



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA  
MECÂNICA COMPUTACIONAL

**TUTORIAL DO SAP 2000 Versão: 10.0.1  
(Vigas com Aberturas)**



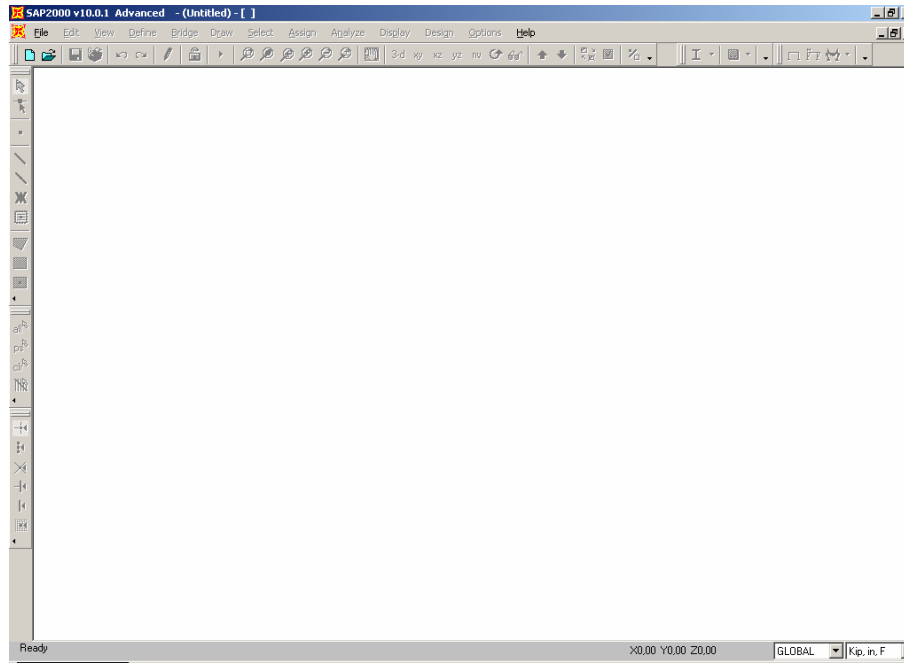
Prof. Arlindo Pires Lopes, M.Sc.  
alopes@uea.edu.br

Manaus-AM: 03 de agosto de 2006.



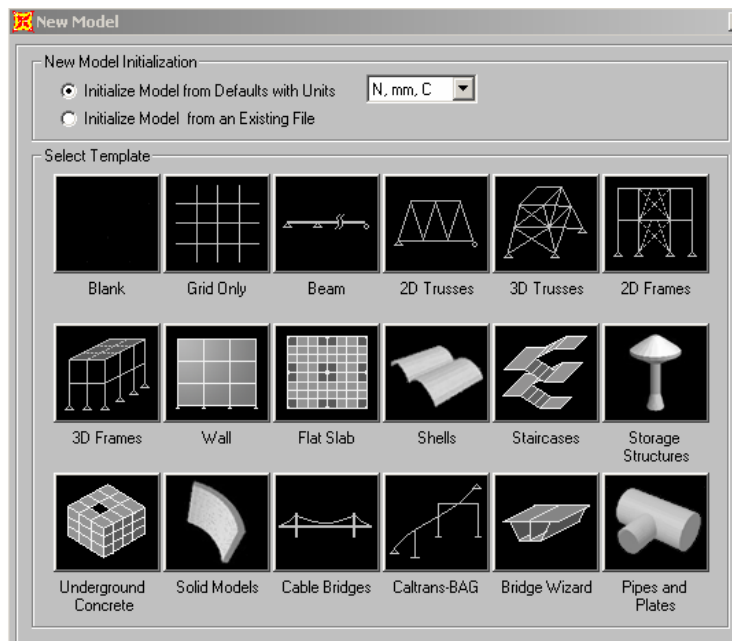
## 1ª Etapa: MODELO GEOMÉTRICO DA ESTRUTURA

O SAP 2000 inicia com a seguinte tela:



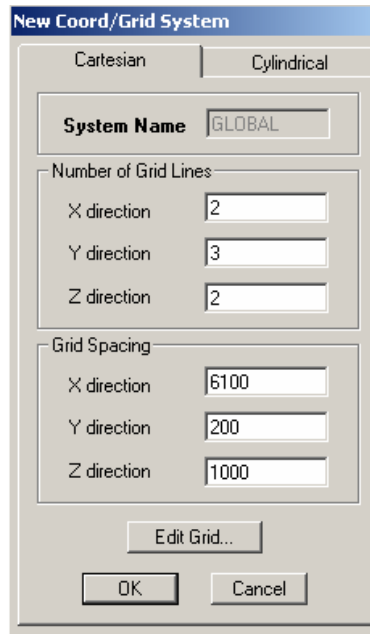
No canto inferior direito, selecione as unidades a serem utilizadas na análise (**N, mm, C**).

Clique no Menu **FILE** → **NEW MODEL** para visualizar:

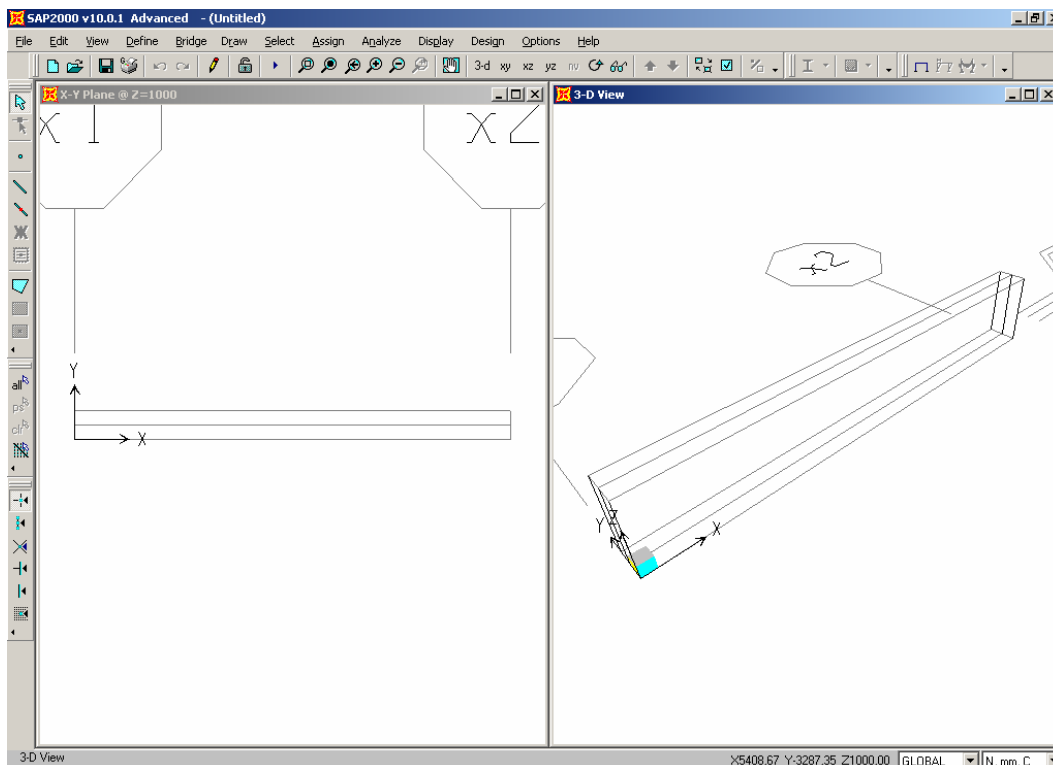




Clique em **GRID ONLY** para visualizar a caixa com a entrada de dados da estrutura. Defina o número de linhas do **GRID** (Number of Grid Lines) e o seu espaçamento nas três direções (Grid Spacing), conforme abaixo.



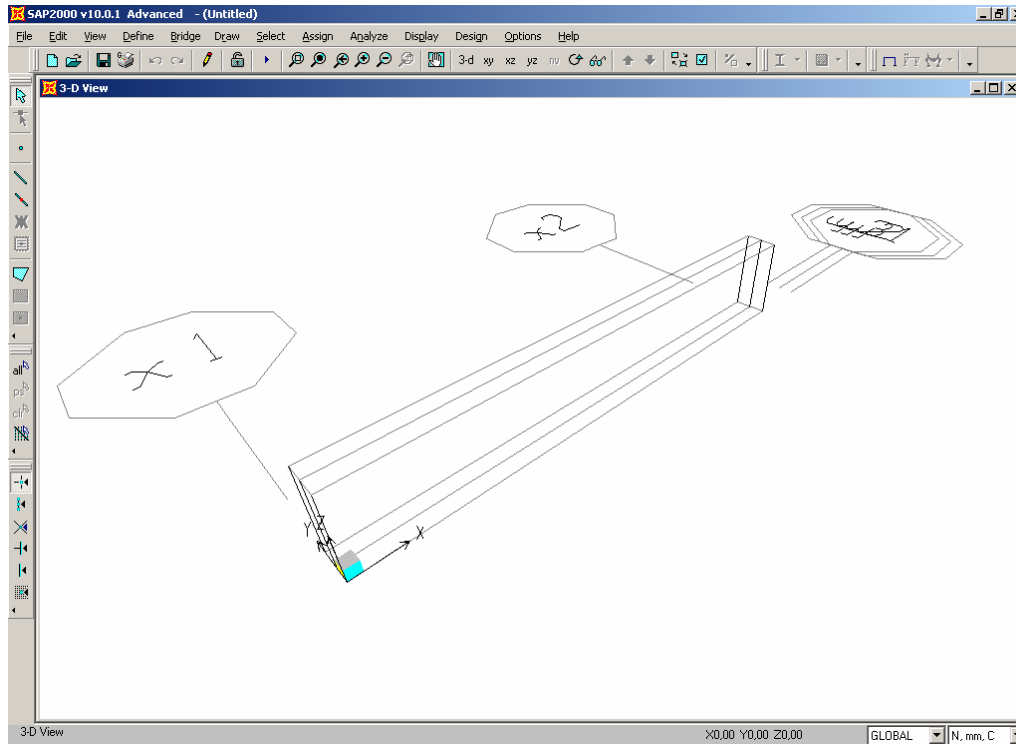
Clique em **OK** e um esboço básico do modelo aparecerá na tela, conforme abaixo.





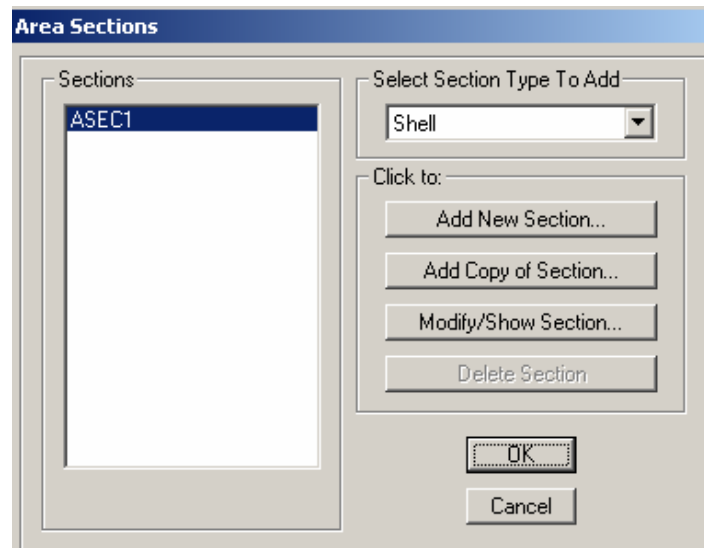
Feche a janela do **X-Y PLANE** e trabalhe apenas no **3D VIEW**.

Clique no Menu **VIEW** → **ZOOM OUT ONE STEP** até atingir a seguinte configuração:



2ª e 3ª Etapas: **MATERIAIS E PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS**

Clique no Menu **DEFINE** → **AREA SECTIONS** para aparecer a seguinte janela:





Clique em **ADD NEW SECTION** para aparecer a seguinte janela:

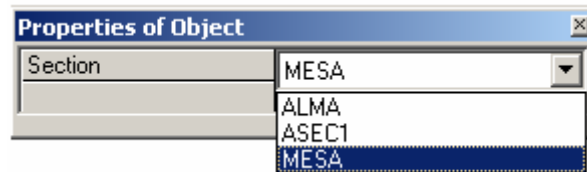
The image shows a dialog box titled "Shell Section Data". It contains several sections: "Section Name" with a text box containing "ASEC2" and a "Display Color" button with a blue square; "Type" with radio buttons for "Shell - Thin" (selected), "Shell - Thick", "Plate - Thin", "Plate - Thick", "Membrane", and "Shell - Layered/Nonlinear", plus a "Modify/Show Layer Definition..." button; "Material" with a "Material Name" dropdown set to "CONC" and a "Material Angle" text box with "0."; "Thickness" with "Membrane" and "Bending" text boxes, both containing "1."; "Concrete Shell Section Design Parameters" with a "Modify/Show Shell Design Parameters..." button; "Stiffness Modifiers" with a "Set Modifiers..." button; and "Temp Dependent Properties" with a "Thermal Properties..." button. At the bottom are "OK" and "Cancel" buttons.

No **SECTION NAME** digite “ALMA”, selecione o material **STEEL** (Aço) e defina o **THICKNESS** (espessura) igual a **20 mm** tanto para **MEMBRANE** (membrana) quanto para **BENDING** (flexão) e clique em **OK**.

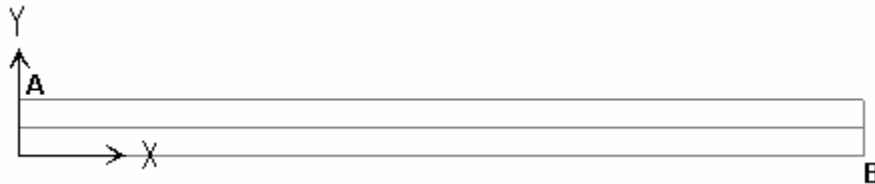
Clique novamente em **ADD NEW SECTION** e no **SECTION NAME** digite “MESA”, selecione o material **STEEL** (Aço) e defina o **THICKNESS** (espessura) igual a **20 mm** tanto para **MEMBRANE** (membrana) quanto para **BENDING** (flexão) e clique em **OK** → **OK**.

Clique no Menu **OPTIONS** → **WINDOWS** → **TWO TILED VERTICALLY**. Observe que o **X-Y PLANE @ Z=1000** estará ativo. Trabalhe no **X-Y PLANE**.

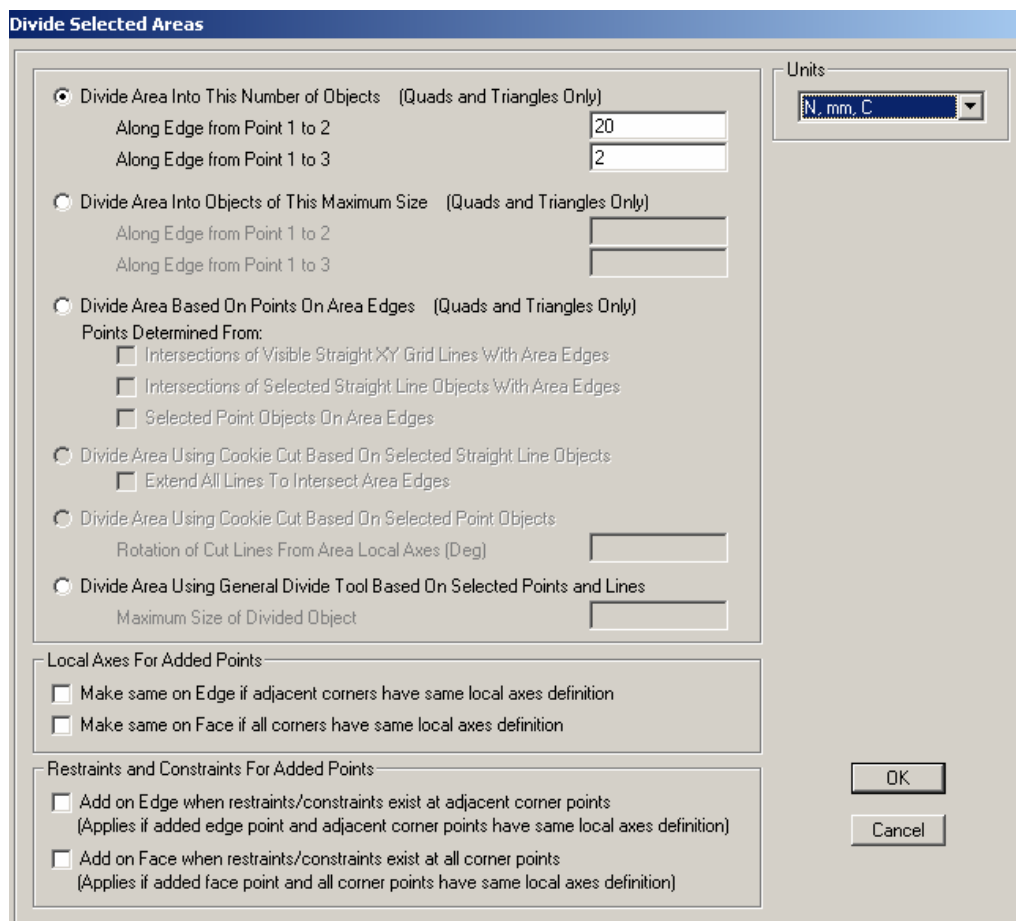
Clique no Menu **DRAW** → **DRAW RECTANGULAR AREA** → selecione a opção **MESA**, conforme abaixo:



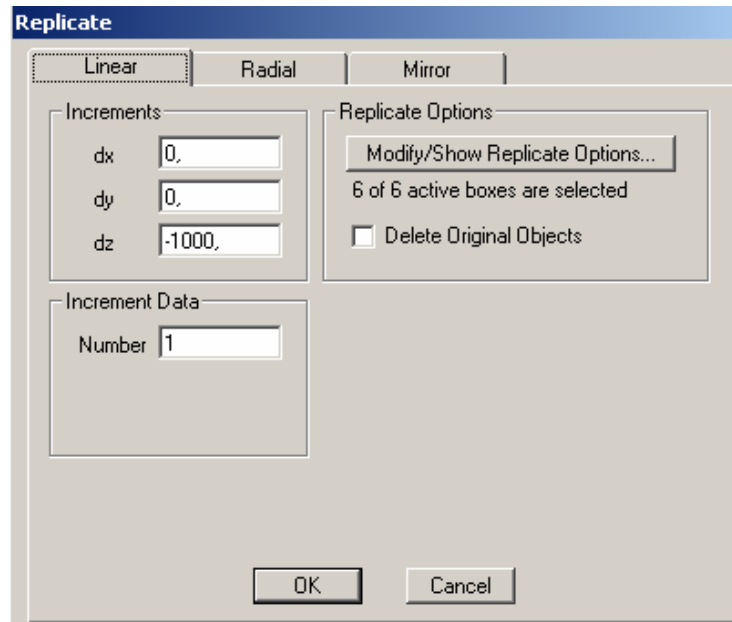
Considerando a figura abaixo e trabalhando no **X-Y PLANE**, clique nos pontos “A” e “B” para desenhar o elemento retangular. Clique na tecla **ESC**.



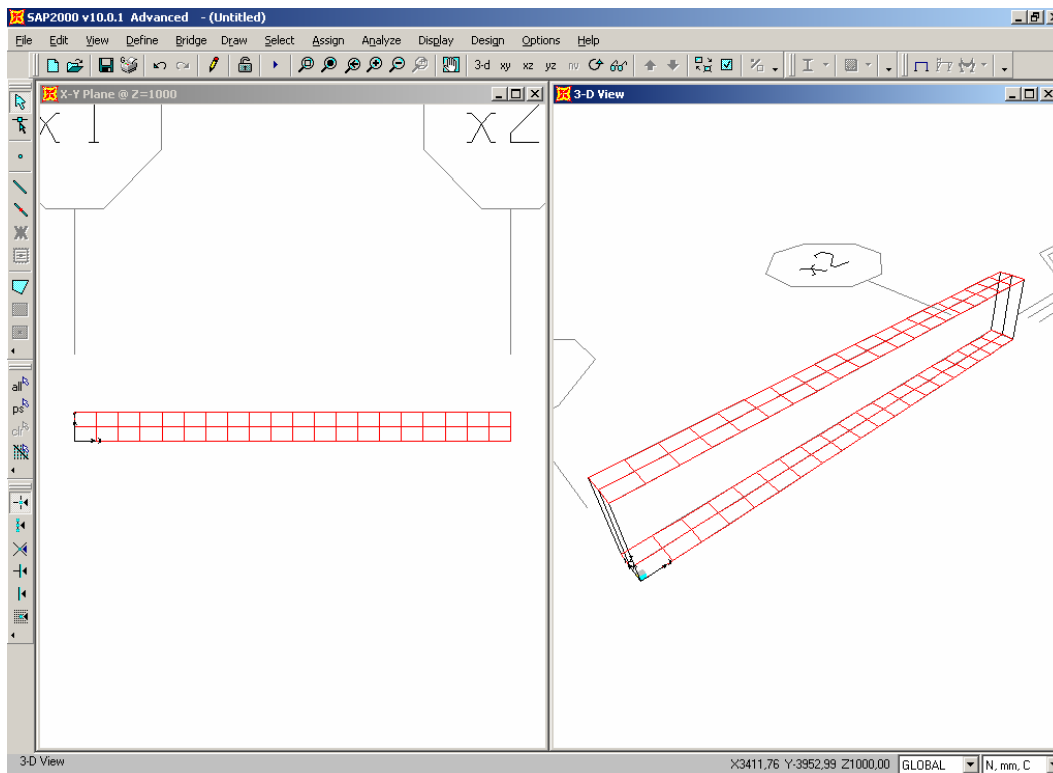
Selecione o elemento retangular criado dando um clique sobre o mesmo. Clique no Menu **EDIT** → **DIVIDE AREAS** para aparecer a seguinte janela. Preencha os campos conforme abaixo e clique em **OK**.



Selecione todos os objetos (**CTRL+A**) e clique no Menu **EDIT** → **REPLICATE** para aparecer a seguinte janela:



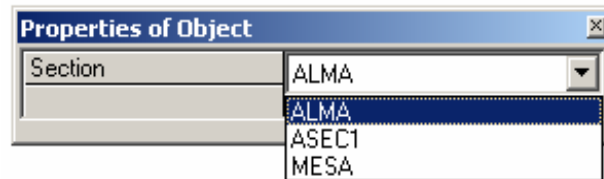
No incremento dz digite **-1000** e clique em **OK** para aparecer a seguinte tela. Observe que foram criados elementos finitos tanto na mesa superior quanto na mesa inferior.



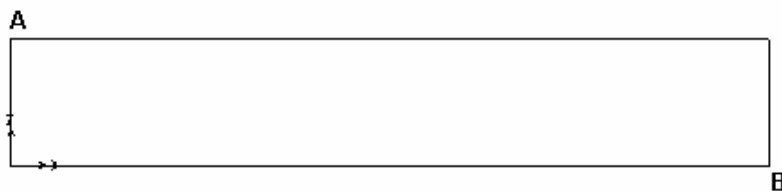
Clique no Menu **VIEW** → **SET 2D VIEW** → **X-Z PLANE** → digite **Y=200** → **OK**.



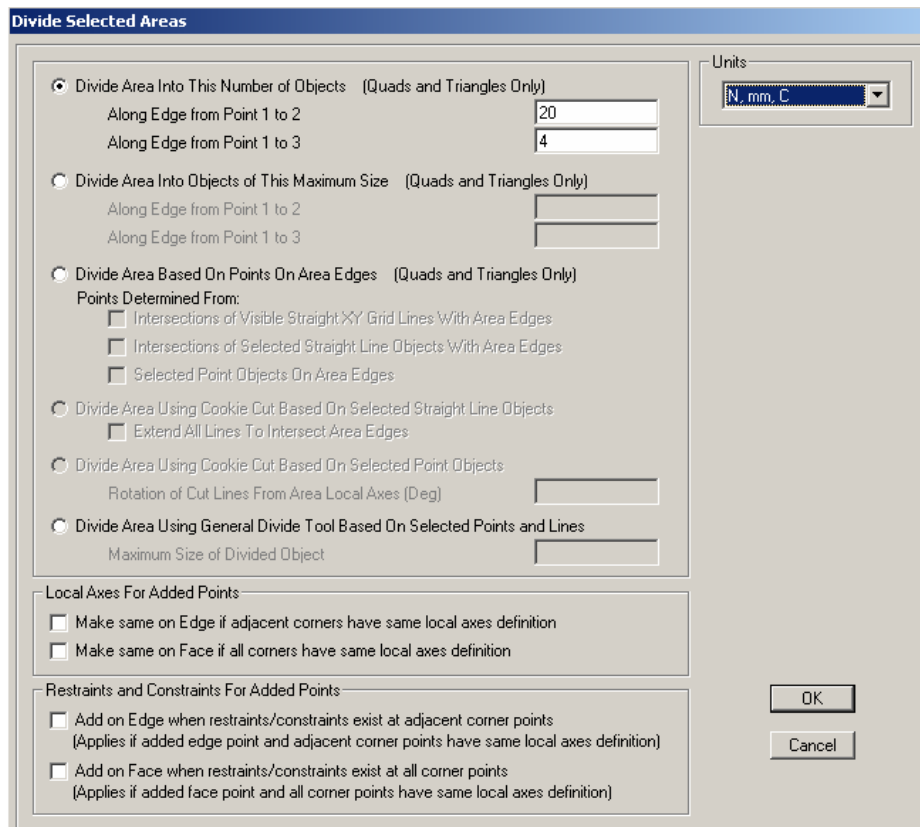
Clique no Menu **DRAW** → **DRAW RECTANGULAR AREA** → selecione a opção **ALMA**, conforme abaixo:



Considerando a figura abaixo e trabalhando no **X-Z PLANE**, clique nos pontos “**A**” e “**B**” para desenhar o elemento retangular. Clique na tecla **ESC**.

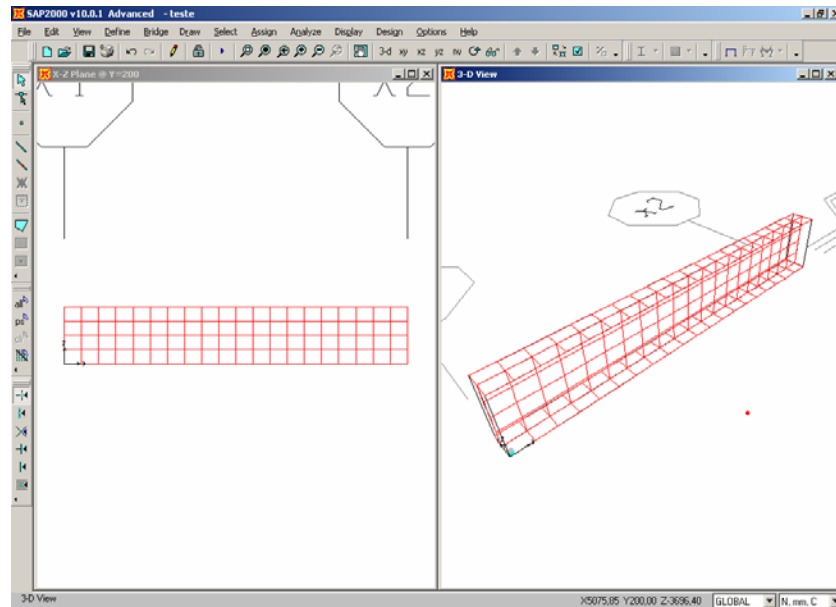


Selecione o elemento retangular criado dando um clique sobre o mesmo. Clique no Menu **EDIT** → **DIVIDE AREAS** para aparecer a seguinte janela. Preencha os campos conforme abaixo e clique em **OK**.



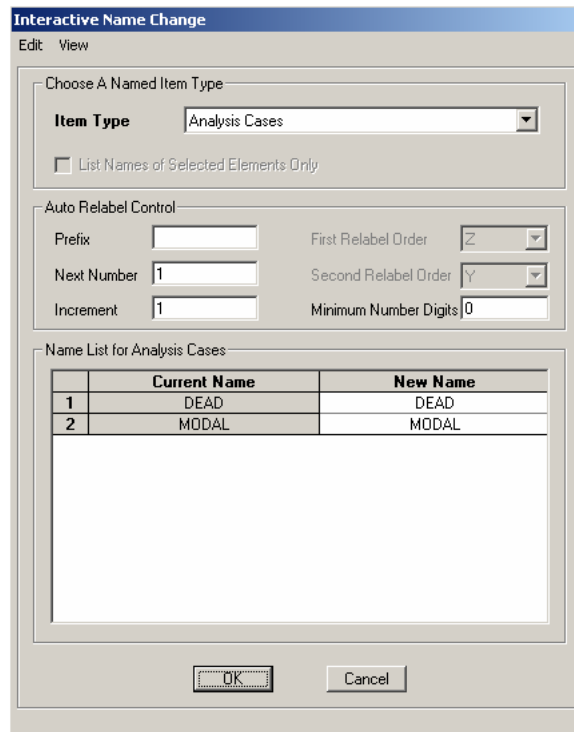
Observe que agora foram criados elementos finitos na alma da viga, conforme a seguir:



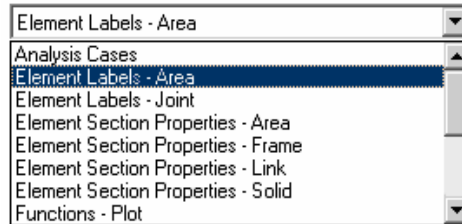


Clique na janela do **3D VIEW** para ativá-la.

Clique no Menu **EDIT** → **CHANGE LABELS** para aparecer a seguinte janela:

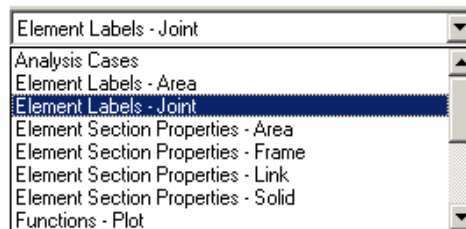


Na janela do **INTERACTIVE NAME CHANGE**, no **ITEM TYPE** selecione **ELEMENT LABELS - AREA**, conforme a seguir:



Ainda na janela do **INTERACTIVE NAME CHANGE**, clique no Menu **EDIT** → **AUTO RELABLE** → **ALL IN LIST**.

Na janela do **INTERACTIVE NAME CHANGE**, no **ITEM TYPE** selecione **ELEMENT LABELS - JOINT**, conforme abaixo:



Novamente na janela do **INTERACTIVE NAME CHANGE**, clique no Menu **EDIT** → **AUTO RELABLE** → **ALL IN LIST**. Clique em **OK**.

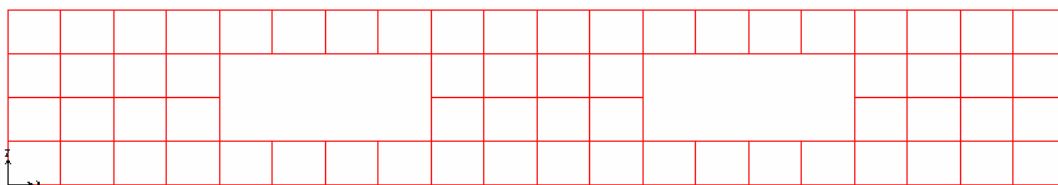
OBS: Este procedimento fará com que os nós e os elementos sejam re-numerados.

Clique no Menu **VIEW** → **SET DISPLAY OPTIONS** → **GENERAL** → selecione a opção **FILL OBJECTS**. Clique em **OK**.

Clique na janela do **X-Z PLANE @ Y=200** para ativá-la.

Clique no Menu **VIEW** → **SET DISPLAY OPTIONS** → **AREAS** → selecione a opção **LABELS** → **GENERAL** → selecione a opção **FILL OBJECTS**. Clique em **OK**.

Selecione os elementos **65, 66, 67, 68, 85, 86, 87** e **88**. Clique na tecla **DELETE**. Selecione os elementos **73, 74, 75, 76, 93, 94, 95** e **96**. Clique na tecla **DELETE**. Este procedimento fará com que sejam incluídas as aberturas na alma da viga, conforme abaixo:

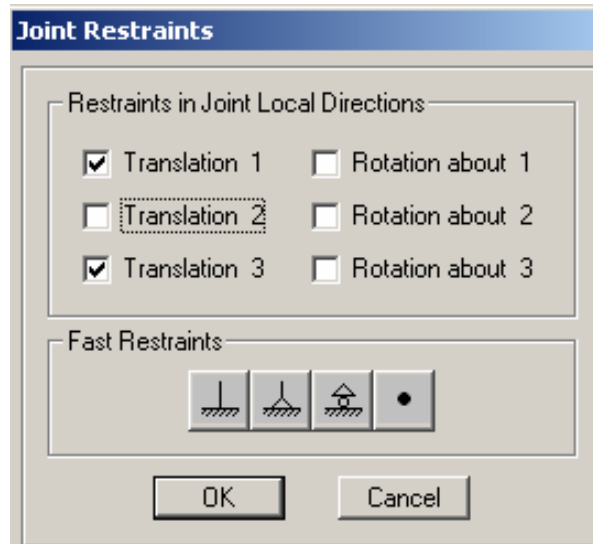


Clique no Menu **VIEW** → **SET DISPLAY OPTIONS** → **JOINTS** → marque a opção **LABELS** → desmarque a opção **LABELS** no item **AREAS**. Clique em **OK**.



Selecione o nó **22** (canto inferior esquerdo).

Clique no Menu **ASSIGN** → **JOINT** → **RESTRAINTS** para aparecer a janela com a configuração dos apoios. Selecione as translações e rotações de acordo com a figura abaixo e clique em **OK**.



Selecione o nó **42** (canto inferior direito).

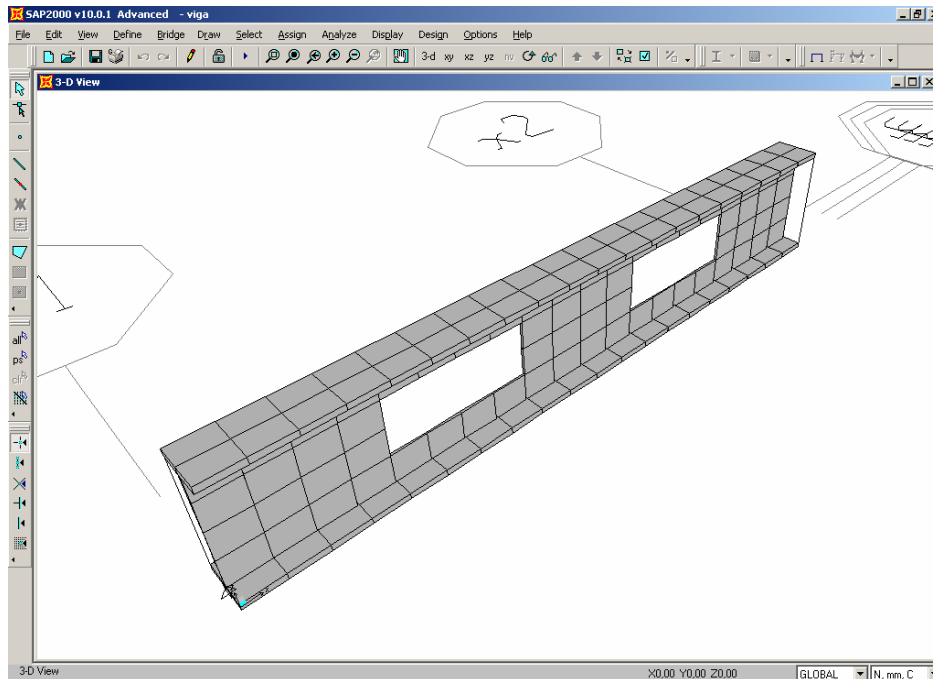
Clique no Menu **ASSIGN** → **JOINT** → **RESTRAINTS** para aparecer a janela com a configuração dos apoios. Selecione as translações e rotações de acordo com a figura abaixo e clique em **OK**.





#### 4ª Etapa: VISUALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Clique no Menu **VIEW** → **SET DISPLAY OPTIONS** → **GENERAL** → **EXTRUDE VIEW** → **OK**, para visualizar os elementos com suas seções transversais preenchidas.



Utilize as ferramentas do Menu **VIEW** para visualizar os elementos nas suas mais diversas formas ou os ícones da barra de ferramentas abaixo.



Clique no Menu **VIEW** → **SET DISPLAY OPTIONS** → **GENERAL** → desmarque a opção **EXTRUDE VIEW** → **OK**.

#### 5ª Etapa: CARREGAMENTO

Para a retirada do peso próprio da estrutura, procede-se da seguinte forma:

Tecla **CTRL+A** (para selecionar todos os nós e elementos), clique no Menu **DEFINE** → **LOAD CASES** → **SELF WEIGHT MULTIPLIER** → **DIGITE 0 (zero)** → **MODIFY LOAD** → **OK**. Tecla **ESC**.

Selecione os nós **148 a 168** (21 nós situados na parte superior da alma), clique no Menu **ASSIGN** → **JOINT LOADS** → **FORCES** para aparecer a seguinte janela. Digite **-100** no **FORCE GLOBAL Z**, conforme a seguir, e clique em **OK**.



**Joint Forces**

Load Case Name: DEAD Units: N, mm, C

Loads:

- Force Global X: 0.
- Force Global Y: 0.
- Force Global Z: -100
- Moment about Global X: 0.
- Moment about Global Y: 0.
- Moment about Global Z: 0.

Coordinate System: GLOBAL

Options:

- Add to Existing Loads
- Replace Existing Loads
- Delete Existing Loads

OK Cancel

## 6ª Etapa: ANÁLISE DA ESTRUTURA

A partir desse momento a estrutura está pronta para ser analisada. Para tanto é necessário salvar o arquivo. Clique no Menu **FILE** → **SAVE** → **NOMEIE O ARQUIVO** → **SALVAR**. Recomenda-se que o procedimento de salvar o arquivo seja feito o quanto antes, para evitar perda de dados na modelagem da estrutura.

Clique no Menu **DEFINE** → **ANALYSIS CASES** → **MODAL** → **MODIFY/SHOW CASE**, para aparecer a seguinte tela:

**Analysis Case Data - Modal**

Analysis Case Name: MODAL1 Set Def Name Analysis Case Type: Modal

Stiffness to Use:

- Zero Initial Conditions - Unstressed State
- Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes:

- Eigen Vectors
- Ritz Vectors

Number of Modes:

- Maximum Number of Modes: 4
- Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied:

- Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

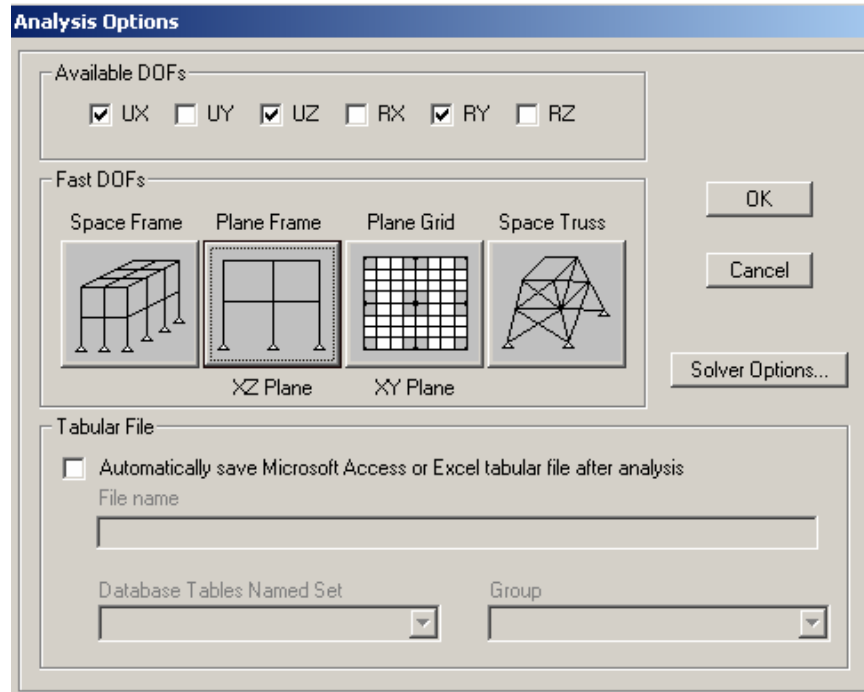
- Frequency Shift (Center): 0.
- Cutoff Frequency (Radius): 0.
- Convergence Tolerance: 1,000E-09
- Allow Automatic Frequency Shifting

OK Cancel

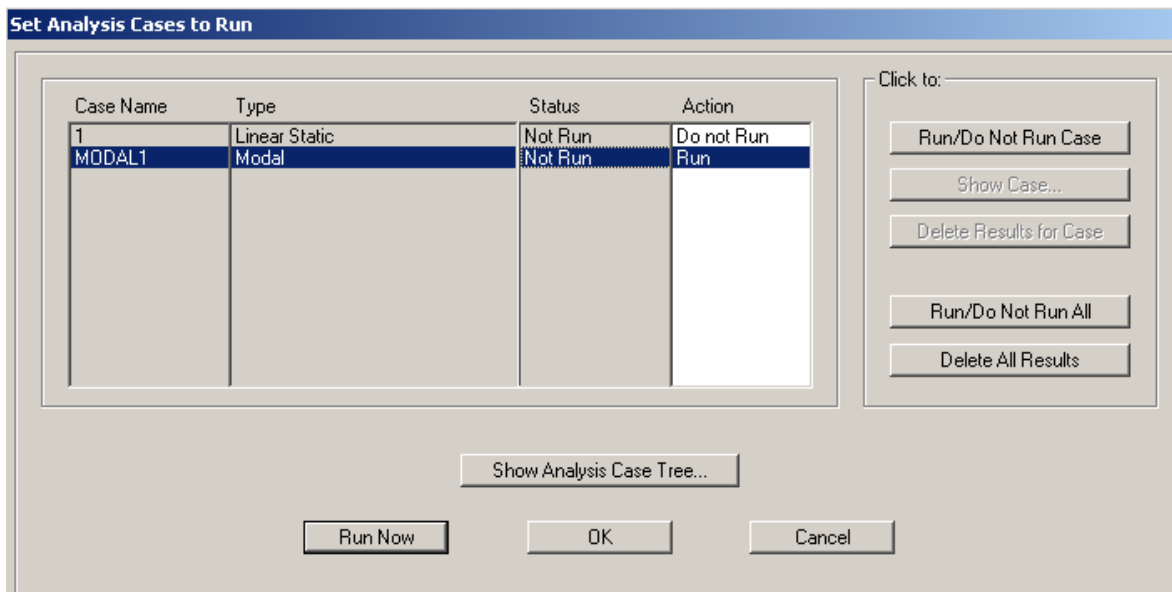


Na opção **NUMBER OF MODES**, defina o número máximo de modos de vibração como sendo igual a **4**. Clique em **OK** → **OK**.

Clique no Menu **ANALYZE** → **SET ANALYSIS OPTIONS** → **XZ PLANE** → **OK**.



Clique no Menu **ANALYZE** → **RUN ANALYSIS** → **TYPE: LINEAR STATIC (DO NOT RUN)** → **TYPE: MODAL (RUN)** → **RUN NOW**.





Agora o programa executará a análise de vibrações livres da estrutura, calculando períodos naturais e seus respectivos modos de vibração, e após alguns segundos (dependendo da máquina) aparecerá a seguinte mensagem:




Clique em **OK** para acessar os resultados (períodos e modos de vibração) da estrutura.

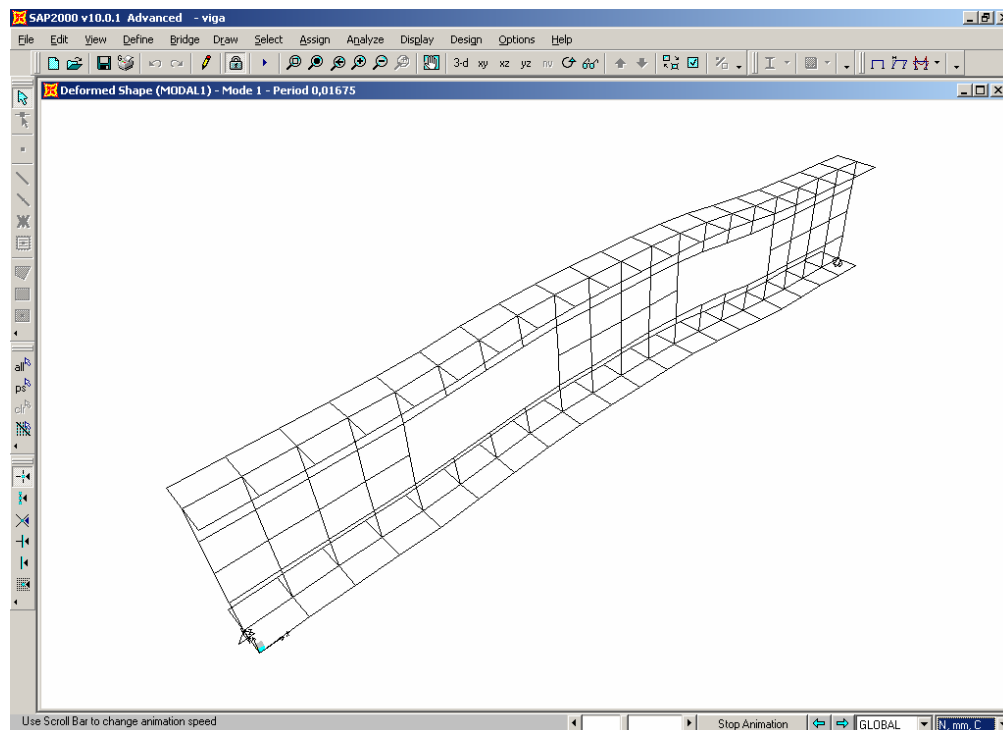
### 7ª Etapa: **RESULTADOS**

No canto inferior direito clique em **START ANIMATION**. Observe que a estrutura entrará em movimento de acordo com 1º modo de vibração.

Para parar clique em **STOP ANIMATION**.

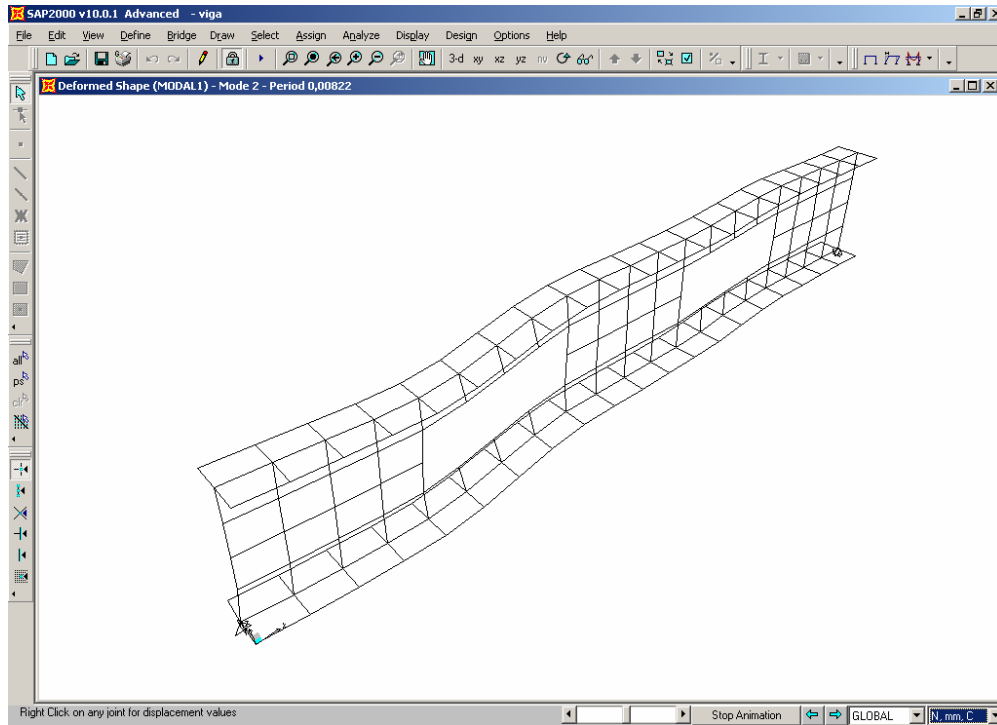
Observe que no canto superior esquerdo aparece o valor do período para o 1º modo de vibração. Para visualizar os demais modos de vibração, clique em , situado no canto inferior direito.

### 1º Modo de Vibração:

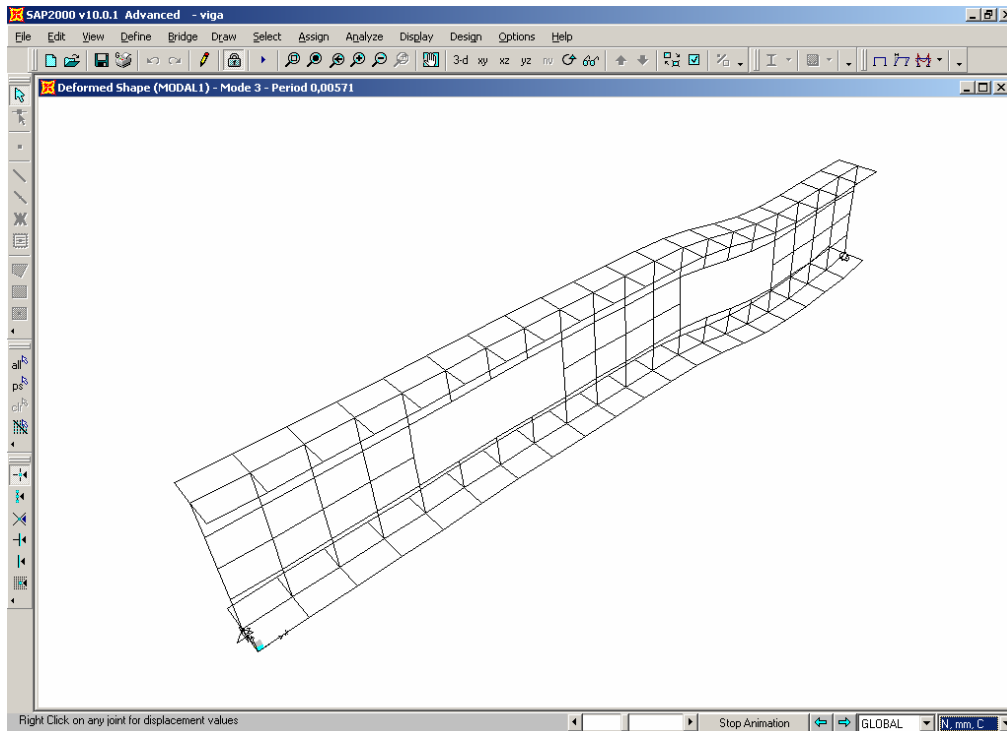




## 2º Modo de Vibração:



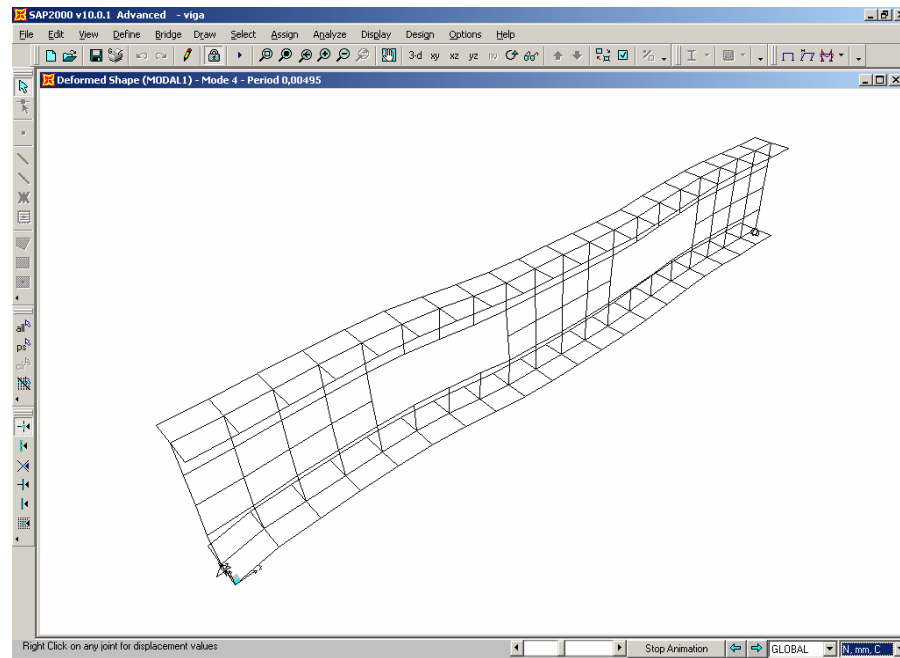
## 3º Modo de Vibração:





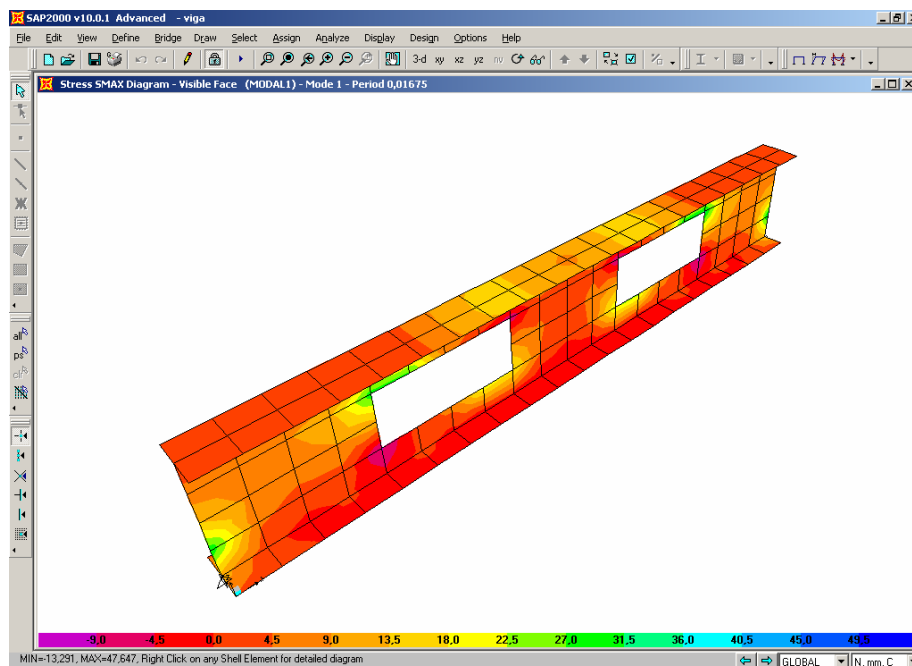


## 4º Modo de Vibração:

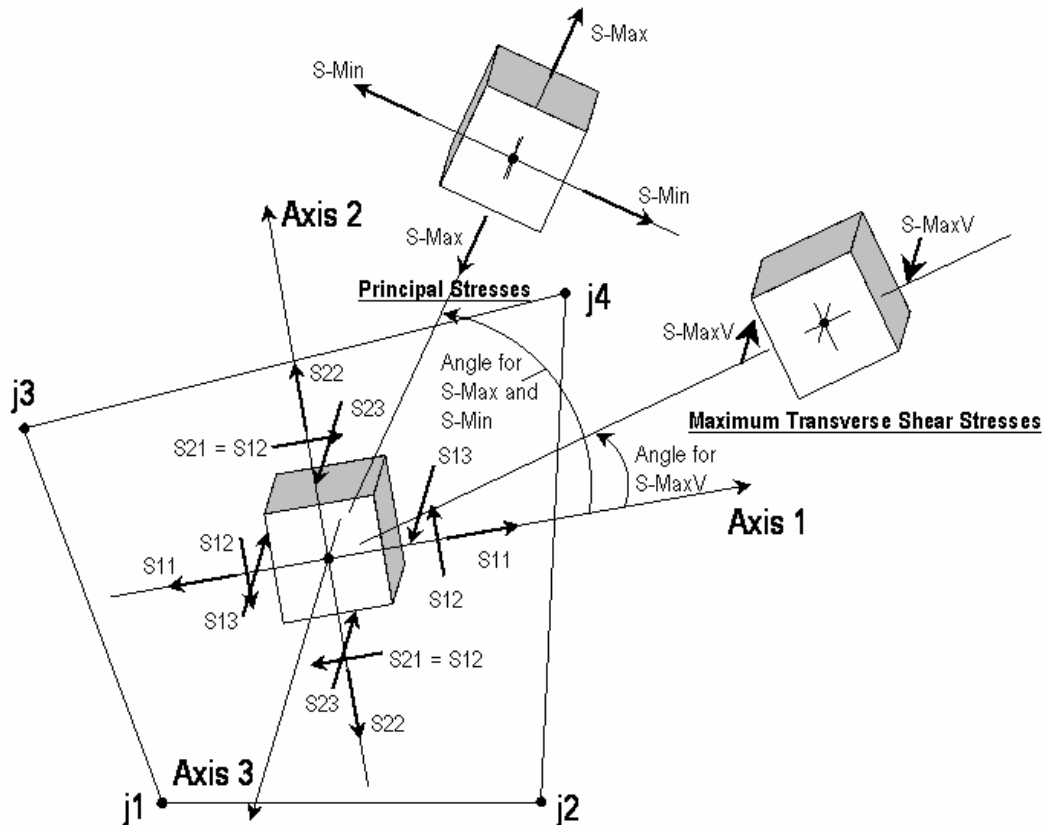


Para a visualização das tensões, procede-se da seguinte forma:

Clique no Menu **DISPLAY** → **SHOW FORCES/STRESSES** → **SHELLS** → **COMPONENT (S11, S22, S12, S<sub>MAX</sub>, S<sub>MIN</sub>, SVM, S13, S23, S<sub>MAXV</sub>** → **OK**.



Lembrar que para cada modo de vibração têm-se tensões diferentes. Ou seja, deve ser feita uma análise de todas as tensões envolvidas para cada modo de vibração e verificar suas envoltórias. No SAP 2000 as componentes das tensões no elemento **SHELL** são definidas conforme abaixo:



Clique no Menu **FILE** → **PRINT TABLES** → **ANALYSIS RESULTS** → **OUTPUT TYPE: TXT FILE** → **OPTIONS: PRINT TO FILE (apenas)** → **OK**, para gravar o arquivo.

### 8ª Etapa: ALTERANDO A ESTRUTURA

Para alterar qualquer parâmetro na estrutura, o modelo original deverá ser destravado da barra de ferramentas (**clique no cadeado** → **OK**). Isto fará com que todos os resultados da análise sejam apagados. Faça quaisquer mudanças que sejam necessárias e execute o modelo novamente.

