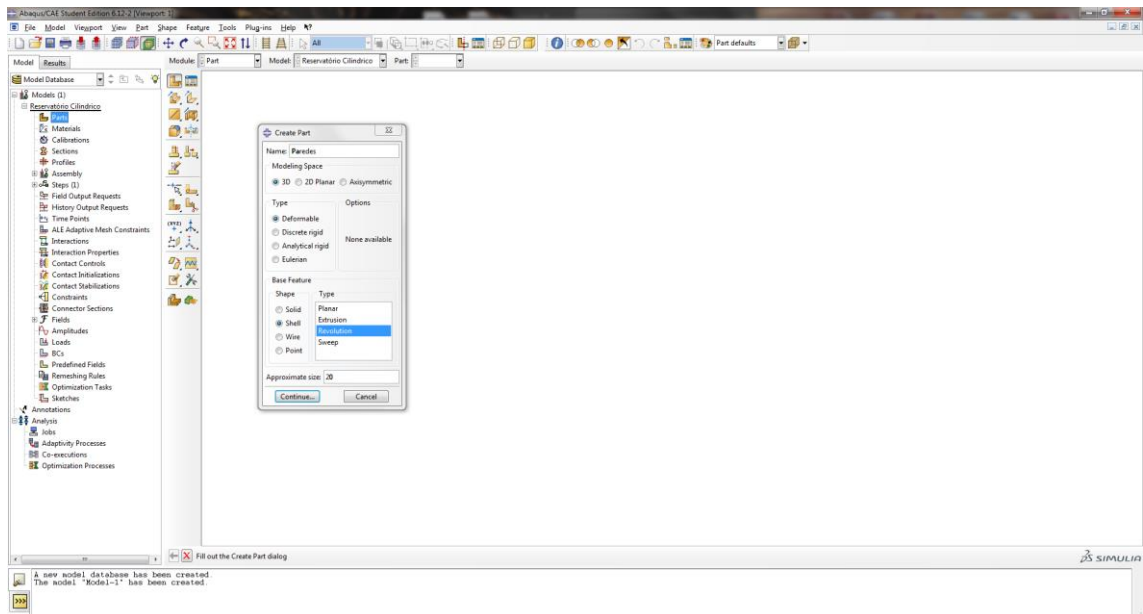


## 2.1. INÍCIO DA ANÁLISE

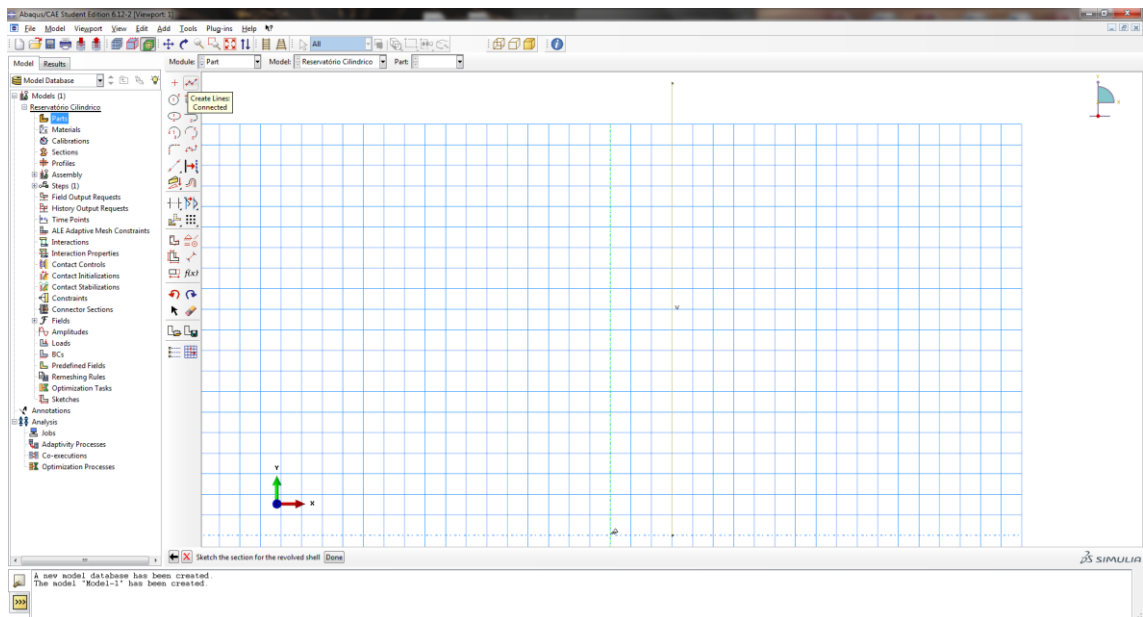
- ✓ Se você ainda não iniciou o programa **Abaqus/CAE**, **digite** *cmd* no **Menu Iniciar** para abrir o **Prompt de Comando** e nele **digite** *abq6122se cae* para executar o Abaqus.
- ✓ Em **Create Model Database** na caixa **Start Session** que aparece, **selecione** **With Standard/Explicit Model**.

## 2.2. PRÉ-PROCESSAMENTO

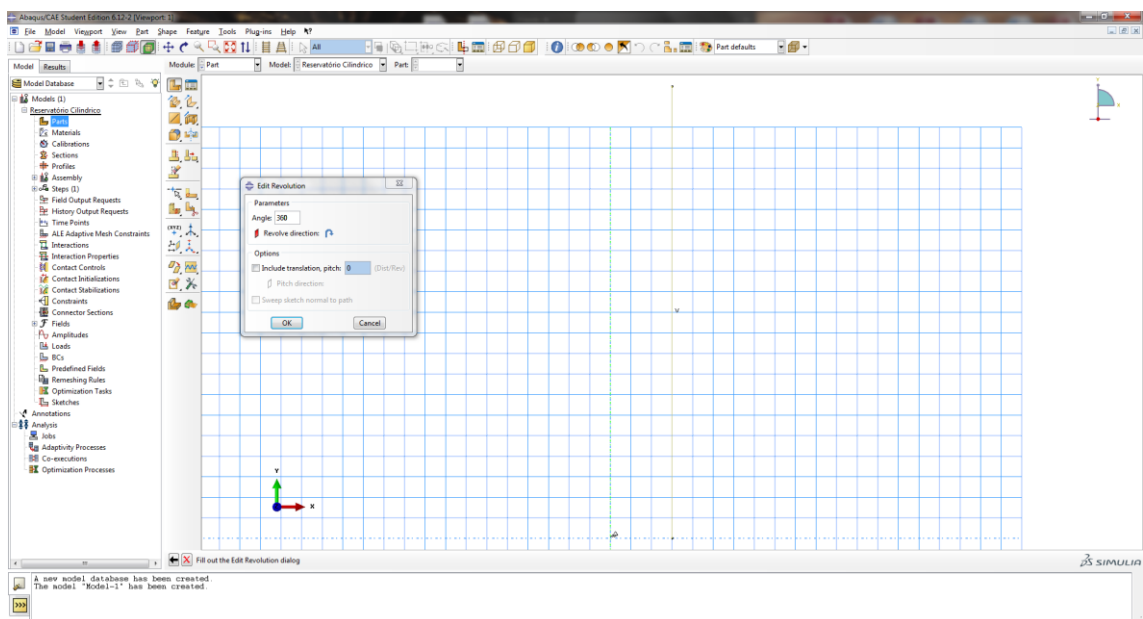
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Model-1** e **selecione** **Rename**. **Digite** *Reservatório Cilíndrico*.
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Parts**, no campo **Name** **digite** *Paredes*, e **selecione** as opções: **3D**, **Deformable**, **Shell**, **Revolution**. Em **approximate size** **digite** *20*. **Clique** em **Continue...**



- ✓ **Clique** em **Create Lines: Connected** na caixa de ferramentas e **insira** as seguintes coordenadas *1,5,0 – 1,5,11*. Em seguida, **desative** a função **Create Lines: Connected** e **clique** em **Done**.

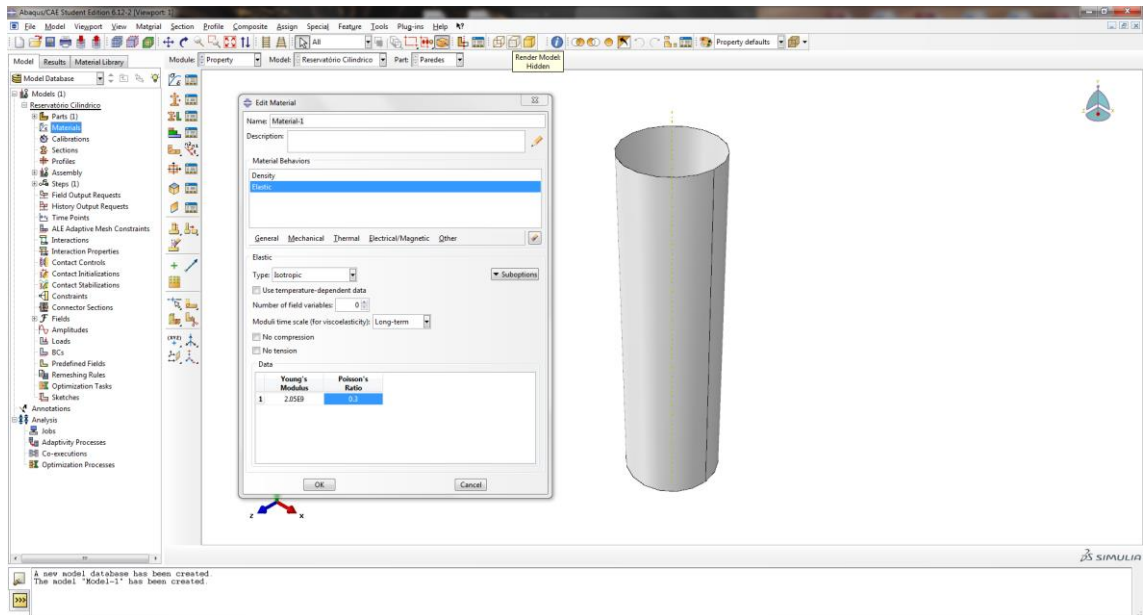


- ✓ Na janela **Edit Revolution**, no campo **Angle**: **digite 360** e **clique** em **OK**.

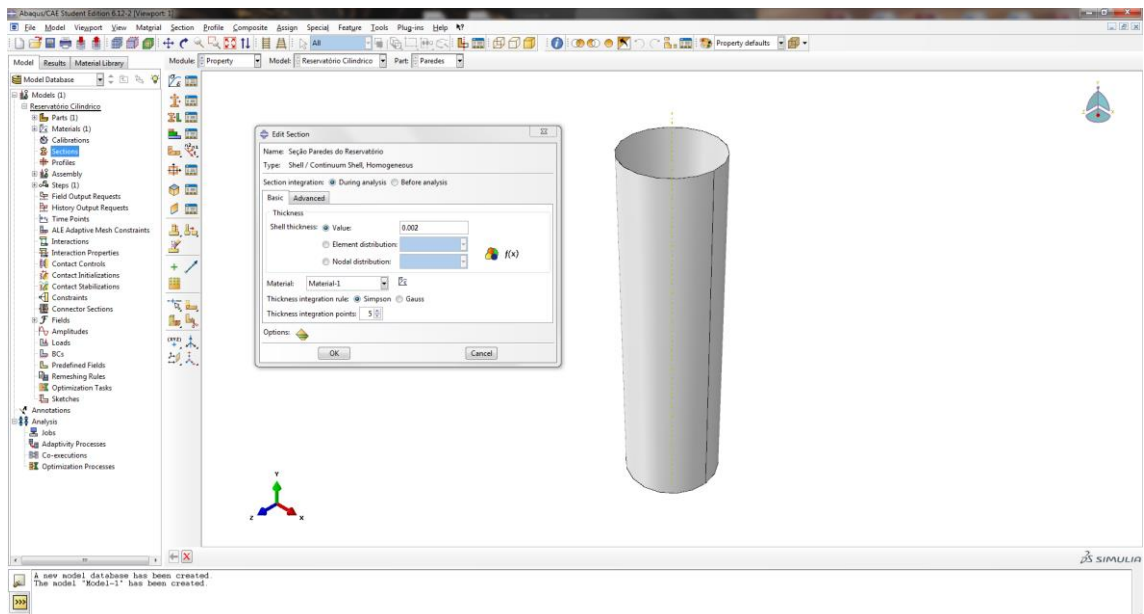


- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Materials**. Na janela **Edit Material**, **selecione** **General**>**Density** e **digite** 8154.94 em **Mass Density**. **Selecione** **Mechanical**>**Elasticity**>**Elastic**, **digite** no campo **Young's Modulus** 2.05E9 e **digite** 0.3 no campo **Poisson's Ratio**. **Clique** em **OK**.



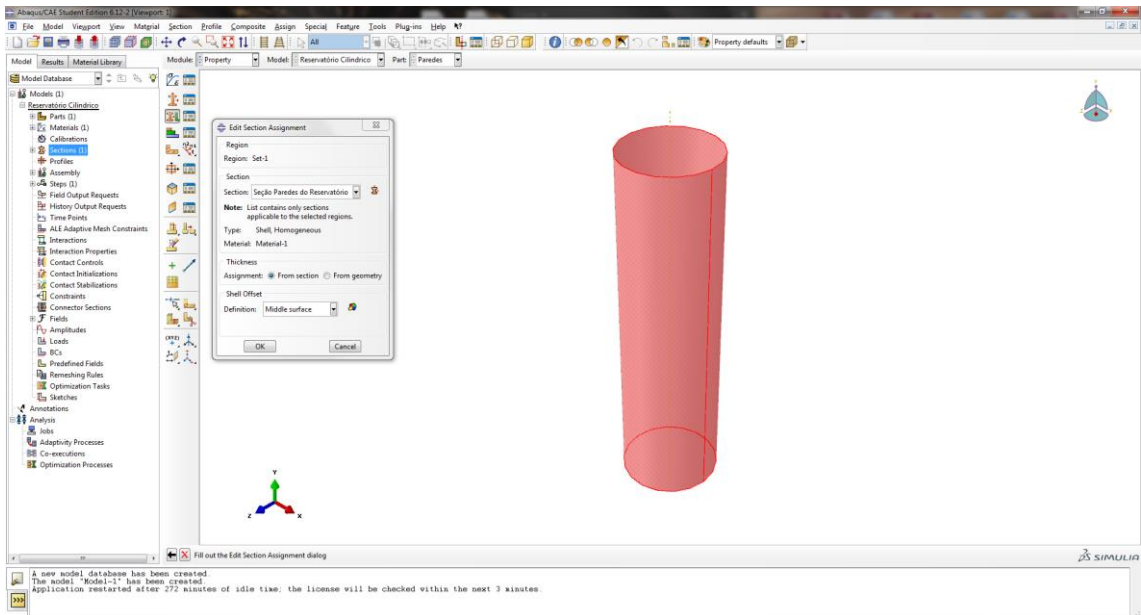


- ✓ No menu **Model** à esquerda, dê duplo clique em **Sections**. No campo **Name**: digite *Seção Paredes do Reservatório*, em **Category** selecione **Shell**, e em **Type** selecione **Homogeneous**. Clique em **Continue...** Na janela **Edit Section**, selecione **Material-1** e digite 0.002 no campo **Shell thickness: Value**:

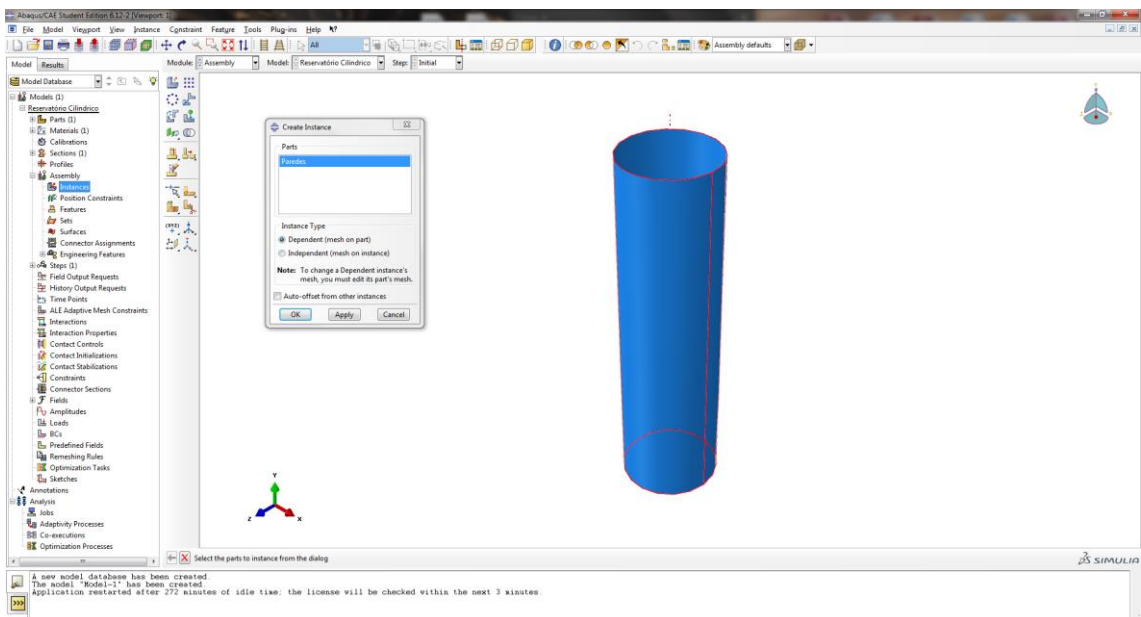


- ✓ Na caixa de ferramentas, clique em **Assign Section**. Selecione o **Reservatório Cilíndrico** e clique em **Done**. Escolha **Seção Paredes do Reservatório** em **Section** e clique em **OK**.

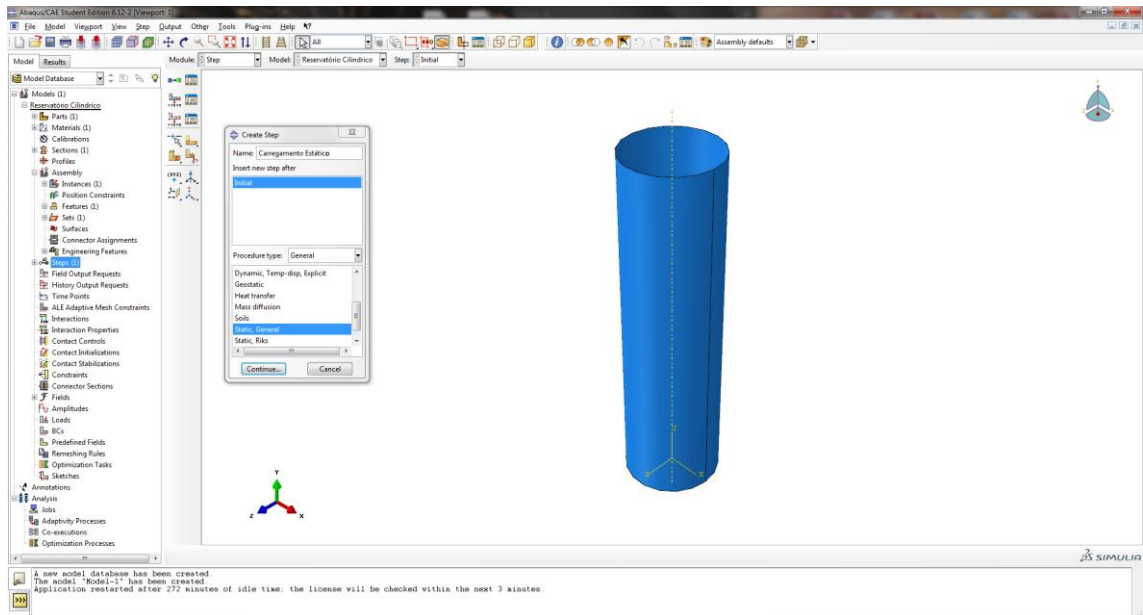




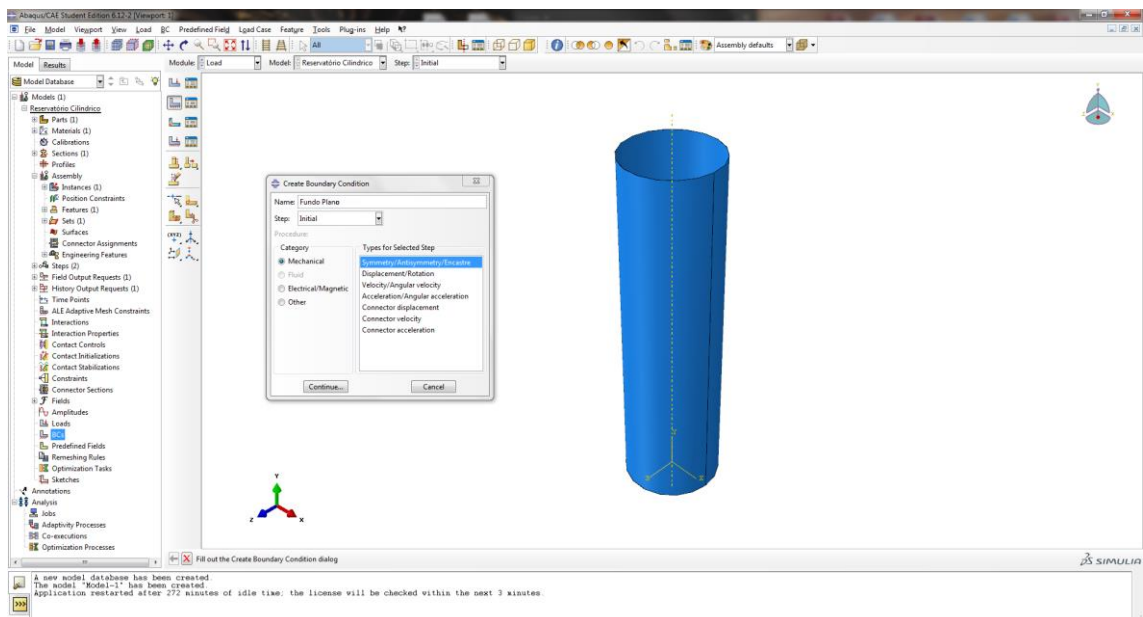
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **abra Assembly**, **dê** duplo clique em **Instances** e **clique** em **OK** na janela q se abre.



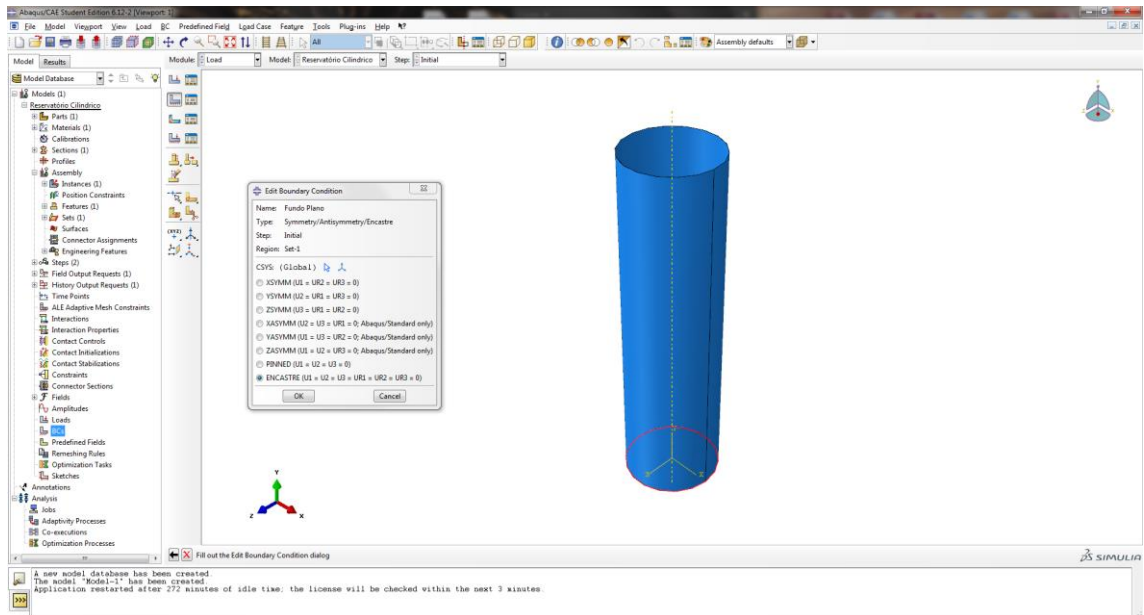
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Steps**. No campo **Name**: **digite** Carregamento Estático e **selecione** Procedure type: **General>Static, General** e **clique** em **Continue...** Na janela **Edit Step**, **clique** em **OK**.



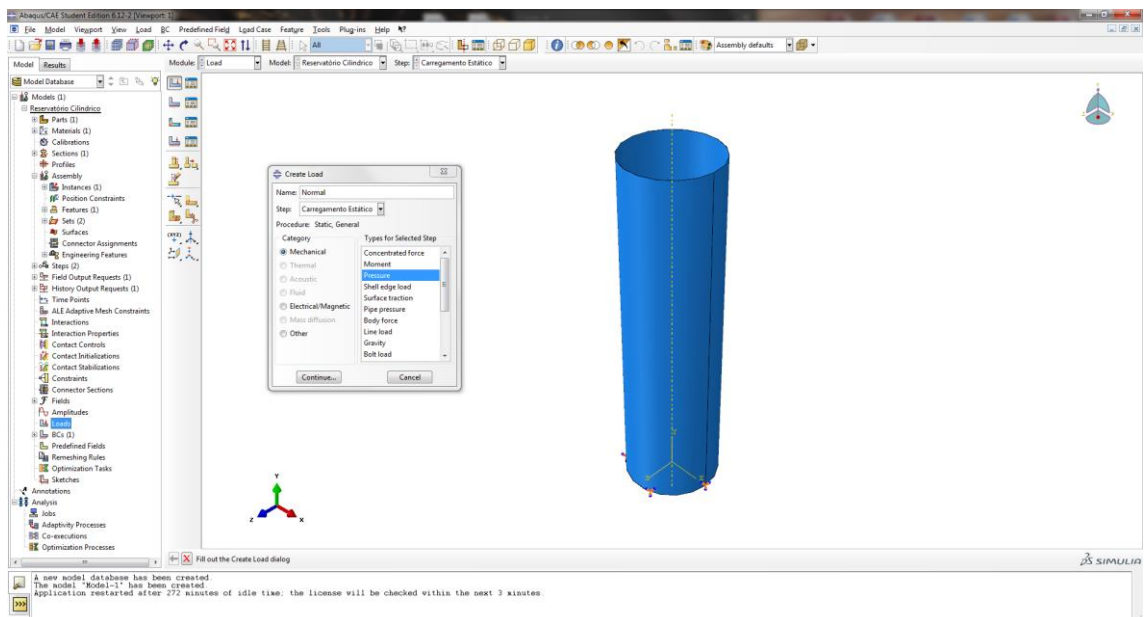
- ✓ No menu model à esquerda, **dê** duplo clique em BCs. Na janela **Create Boundary Condition**, **altere** o campo Name para *Fundo Plano*, Step para **Initial** e Types for Selected Step para **Symmetry/Antisymmetry/Encastre**. **Clique** em Continue...



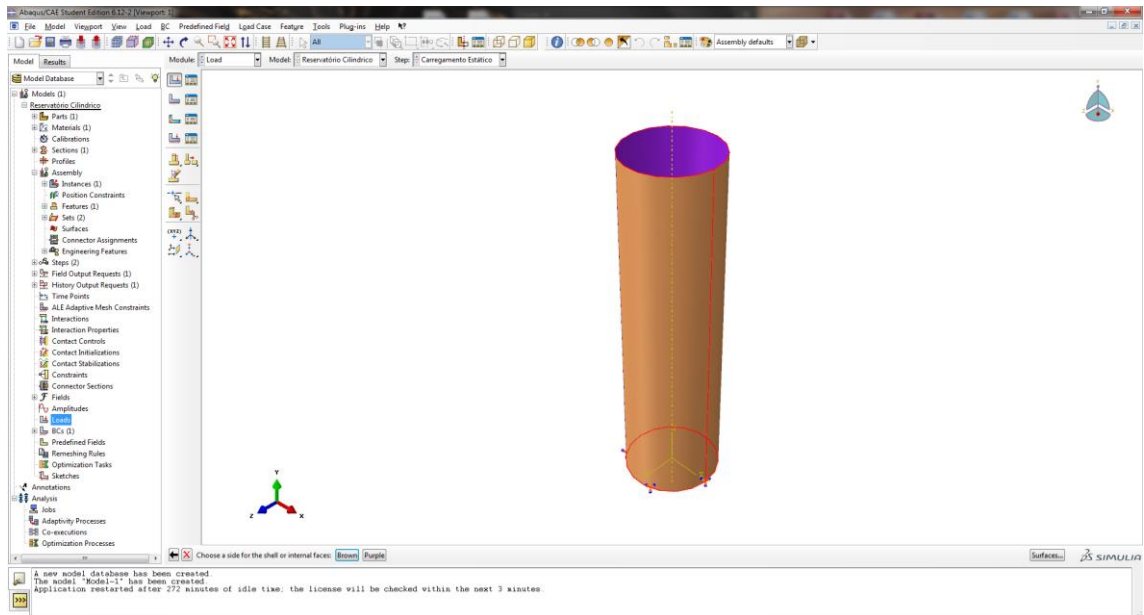
- ✓ **Selecione** a parte do fundo do cilindro e **clique** em Done. **Marque** Encastre ( $U1 = U2 = U3 = UR1 = UR2 = UR3 = 0$ ) na janela Edit Boundary Condition e **clique** em OK.



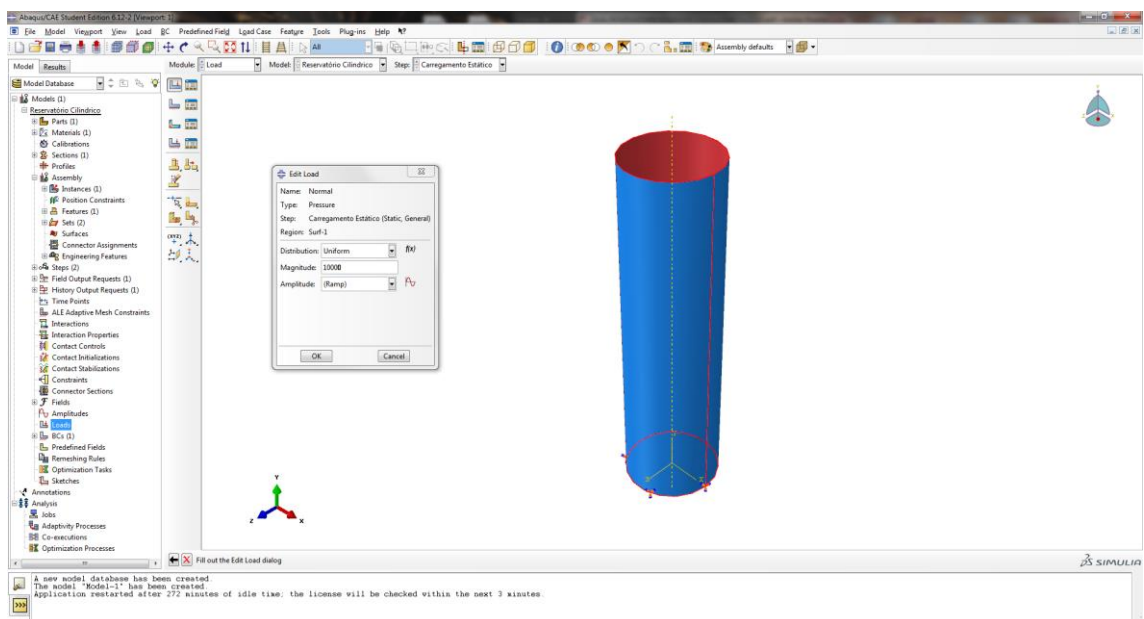
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Loads**. Na janela **Create Load**, **altere** Step: para **Carregamento Estático**, **Category** para **Mechanical** e **Types for Selected Step** para **Pressure**. No campo **Name**: **digite** **Normal** **Clique** em **Continue...**



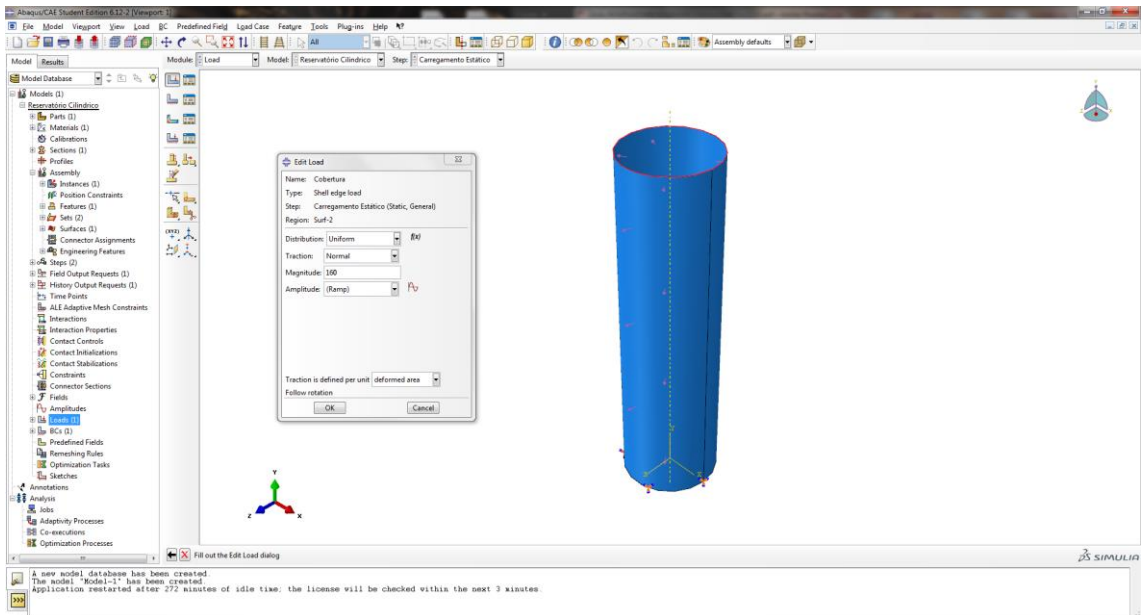
- ✓ **Selecione** a parede do reservatório e **clique** em **Done**, então **clique** na cor q corresponde à face interna (como na imagem: **Purple**).



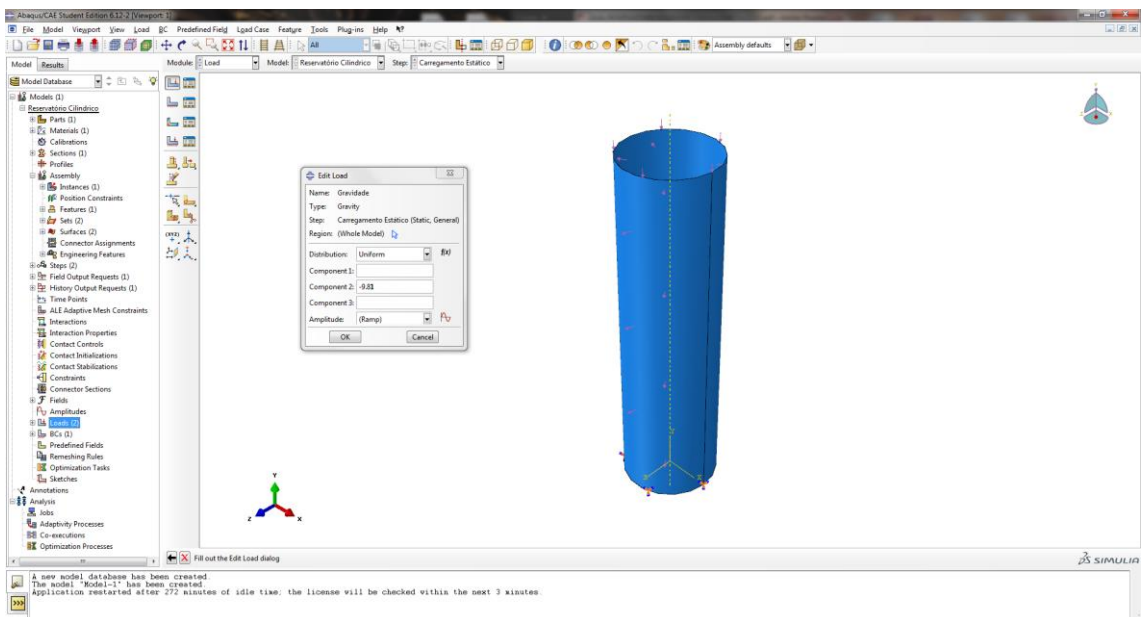
- ✓ Na janela **Edit Load** digite 10000 no campo **Magnitude:** e clique em **OK.**



- ✓ **Repita** para criar a carga Cobertura aplicada na circunferência do topo do cilindro, selecionando **Shell edge Load** e **Magnitude** de 160.

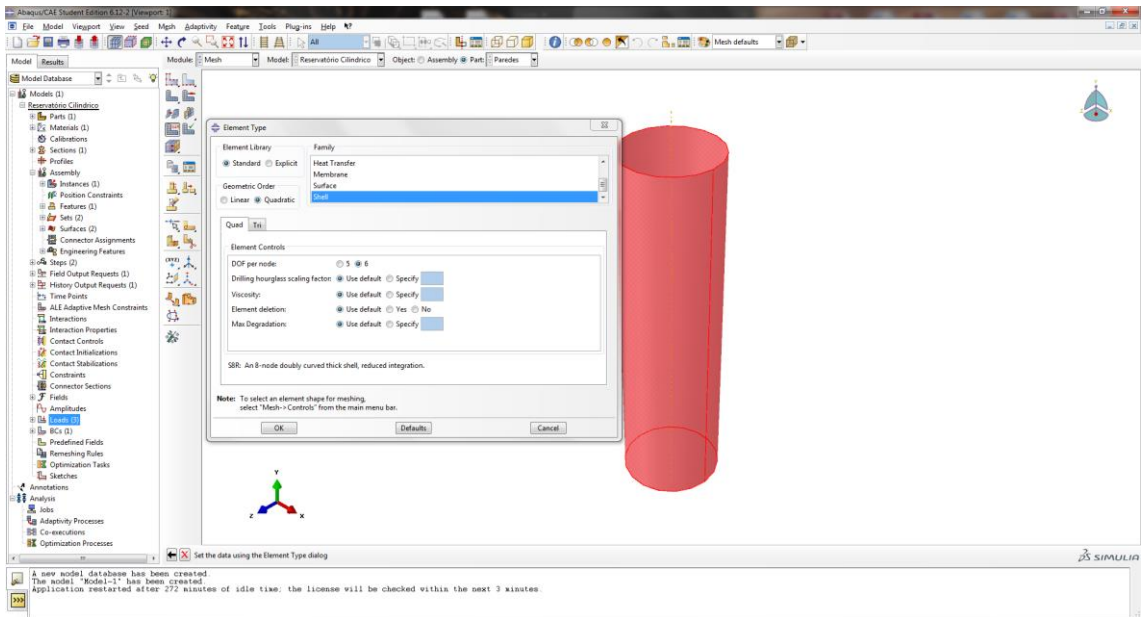


- ✓ **Repita** para criar a carga devido à gravidade, selecionando **Gravity** e inserindo **-9.81** em **Component 2**:

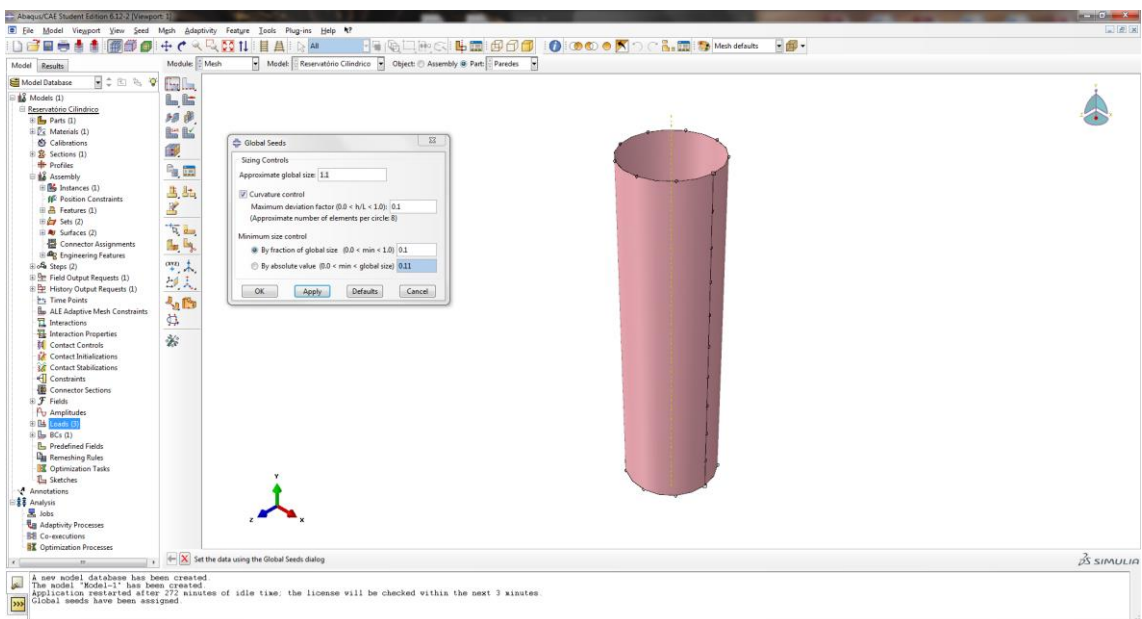


- ✓ Na barra de contexto, em **Module**, **selecione** Mesh e em **Object: Part:** **Paredes**. Na barra do menu principal **clique** em Mesh>Element Type, **selecione** o Reservatório e **clique** em Done. Abrirá a janela Element Type, em Family, **selecione** Shell, em Geometric Order, **selecione** Quadratic. **Clique** em OK.

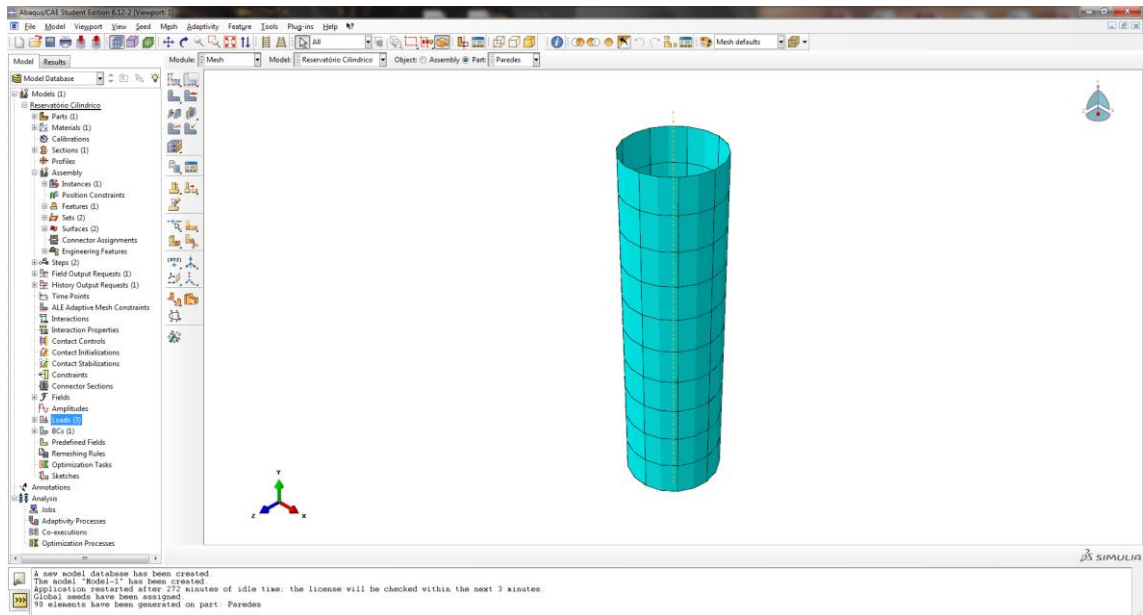




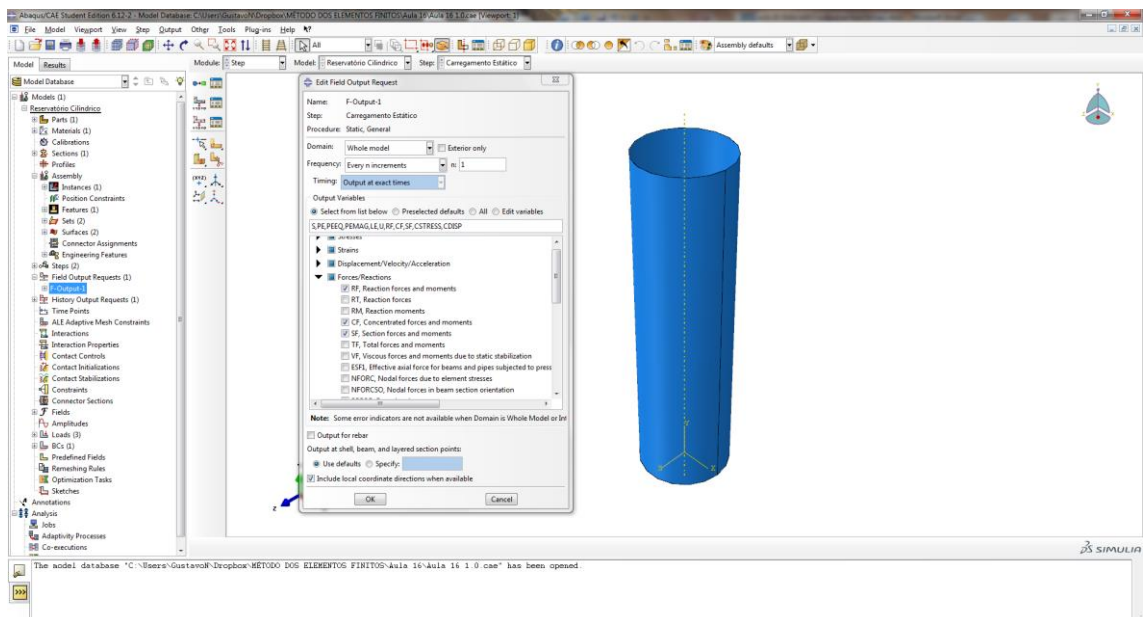
✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Seed>Part**. **Clique** em **OK**.



✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Part** e então **clique** em **Yes**.



- ✓ No menu model à esquerda, abra Field Output Requests (1), clique com o botão direito em F-Output-1 e selecione Edit..., abra Forces/Reactions e marque SF, Section forces and moments. Então clique em OK.



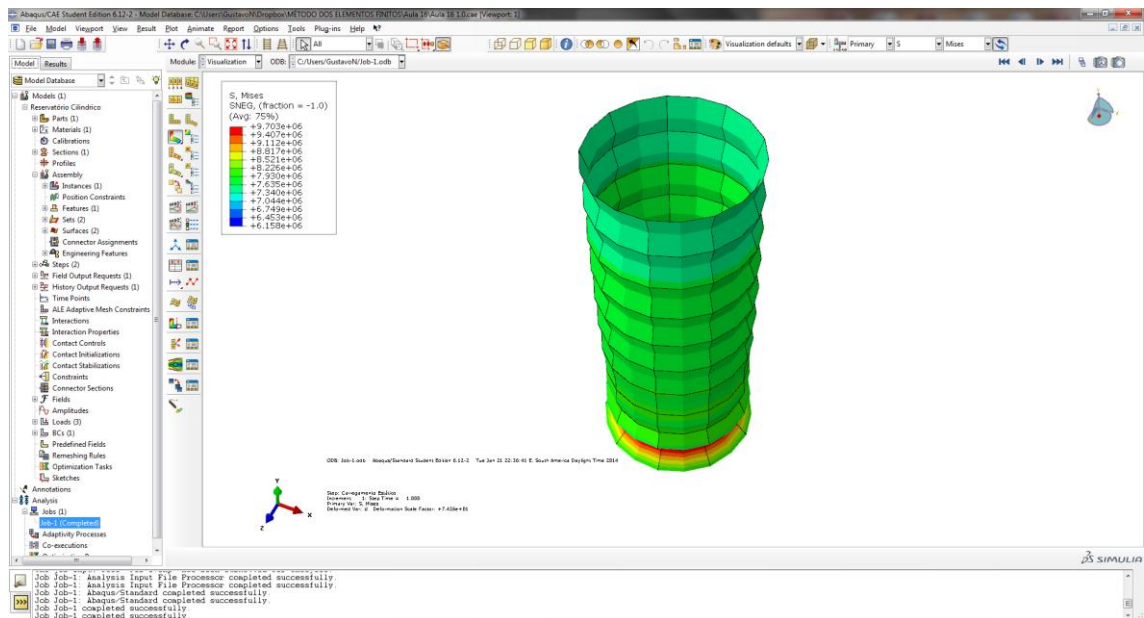
## 2.3. PROCESSAMENTO

- ✓ No menu model à esquerda, dê duplo clique em Jobs e clique em OK. Abra Jobs (1), clique com o botão direito em Job-1 e clique em Submit. Na janela que se abre clique em OK. Aguarde.



## 2.4. PÓS-PROCESSAMENTO

- ✓ No menu **model** à esquerda, em **Jobs**, **clique** com o botão direito em **Job-1** e **clique** em **Results**. Na caixa de ferramentas, **clique** em **Plot Contours on Deformed Shape**.
- ✓ Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione** **U>Magnitude**. 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**).