



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Civil
DES - Departamento de Estruturas
EC-802 - Concreto Armado II

Apostila para utilização passo a passo do SAP 2000, versão 8.3.5, para projetos de edifícios de Concreto Armado

Autores : Adriana Botelho Dieguez
Flávio de Oliveira Costa

Colaboração : Victoria Bradfield Quintiliano Basso

Campinas, dezembro de 2004.

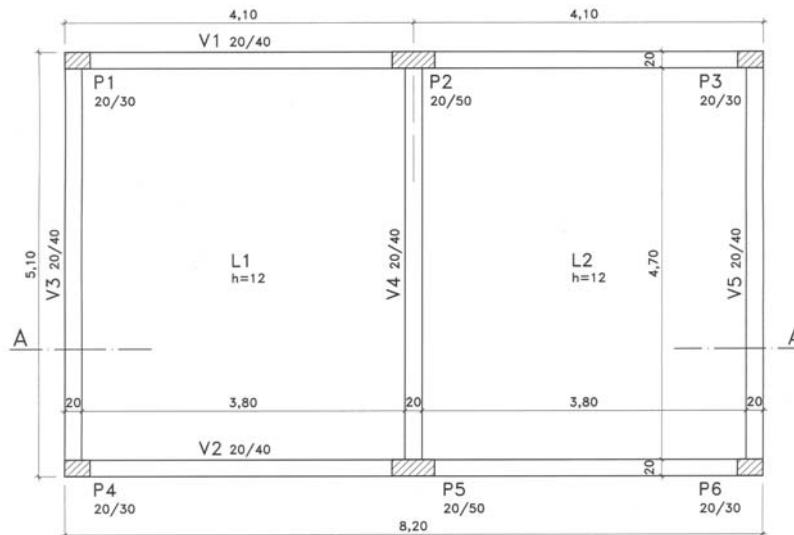
INTRODUÇÃO

Esta apostila tem por finalidade auxiliar no aprendizado do programa SAP2000 (versão 8) voltado para o cálculo tridimensional de estruturas de concreto armado.

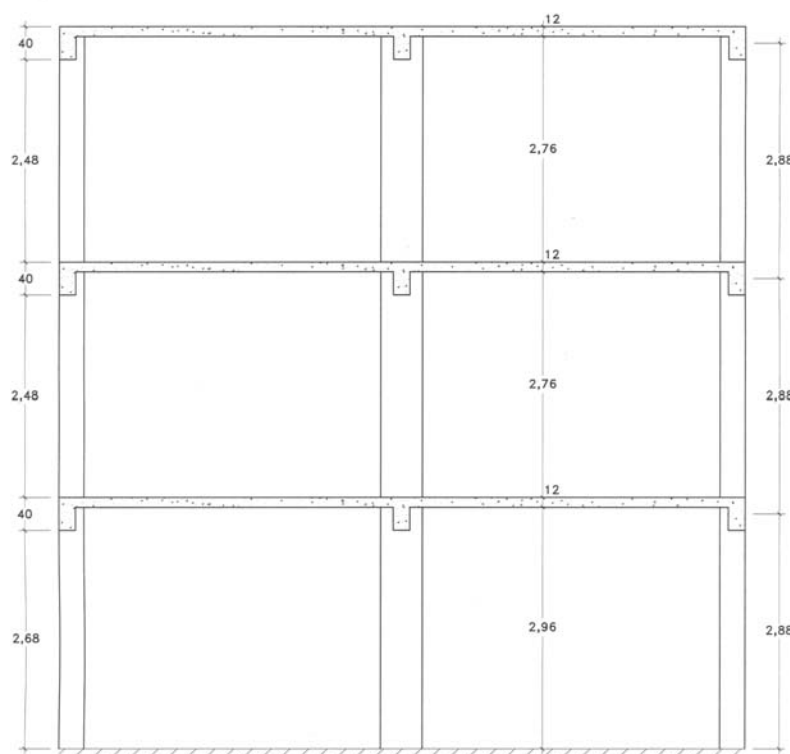
Será apresentado o exemplo de um edifício, de concreto armado, com três pavimentos (térreo + dois pavimentos tipo), composto por lajes, vigas e pilares. As plantas dos pavimentos são todas iguais, para facilitar a elaboração do modelo. O térreo possui 2,88 m de distância entre os eixos das vigas do 1º pavimento e a base do pilar, pois não há fundações definidas; porém as estruturas possuem essa distância maior, devido à posição das vigas de fundação.

Como o exemplo é somente para ilustrar a utilização de um programa de cálculo estrutural, não há uma preocupação com as fundações (no térreo há apenas os pilares e não há as fôrmas das mesmas) ou com as cargas aplicadas (retiradas do Projeto Modelo da disciplina EC 802).

Utilizou-se para desenhar a estrutura o Autocad 2002; outras versões podem ser usadas.



Fôrmas dos pavimentos tipo (2x)
e da cobertura



Corte A

ÍNDICE

I - No Autocad	3
1- Criação de layer	3
2- Desenho das fôrmas	3
3- Desenho tridimensional de todos os elementos estruturais	4
II - No SAP	10
1- Importar os elementos do Autocad	10
2- Comandos do SAP : Barra de ferramentas	17
3- Definindo os materiais e as seções dos elementos	25
4- Fornecendo as seções aos elementos	29
5- Criar as “Lajes de seda”	38
6- Restrições dos nós	44
7- Cargas aplicadas nas vigas	45
8- Divisão das barras	50
9- Elementos rígidos	51
10- Cargas aplicadas nas vigas	55
11- Cargas aplicadas nas <i>shells</i>	56
12- Análise do modelo	70
13- Combinações	72
14- Diagramas e reações	75

I- No Autocad

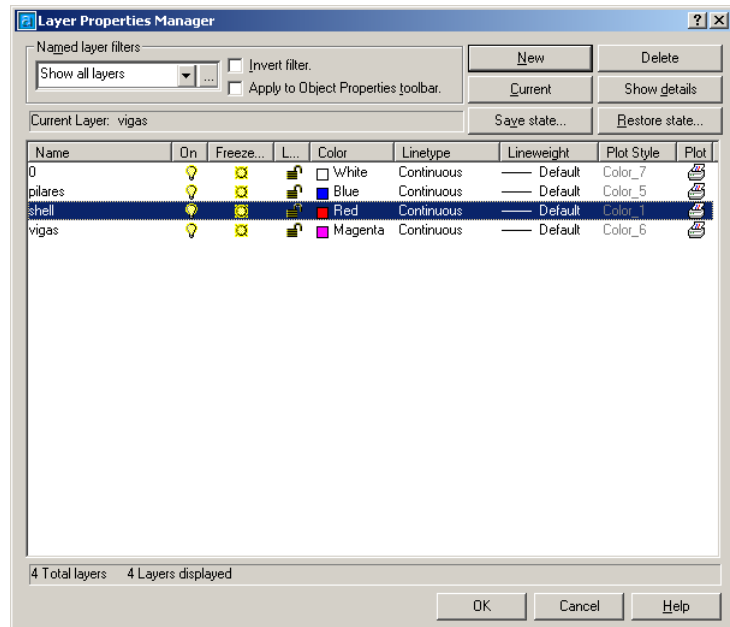
A estrutura pode ser criada diretamente no SAP2000 - versão 8, mas é mais fácil desenhá-la no Autocad e depois exportá-la para o SAP. A seguir temos um “passo a passo” desde o desenho no Autocad até a importação no SAP.

1- Criar um *layer* para cada elemento da estrutura: Format → Layer → New

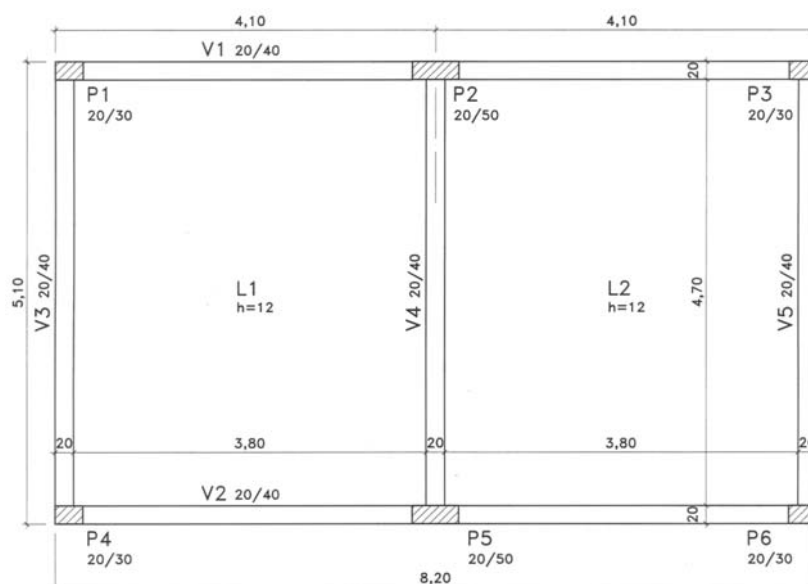
vigas → magenta

pilares → azul

lajes (shell) → vermelho



2- Desenho das fôrmas dos 2 pavimentos tipo e da cobertura

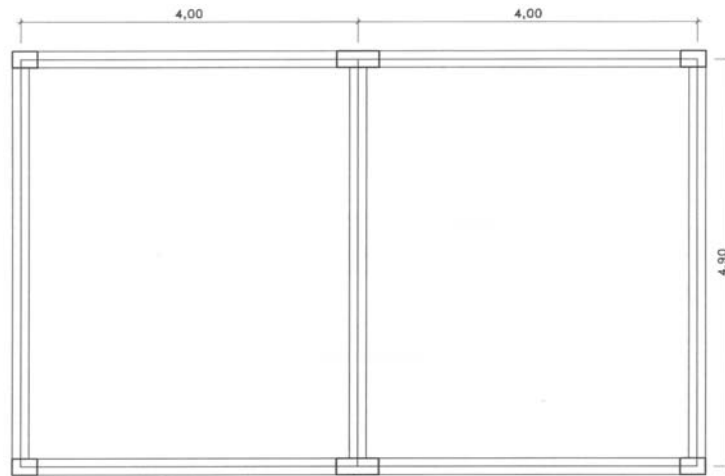


Obs : Para simplificar, as fôrmas da cobertura são iguais as dos pavimentos tipo.

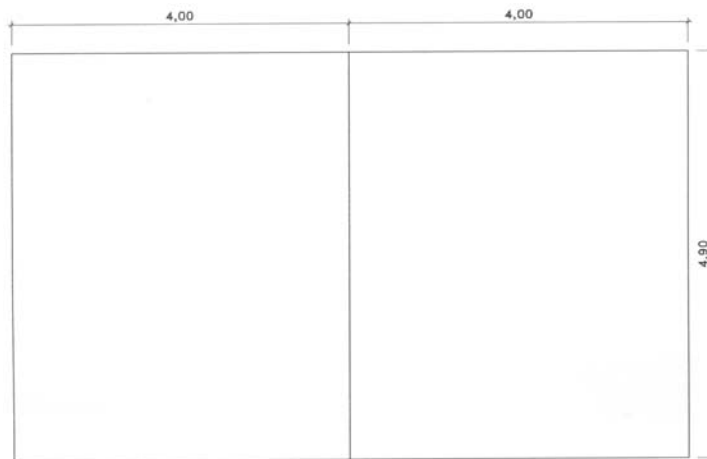
3- Desenho tridimensional de todos os elementos estruturais

3.1- Desenho dos eixos das vigas na fôrma

a) desenho dos eixos das vigas na fôrma

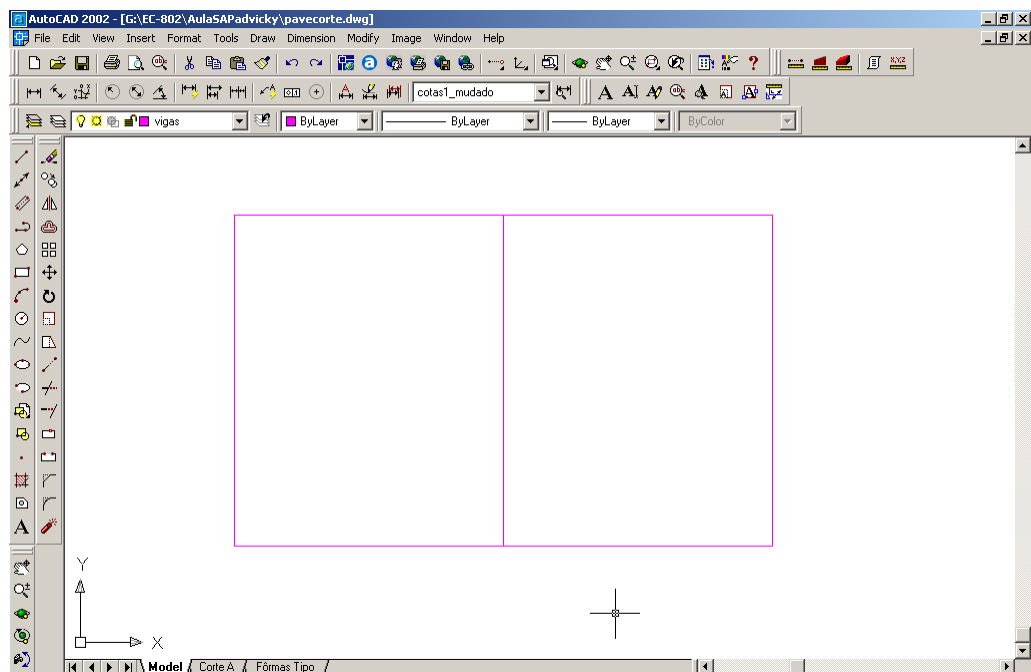


b) desenho dos eixos das vigas e suas dimensões

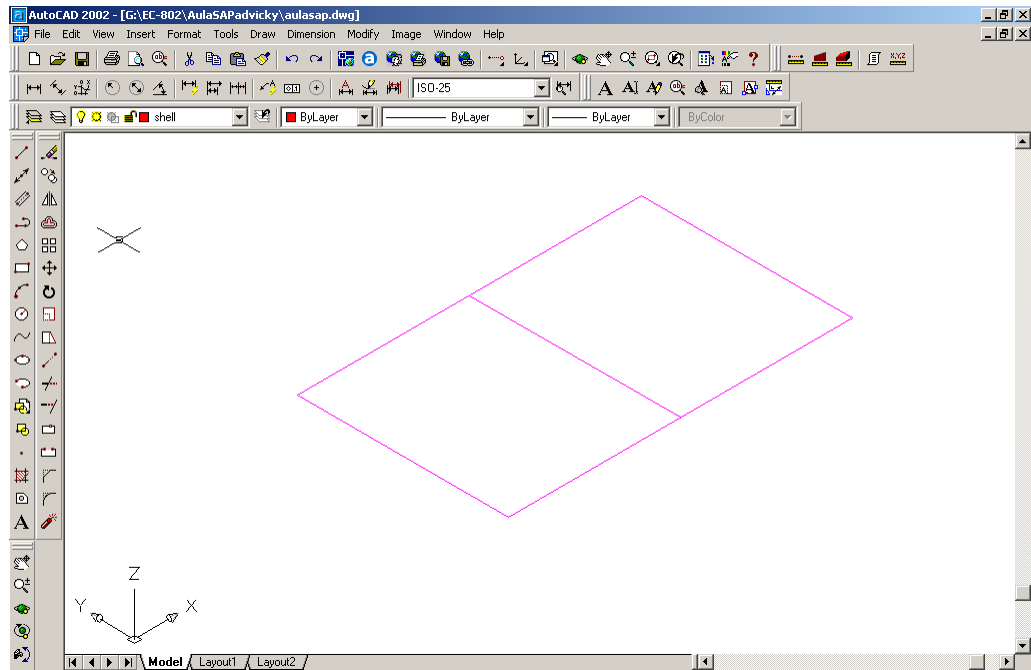


Obs: A partir deste item, os eixos das vigas serão denominados apenas vigas, para simplificar.

c) desenhar no Autocad somente as vigas, sem as cotas



d) mostrar o desenho das vigas em 3 dimensões



e) desenhar as vigas dos outros dois pavimentos, também em 3 dimensões, posicionadas em seus respectivos níveis (ver o corte, em Introdução).

Modify → 3D Operation → 3D Array → selecionar todas as vigas

Na barra de comandos :

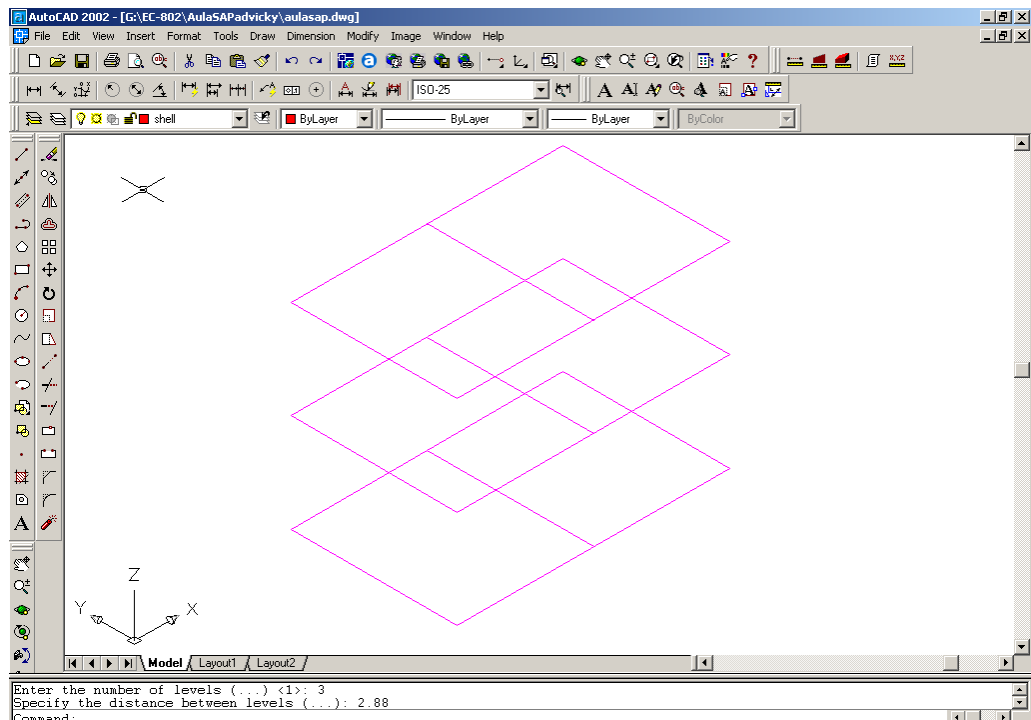
Enter the type of array → ENTER

Enter the number of rows → ENTER

Enter the number of columns → ENTER

Enter the number of levels → digite 3, ENTER

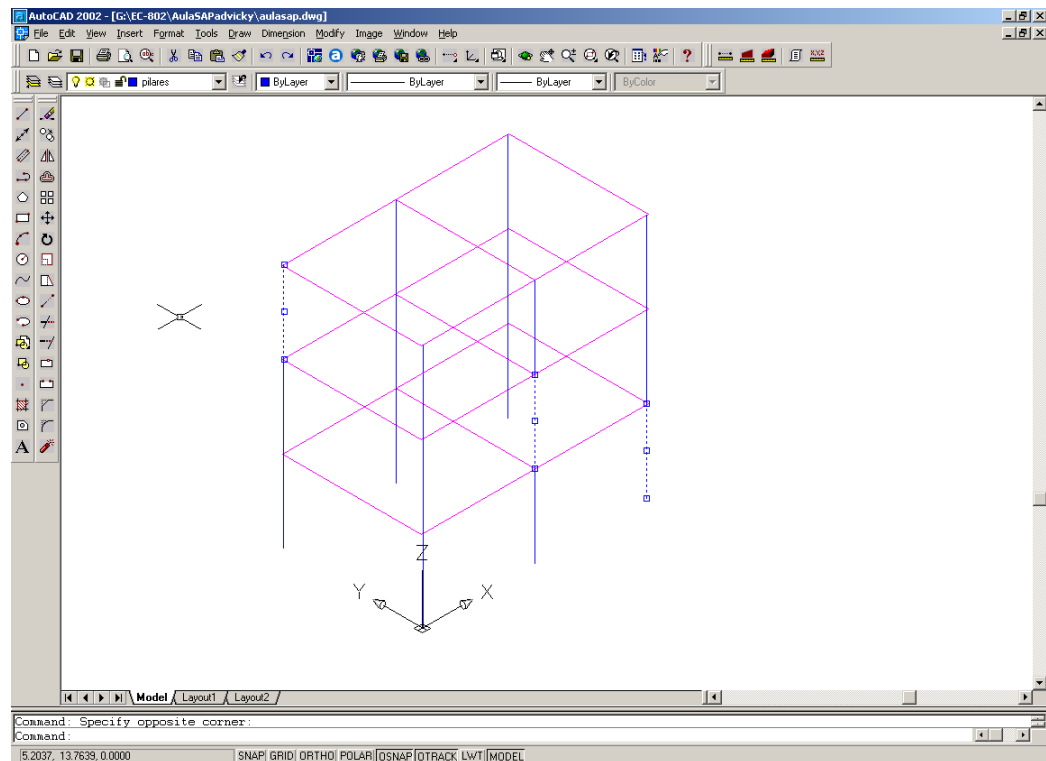
Specify the distance between levels → digite a distância, no ex. 2.88, ENTER



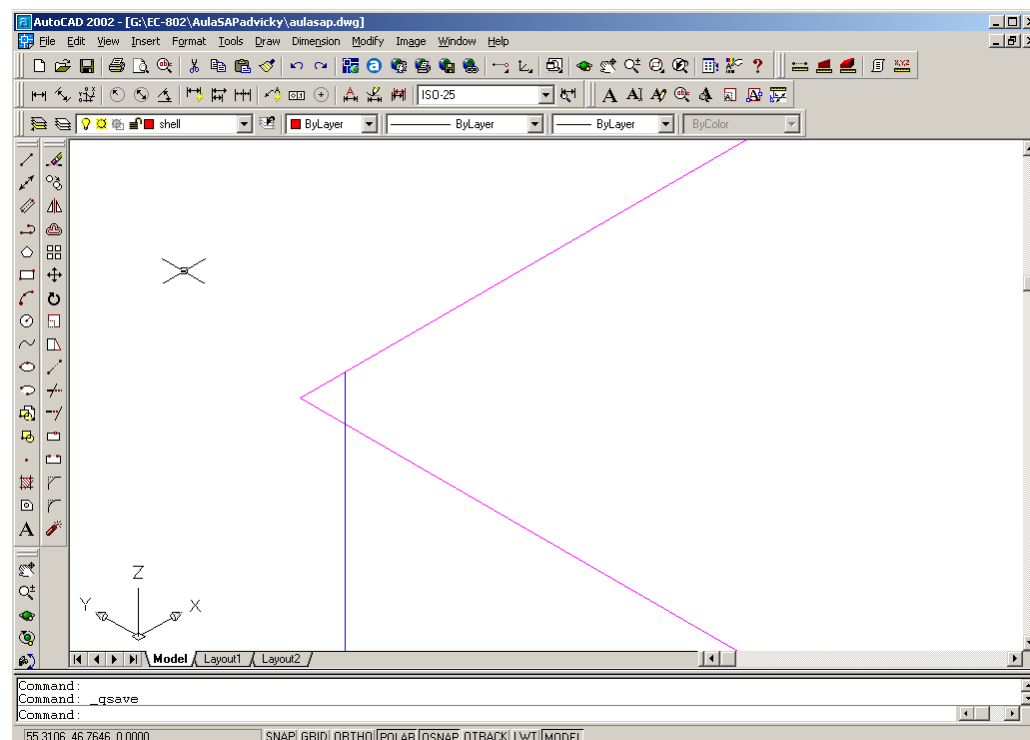
3.2- Desenho dos pilares ligados às vigas

Assim como nas vigas, os eixos dos pilares serão denominados apenas pilares.

a) Desenhar cada trecho de pilar separadamente, desde a fundação até a cobertura.



b) Lembrar que os eixos dos pilares de 20/30 não coincidem com o encontro dos eixos das vigas; eles cruzam com os eixos das vigas longitudinais, mas apresentam um deslocamento de 5 cm dos eixos das vigas transversais.



3.3- Desenho das lajes

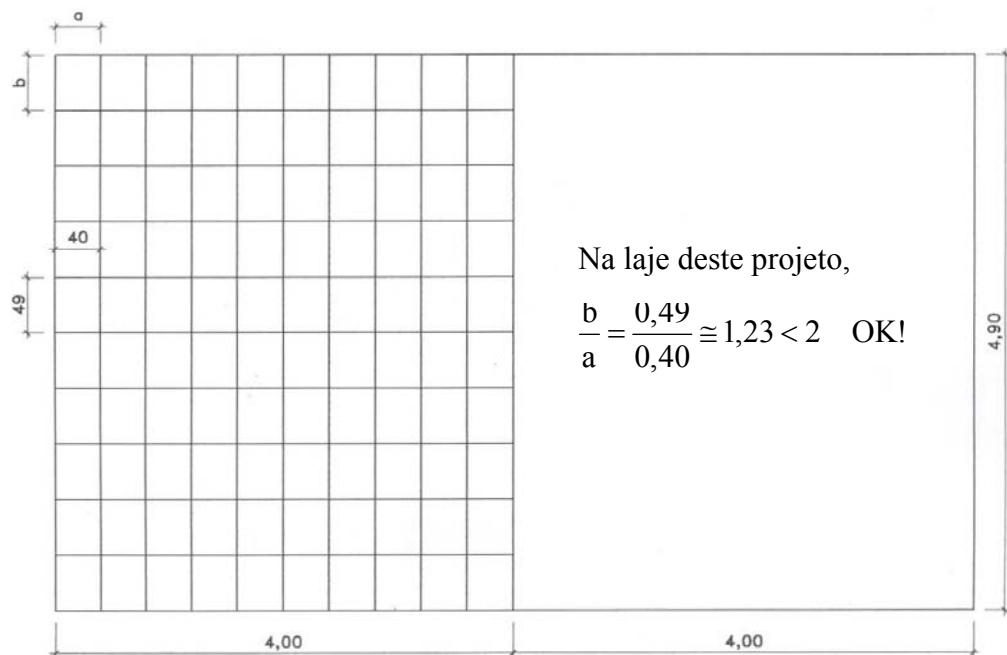
Os eixos das lajes serão desenhados apoiando diretamente nos eixos das vigas, para simplificar o modelo.

a) Como todas as lajes são iguais, dividir um dos vãos numa malha retangular (elementos finitos), de dimensões a e b ($\geq a$) e depois copiar para os demais vãos.

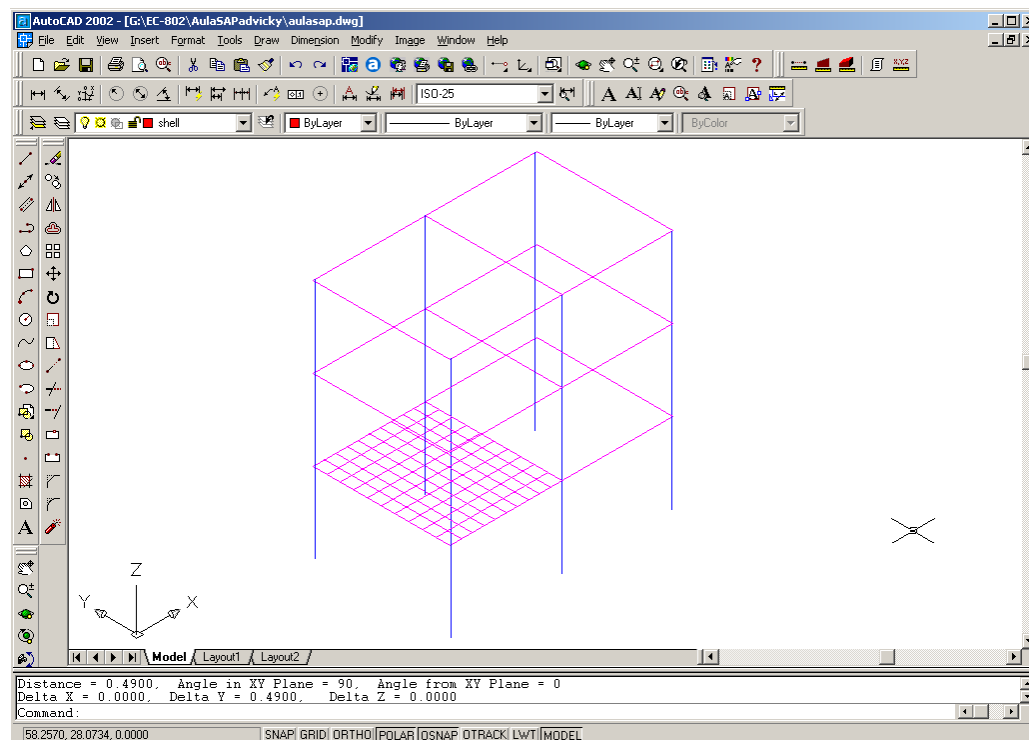
-Dimensões ideais de a e b : 1/10 do vão, como neste exemplo.

-Relação entre b e a : $1 \leq b/a < 2$

-Melhor relação entre b e a, que origina elementos quadrados : $1 \leq b/a \leq 4/3 = 1,33$

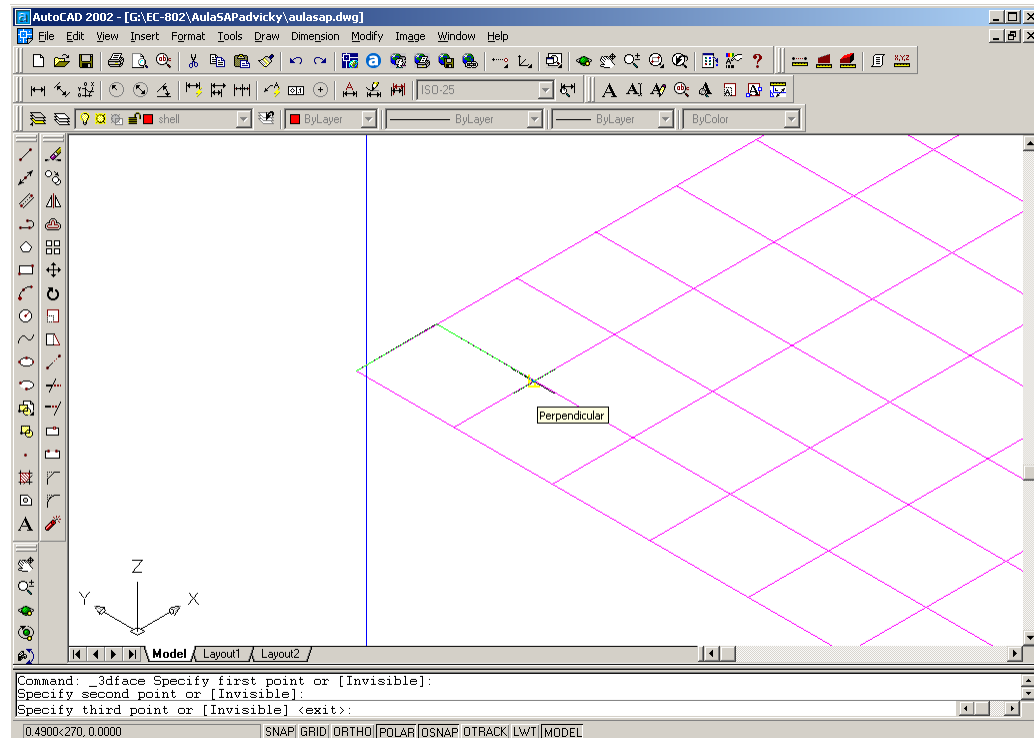


b) Malha no desenho em 3 dimensões



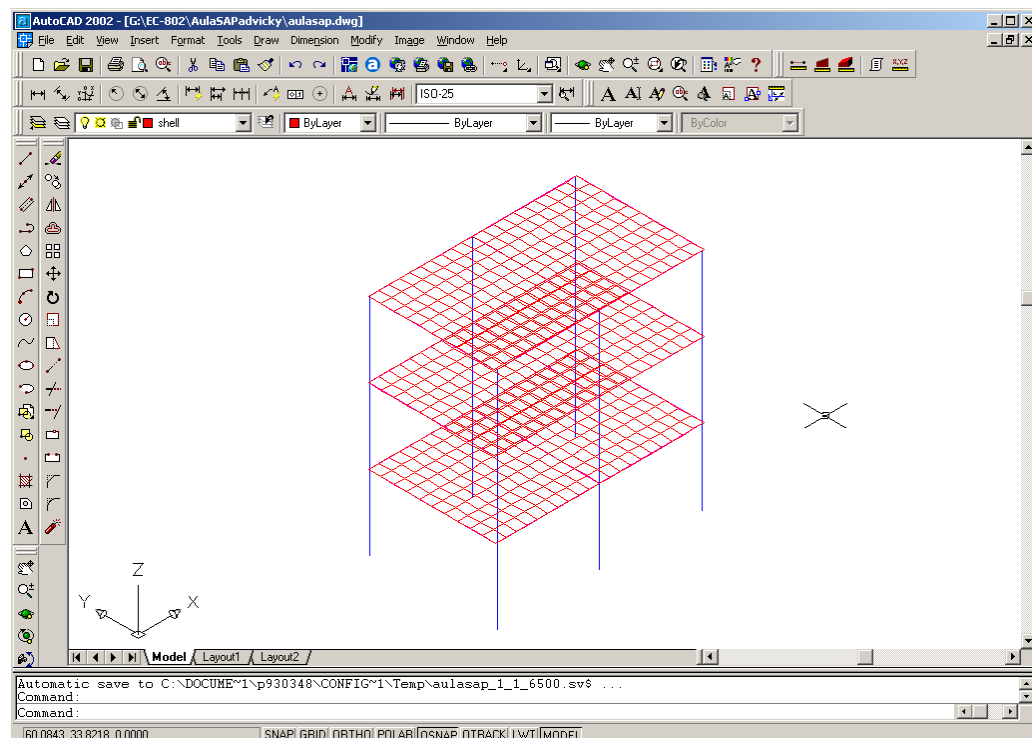
c) Em cada retângulo da malha, desenhar uma superfície:

Draw → Surfaces → 3D face → desenhar a superfície (“clique” nos 4 pontos do retângulo e a superfície está pronta)



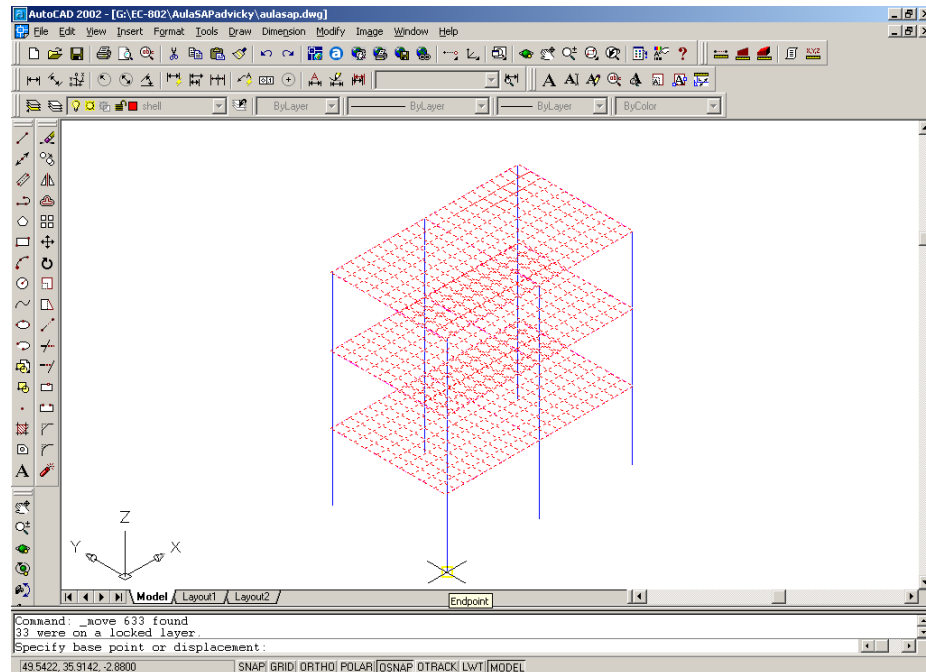
Obs: Fazer todas as superfícies no mesmo sentido (horário, neste caso), para que no SAP todas elas tenham os eixos locais iguais; sendo assim, ao aplicar as cargas nas lajes, não haverá cargas em sentidos opostos.

d) Quando toda a malha estiver pronta, com as superfícies, copiá-la nos demais vãos.

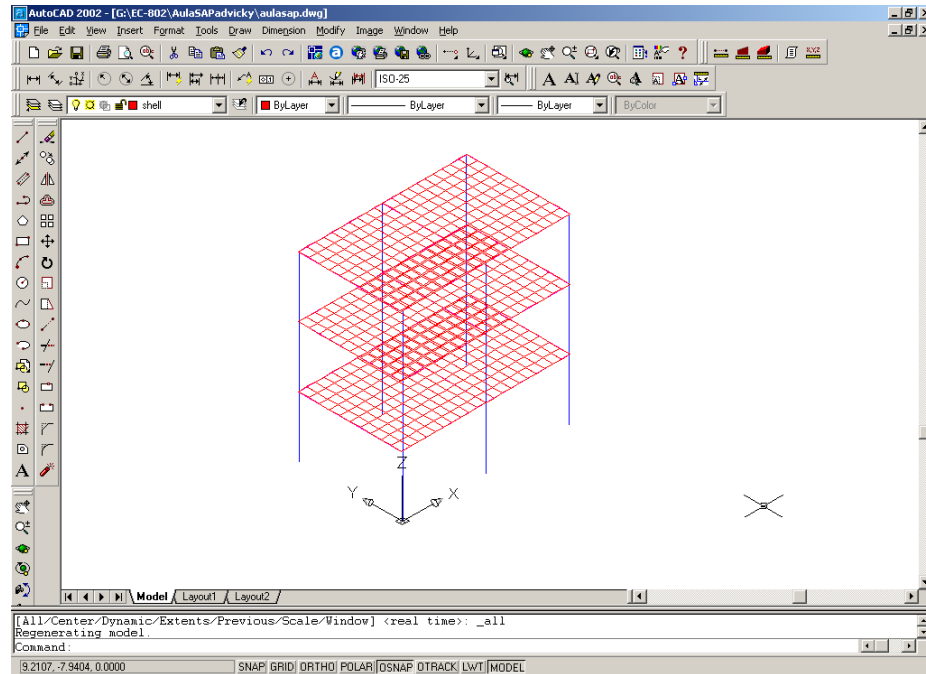


- e) Mover toda a estrutura para a origem (0,0,0), para facilitar a verificação das coordenadas dos nós no SAP200.

Primeiro, selecionar todos os elementos e depois selecionar a extremidade do pilar, como indica a figura a seguir.



Digitar 0,0,0 → ENTER

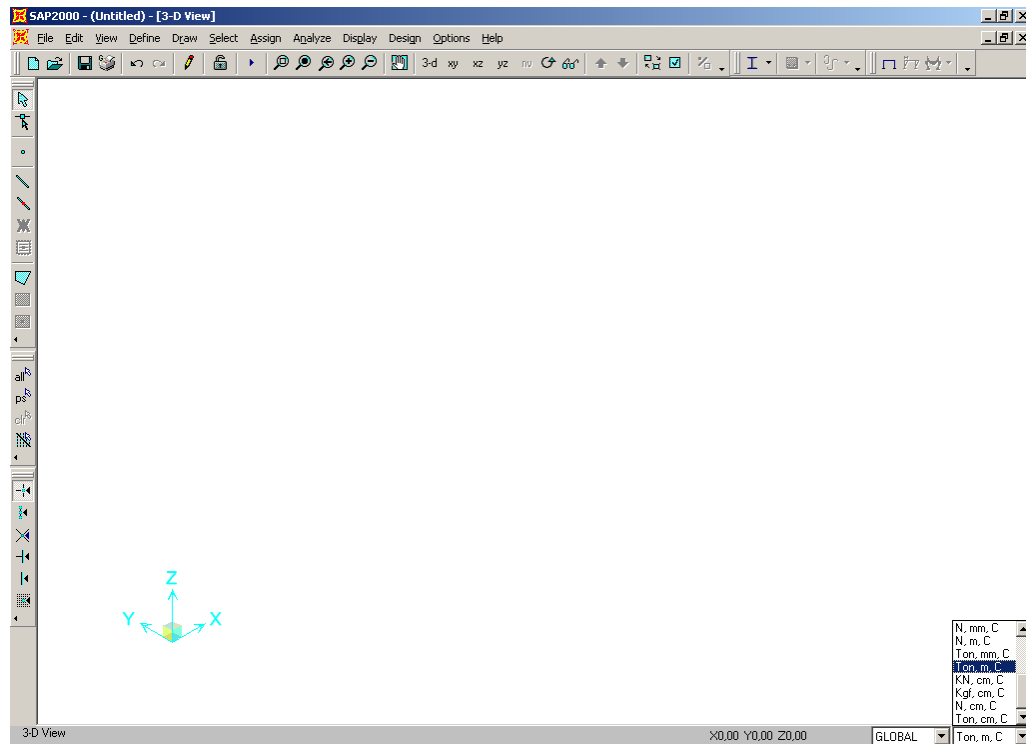


II - No SAP

1- Importar os elementos do Autocad

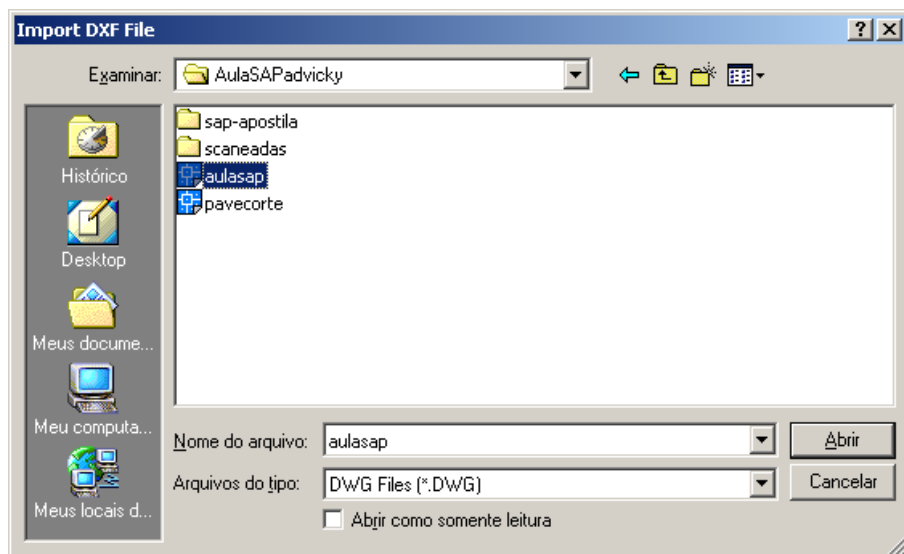
Obs: O desenho no Autocad pode ficar aberto, basta o arquivo estar salvo.

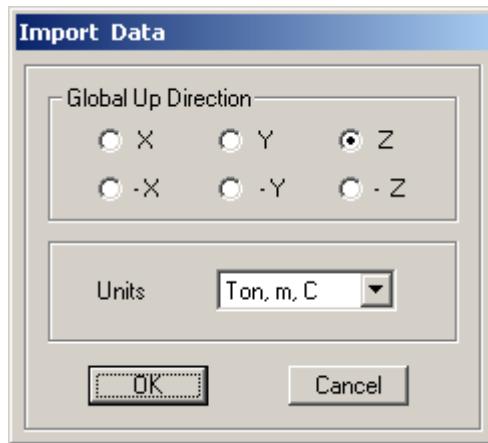
- a) Abrir o SAP e no canto direito modificar a unidade, que preferivelmente deve ser tonelada, metro e C°.



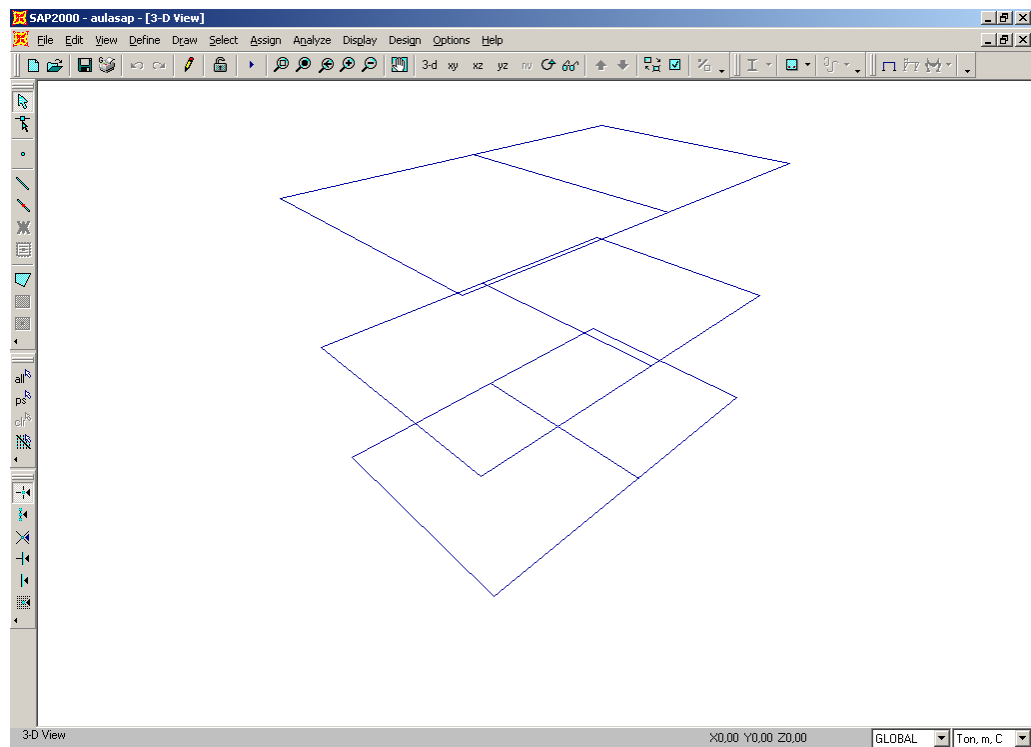
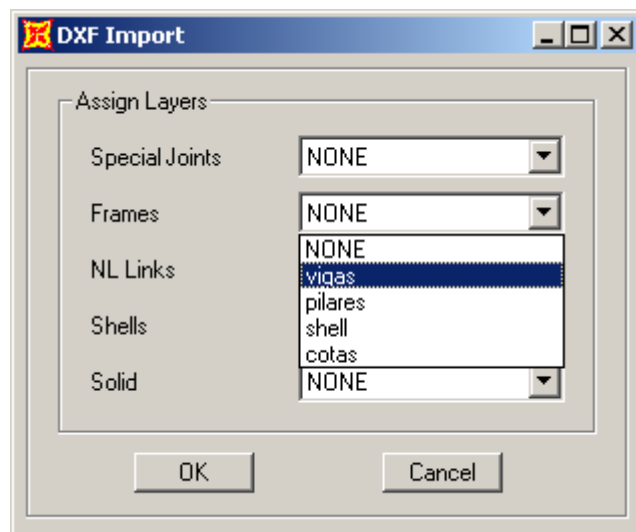
b) Importar as vigas

File → Import → Autocad . dxf/ dwg File → selecionar o arquivo *.dwg → Abrir





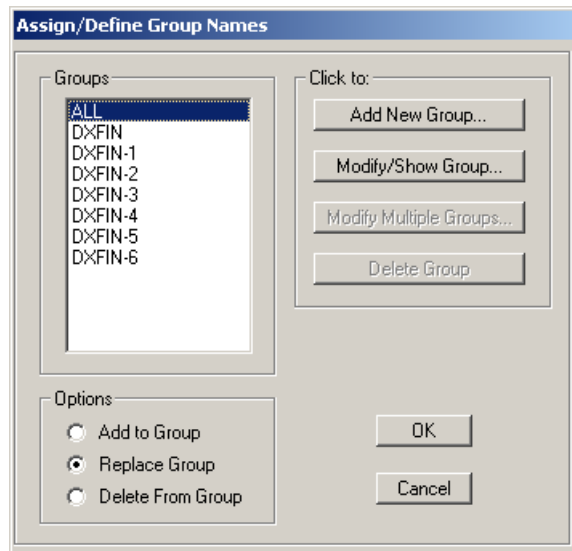
Selecionar em *Frames* o *layer* do arquivo do Autocad, no caso, vigas.



As barras estão todas selecionadas; criar um grupo para essas barras.

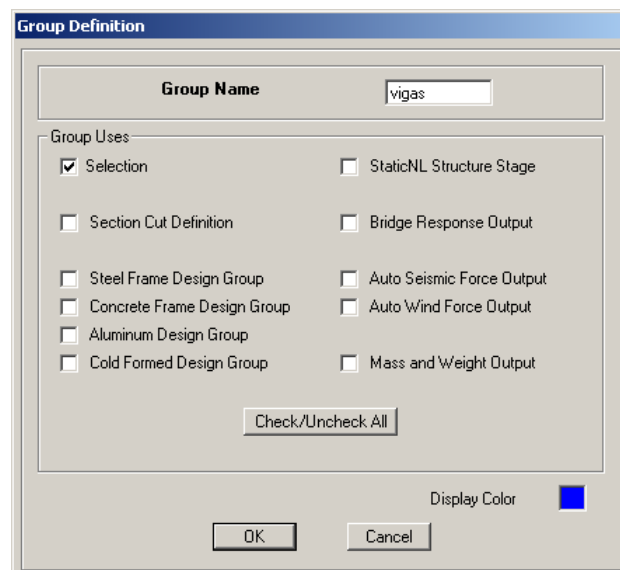
A finalidade dos grupos é facilitar a seleção dos elementos. Os grupos podem ser criados a qualquer momento, mesmo após a análise do modelo; sua criação depende das necessidades: apresentação de resultados, verificações, alterações, etc.

Selecionar barras (no caso, já estão selecionadas) → Assign → Assign to Group...



Nesta janela, o Grupo *ALL* não pode ser modificado, os demais, criados pelo próprio SAP, podem ser apagados.

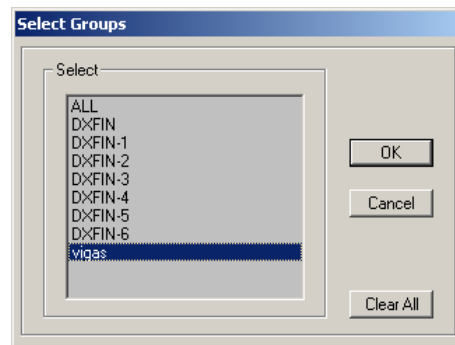
Add New Group...



O nome do grupo escolhido foi “vigas”. Como será um grupo com a finalidade de selecionar todas as vigas, apenas a opção *Selection* é selecionada.

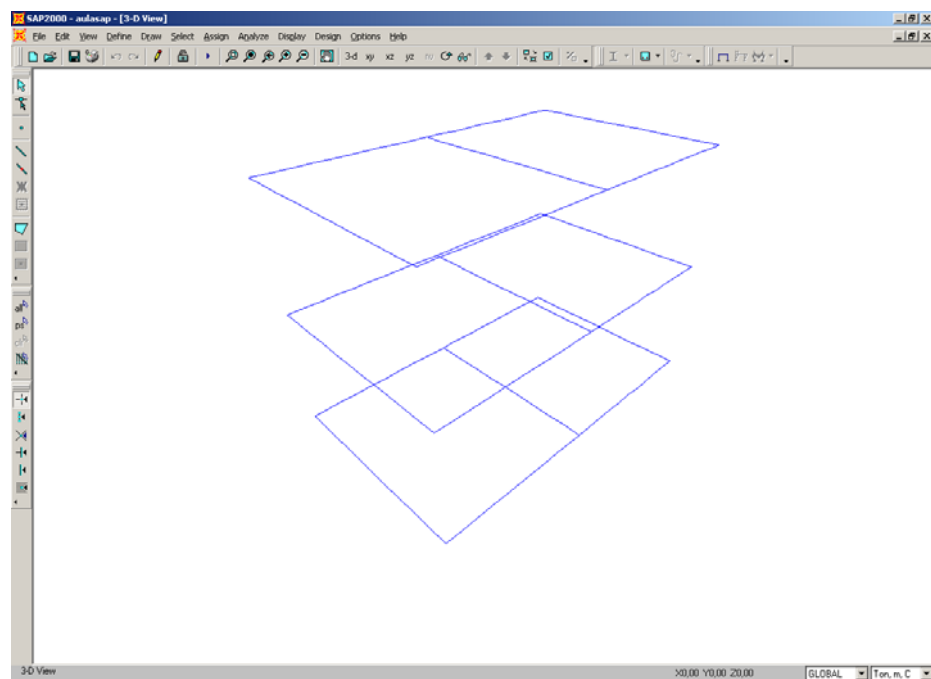
Pare selecionar o grupo:

Select → Select → Groups... →



→ OK

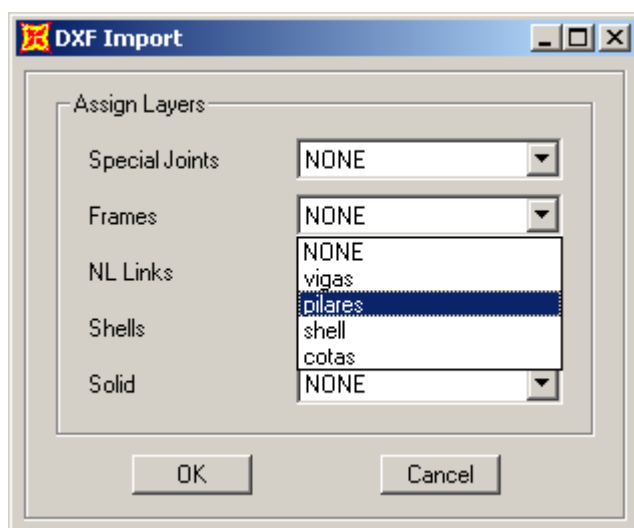
View → Show Selection Only

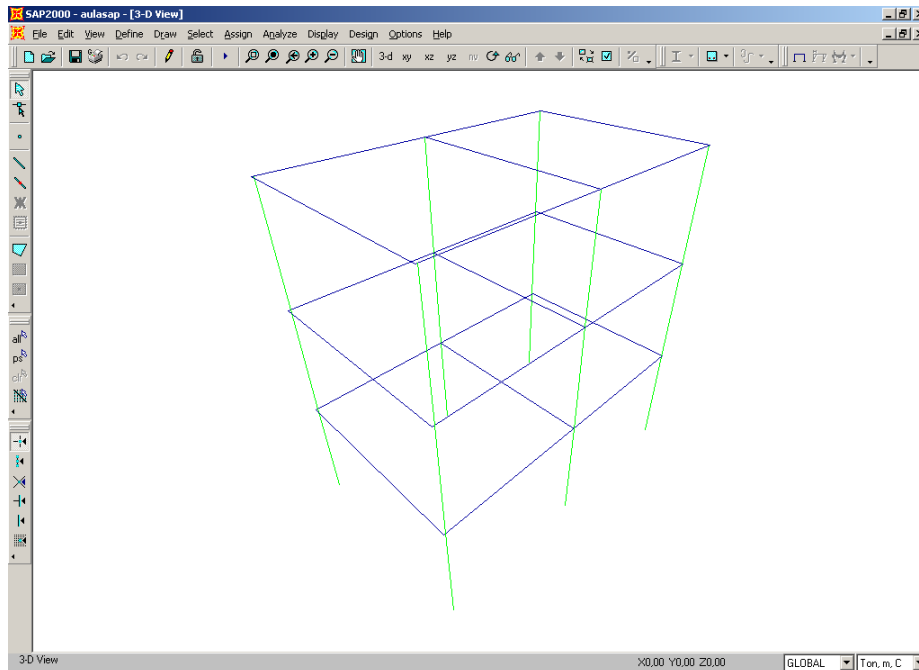


c) Importar os pilares

Mesmo procedimento das vigas, mudando somente em:

Selecionar em *Frames* o *layer* do arquivo do Autocad, no caso, pilares.

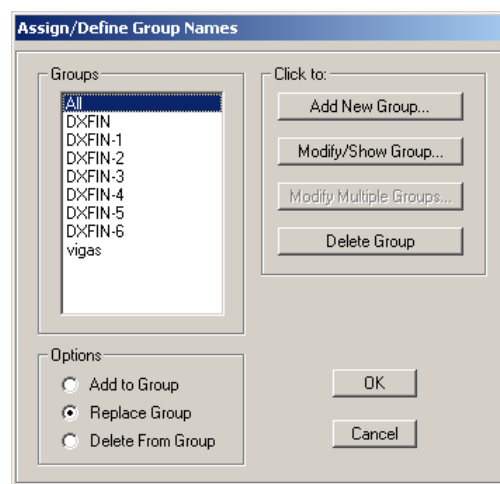




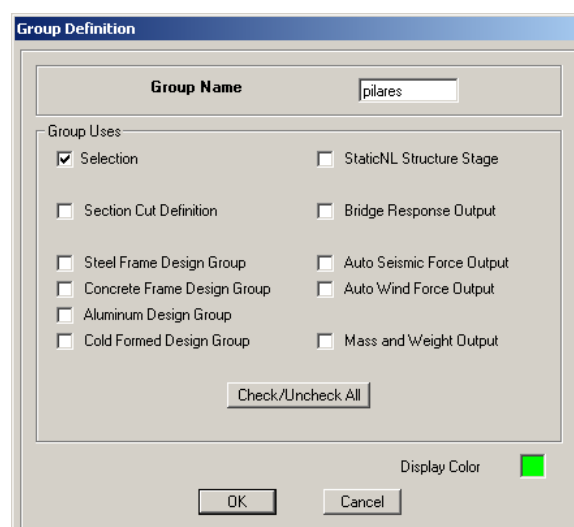
Ao importar os elementos, vigas e pilares, eles geralmente possuem a mesma cor. Posteriormente, será visto como alterar essas cores.

As barras referentes aos pilares estão selecionadas, basta criar o grupo:

Assign → Assign to Group...



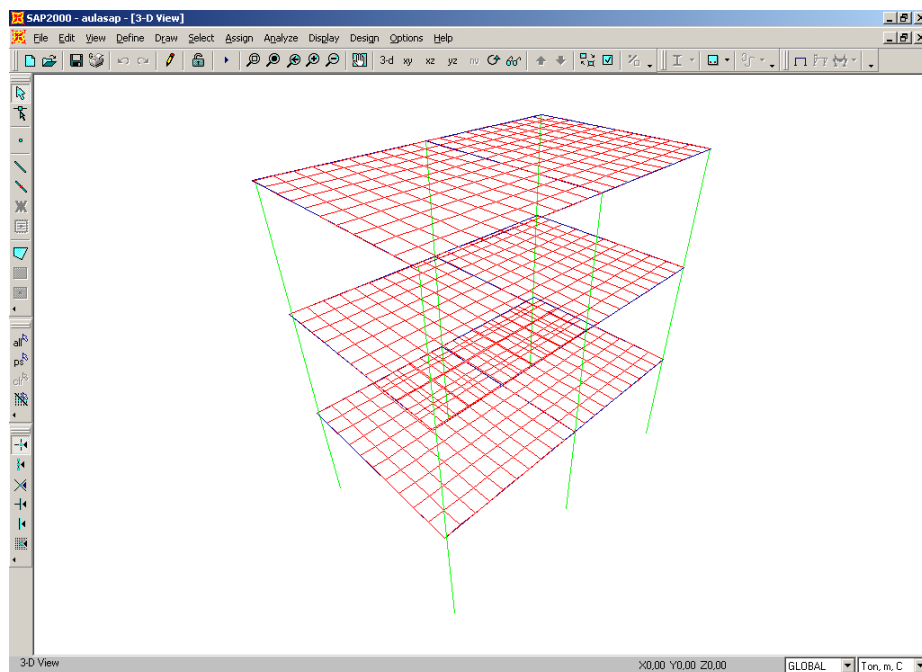
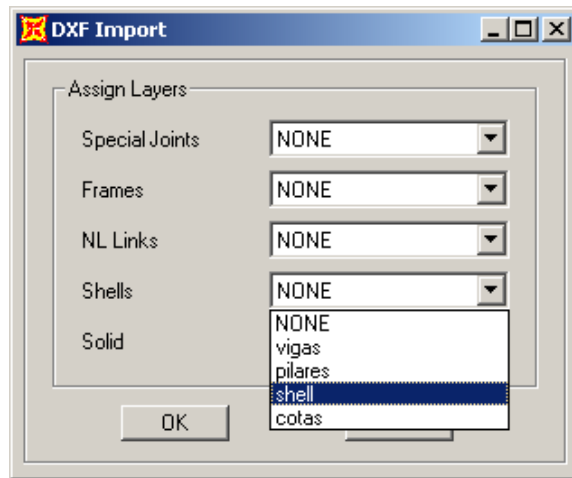
Add New Group...



d) Importar as lajes

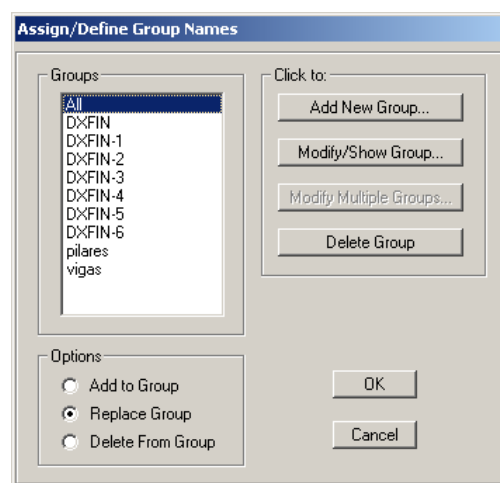
Mesmo procedimento das vigas, mudando somente em:

Selecionar em *Shells* o *layer* do arquivo do Autocad, no caso, *shell*.

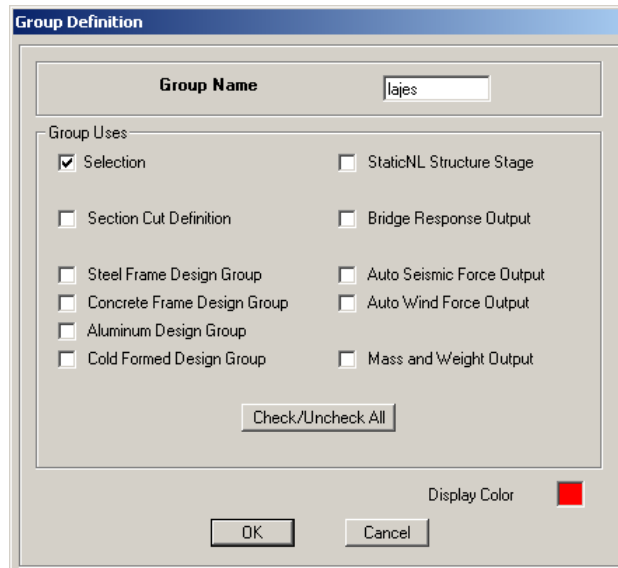


Ao importar as *shells*, elas ficam selecionadas; basta criar um grupo

Assign → Assign to Group...



Add New Group...



The image shows a 'Group Definition' dialog box. At the top, there is a 'Group Name' field containing the text 'lajes'. Below this, a section titled 'Group Uses' contains a list of checkboxes. The 'Selection' checkbox is checked, while all other checkboxes are unchecked. These include 'StaticNL Structure Stage', 'Bridge Response Output', 'Steel Frame Design Group', 'Concrete Frame Design Group', 'Aluminum Design Group', 'Cold Formed Design Group', 'Auto Seismic Force Output', 'Auto Wind Force Output', and 'Mass and Weight Output'. A 'Check/Uncheck All' button is located below the list. At the bottom right, there is a 'Display Color' label next to a red square. At the bottom center, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Group Name
lajes

Group Uses:

- ☒ Selection
- ☐ StaticNL Structure Stage
- ☐ Bridge Response Output
- ☐ Section Cut Definition
- ☐ Steel Frame Design Group
- ☐ Concrete Frame Design Group
- ☐ Aluminum Design Group
- ☐ Cold Formed Design Group
- ☐ Auto Seismic Force Output
- ☐ Auto Wind Force Output
- ☐ Mass and Weight Output

Check/Uncheck All

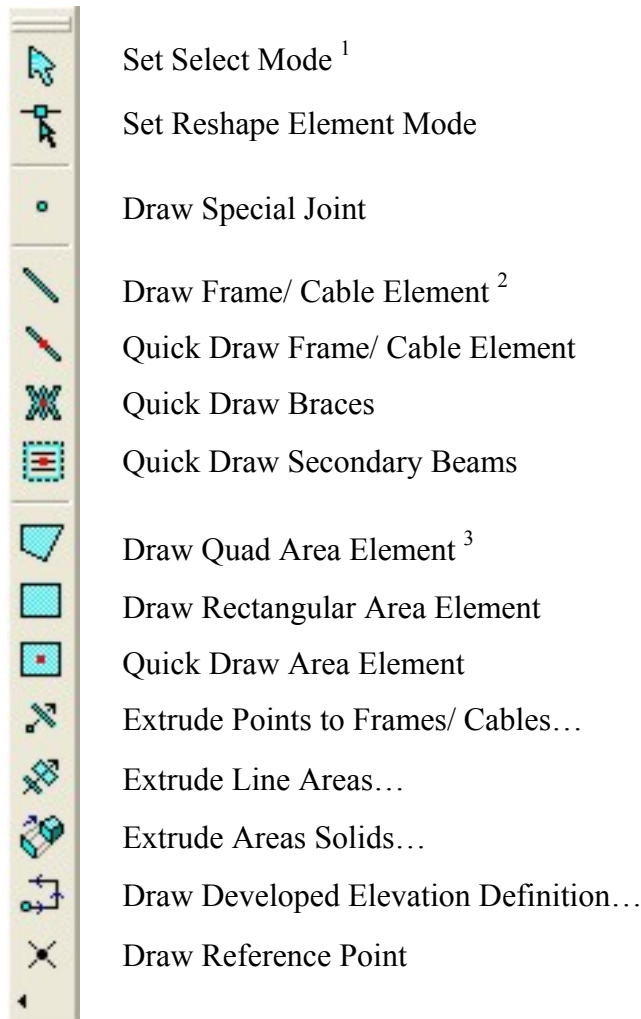
Display Color ■

OK Cancel

Obs: Se importar algum elemento (laje, viga ou pilar) errado, basta apagá-lo e importá-lo novamente, seguindo o mesmo procedimento. Não é necessário importar a estrutura inteira novamente.

2- Comandos do SAP : Barra de Ferramentas

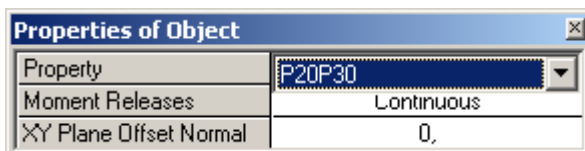
a) DRAW

**NOTAS:**

¹ Este ícone fica selecionado para selecionar os elementos (barra, nó ou *shell*) da estrutura.

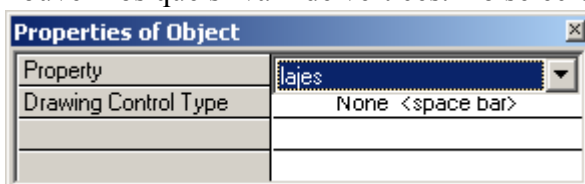
A seta ficará visível na tela e basta clicar sobre o elemento para selecioná-lo.

² Este ícone serve para desenhar uma barra. Ao selecioná-lo aparecerá a janela



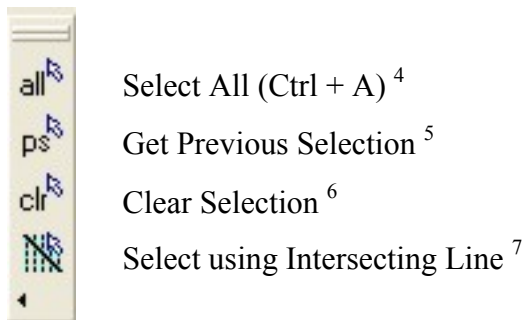
e deve-se escolher a seção que a barra deve ter. Utilizado somente se for desenhar no SAP.

³ Este ícone serve para desenhar um elemento *shell*, que somente poderá ser desenhado se houver nós que sirvam de vértices. Ao selecioná-lo aparecerá uma janela e deve-se



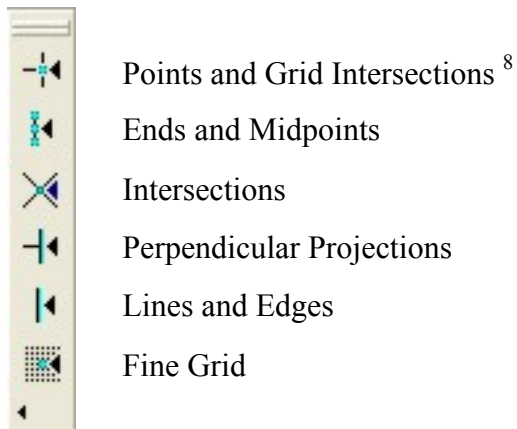
escolher a seção que o *shell* deve ter. Utilizado somente se for desenhar no SAP.

b) SELECT

**NOTAS:**

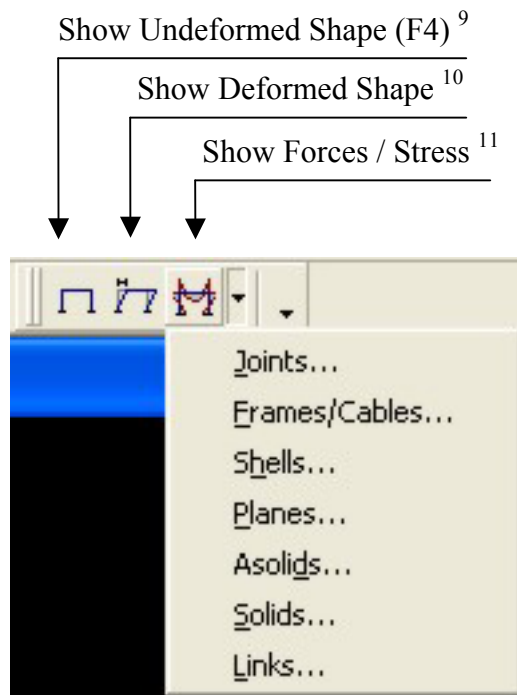
- ⁴ Este ícone serve para selecionar todos os elementos da estrutura, inclusive os que não estão visíveis.
- ⁵ Este ícone serve para selecionar os elementos da estrutura que foram previamente selecionados.
- ⁶ Este ícone serve para não selecionar mais todos os elementos que estão selecionados.
- ⁷ Este ícone serve para selecionar vários elementos ao mesmo tempo através de uma linha.

c) SNAP

**NOTAS:**

- ⁸ Este ícone serve para que ao selecionar um elemento, ele dê preferência aos nós; geralmente já está selecionado.

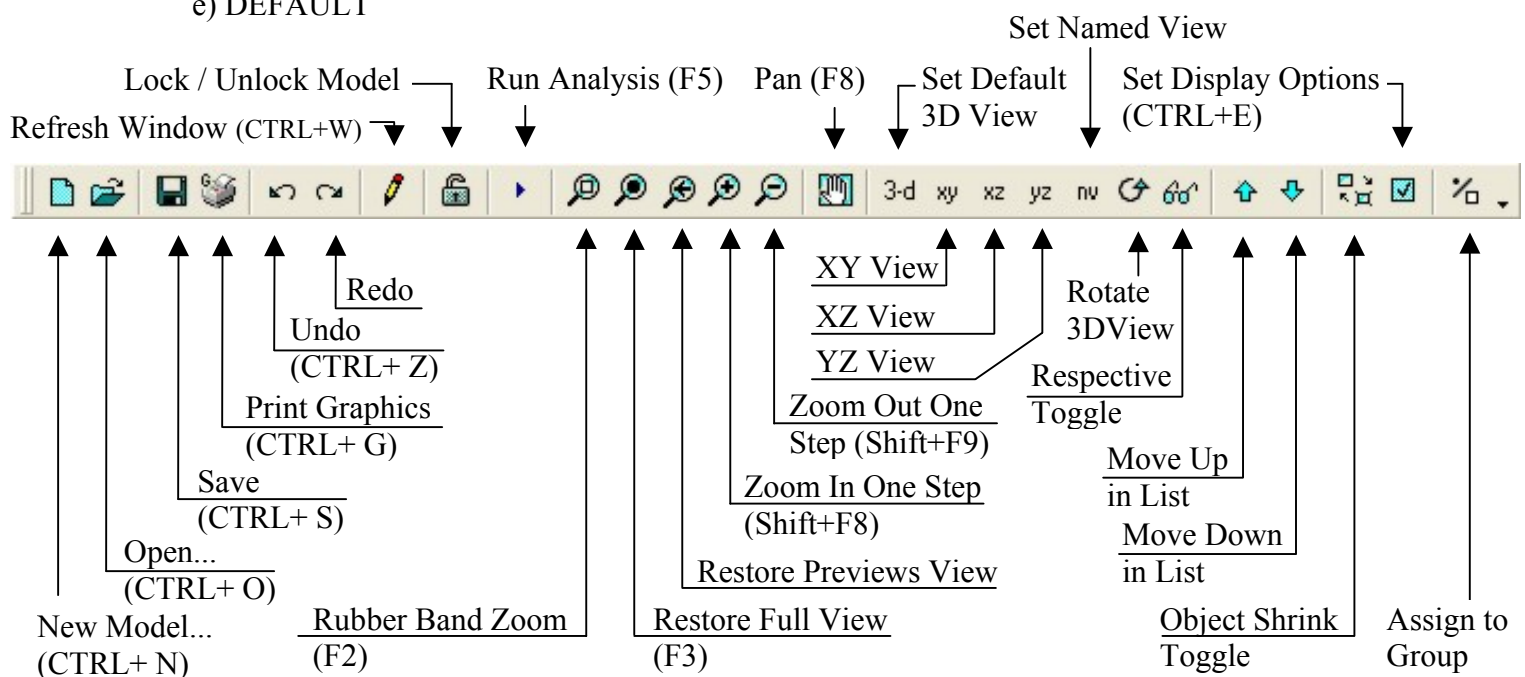
d) DISPLAY



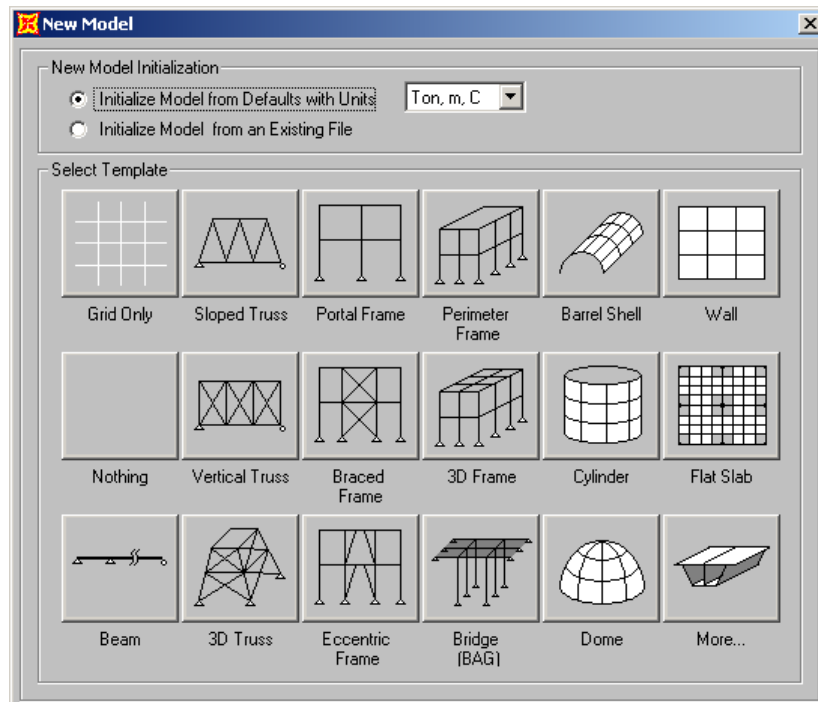
NOTAS:

- ⁹ Este ícone serve para que o SAP mostre a estrutura sem nenhuma deformação, como ela foi inicialmente desenhada.
- ¹⁰ Este ícone serve para que o SAP mostre a estrutura com a deformação, como ela foi inicialmente desenhada.
- ¹¹ Este ícone serve para que o SAP mostre os esforços (diagramas, etc) dos elementos da estrutura.

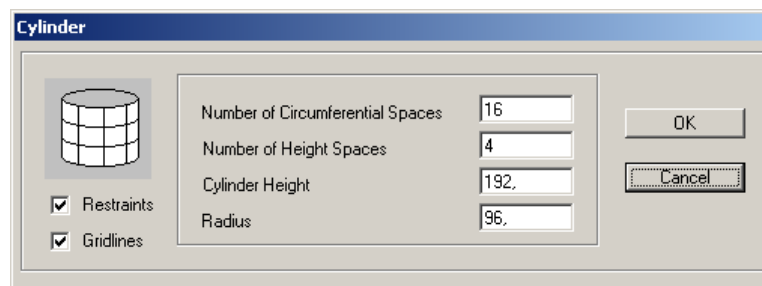
e) DEFAULT



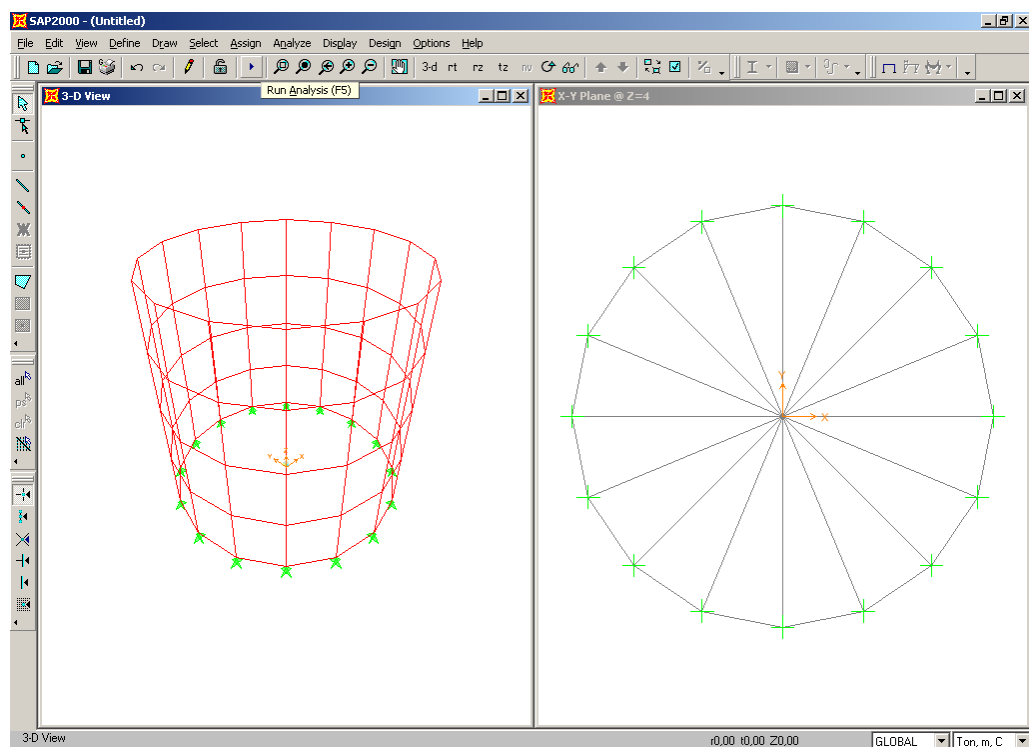
e.1 -  Para iniciar um novo modelo diretamente no SAP



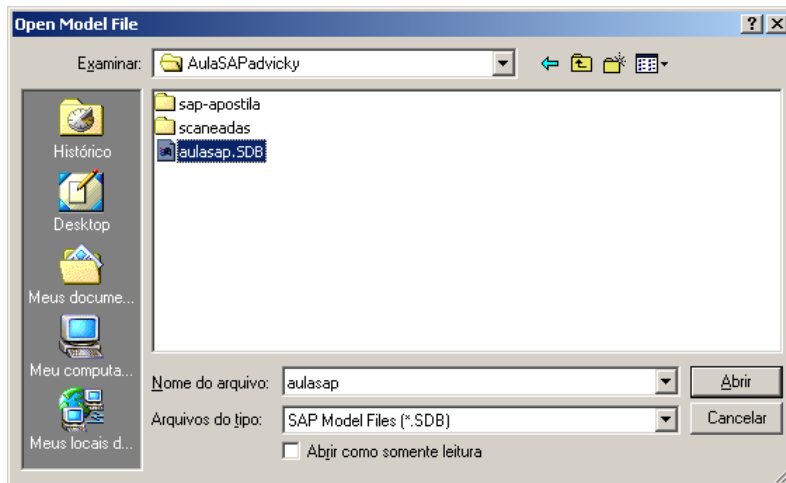
Pode-se iniciar um novo modelo selecionando uma das sugestões acima, por exemplo



E ao fornecer as dimensões desejadas, será apresentado o modelo a seguir:



- e.2 -  Para abrir um modelo já existente no SAP, um arquivo *.sdb

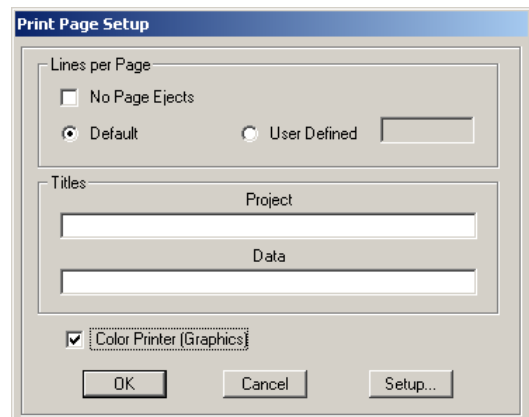


- e.3 -  Para salvar o modelo. Deve ser usado sempre, para o trabalho não ser perdido.

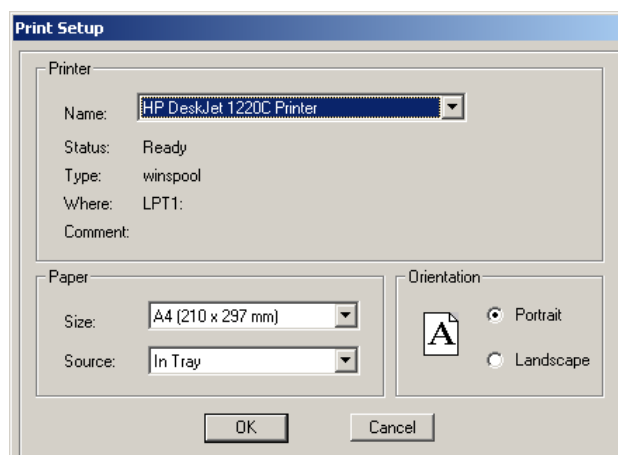
- e.4 -  Para imprimir o que está aparecendo na tela, apenas uma janela por vez. Não há como selecionar perfeitamente a área de impressão.

Antes de imprimir, deve-se configurar a página de impressão:

File → Print Setup for Graphics...

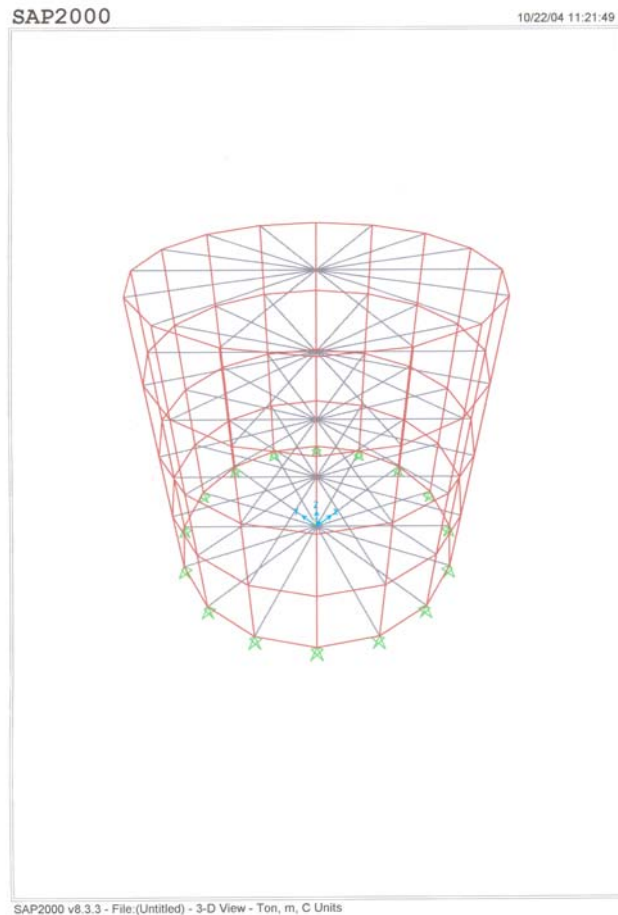


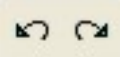
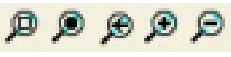
Setup...



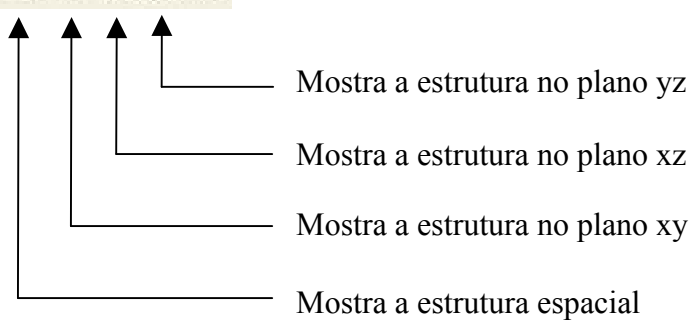
Escolher a impressora, o tamanho da folha e a orientação da impressão.

Resultado da impressão:



- e.5 -  Para desfazer ou refazer uma ação (desenhar, apagar, aplicar cargas, etc) no modelo. Não ficam disponíveis após o arquivo ser salvo.
- e.6 -  Atualiza o que é mostrado na tela.
- e.7 -  Quando selecionado, não permite que o modelo sofra alterações. É automaticamente selecionado após o modelo ser analisado.
- e.8 -  Para iniciar a análise do modelo.
- e.9 -  ← Reduz a imagem na tela
- ↑ Aumenta a imagem na tela
- ↑ Volta para a imagem que era mostrada anteriormente
- ↑ Volta para a imagem inicial, que mostra toda a estrutura
- Zoom

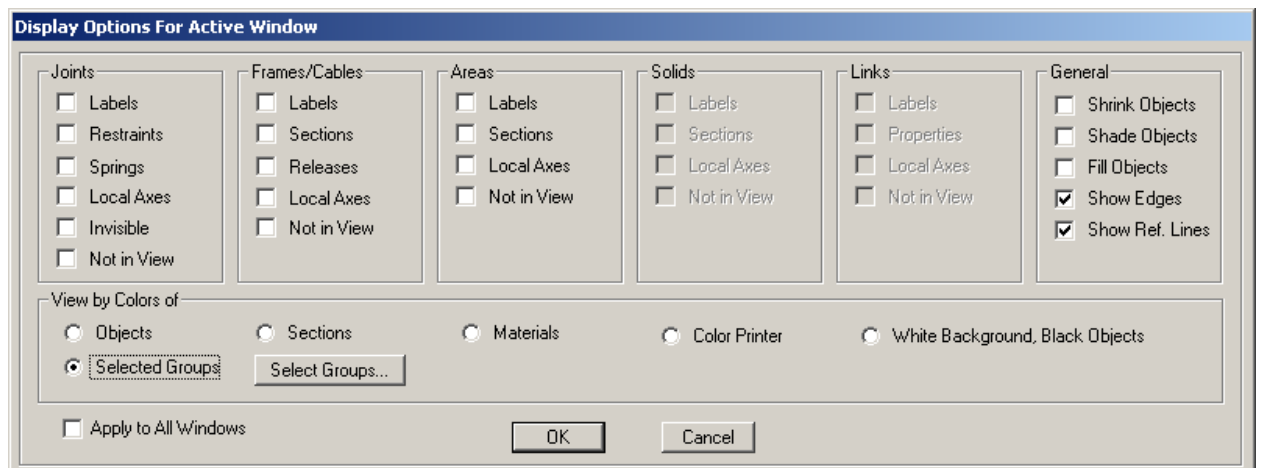
e.10 -  Apenas move a imagem que está aparecendo na tela.

e.11 - 


e.12 -  Gira a estrutura espacialmente.

e.13 -  Muda a perspectiva da estrutura, espacialmente.

e.14 -  Opções de *display*



Joints

- Labels: mostra os números de cada nó.
- Restraints: mostra as restrições dos nós, se houver.
- Springs: mostra as molas, quando houver.
- Local Axes: mostra os eixos locais dos nós.
- Invisible: não mostras os nós, mas eles podem ser selecionados.
- Not in View: os nós não podem ser vistos e nem podem ser selecionados.

Frames/Cables

- Labels: mostra os números de cada *shell*.
- Sections: mostra as seções das *shell*.
- Releases: mostra as “liberações” dos nós das barras, quando houver.
- Local Axes: mostra os eixos locais das barras.
- Not in View: as barras não são mostradas e nem podem ser selecionadas.

Areas

- Labels: mostra os números de cada barra.
- Sections: mostra as seções das barras.
- Local Axes: mostra os eixos locais das *shell*.
- Not in View: as *shell* não são mostradas e nem podem ser selecionadas.

View by Colors of

- Objects: mostra os elementos com as cores dos objetos.
- Sections: mostra os elementos com as cores das seções.
- Materials: mostra os elementos com as cores dos materiais. Não é indicado porque em geral todos os elementos são do mesmo material, concreto, e ficariam todos com a mesma cor.
- Color Printer: mostra os elementos com as cores que eles serão impressos.
- White Background, Black Objects: mostra os elementos em tons de cinza.
- Selected Groups : mostra os elementos com as cores dos grupos que são selecionados, cada elemento com a cor do seu grupo.

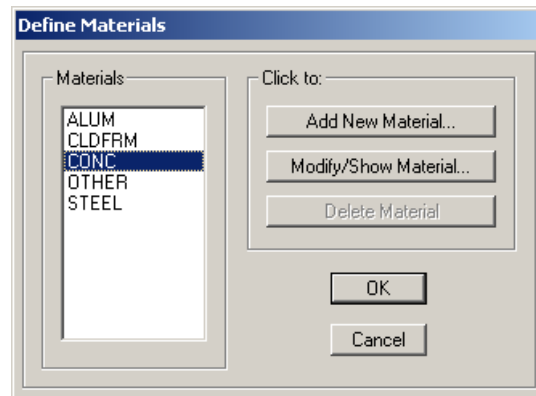
Obs: Foi mostrado no item “e” apenas os ícones que utilizamos com mais frequência.
Falaremos detalhadamente de cada um deles posteriormente.

3- Definindo os materiais e as seções dos elementos

3.1- Materiais

a) Concreto

Define → Materials →



Modify / Show Material...

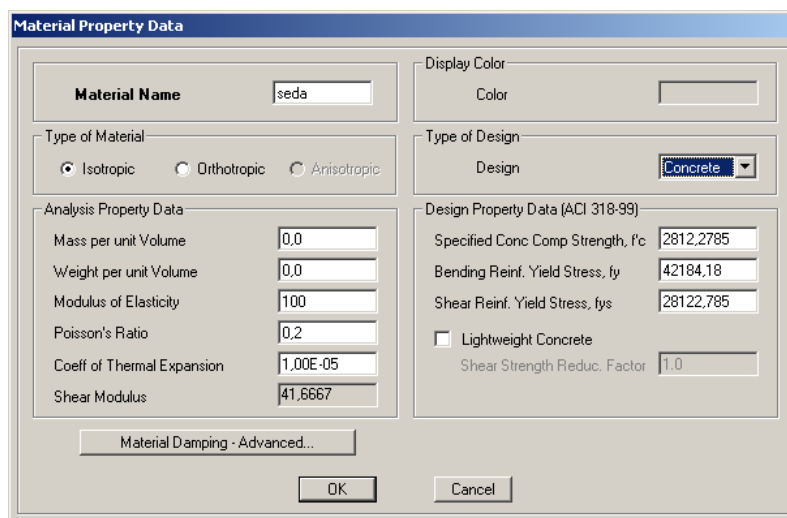
Os valores apresentados na janela anterior não são *default* do SAP, por isso devem ser modificados de acordo com os valores que utilizamos em nossos cálculos, como por exemplo, $\gamma_{\text{concr}} = 0,25 \text{ t/m}^3$ e o coeficiente de Poisson $\nu = 0,2$. Geralmente utilizamos o concreto com $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$, para o qual o Módulo de Elasticidade é :

$$E_c = 4760 \sqrt{f_{ck}} = 4760 \sqrt{25} = 4760 \times 5 = 23800 \text{ MPa} = 2380000 \text{ t/m}^2$$

b) Material de peso nulo, aqui denominado “Seda”

Este material é utilizado nas lajes que servirão para a aplicação das cargas de vento, assunto que será abordado posteriormente.

Define → Materials → Add New Material



The dialog box is titled "Material Property Data". It contains several sections for defining material properties:

- Material Name:** A text field containing "seda".
- Display Color:** A color selection field.
- Type of Material:** Radio buttons for ☒ Isotropic, ☐ Orthotropic, and ☐ Anisotropic.
- Type of Design:** A dropdown menu set to "Concrete".
- Analysis Property Data:**
 - Mass per unit Volume: 0,0
 - Weight per unit Volume: 0,0
 - Modulus of Elasticity: 100
 - Poisson's Ratio: 0,2
 - Coeff of Thermal Expansion: 1,00E-05
 - Shear Modulus: 41,6667
- Design Property Data (ACI 318-99):**
 - Specified Conc Comp Strength, f'c: 2812,2785
 - Bending Reinf. Yield Stress, fy: 42184,18
 - Shear Reinf. Yield Stress, fys: 28122,785
 - ☐ Lightweight Concrete
 - Shear Strength Reduc. Factor: 1,0

Buttons at the bottom include "Material Damping - Advanced...", "OK", and "Cancel".

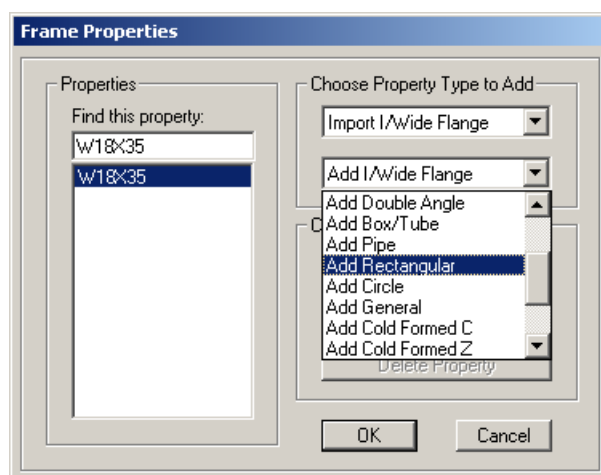
Os valores apresentados na janela acima são os adotados para que os elementos cujo material seja “seda” não interfiram no cálculo, ou seja, apenas transfiram cargas e não funcionem como elementos estruturais.

3.2- Seções dos elementos

Obs : A janela *Frame Properties* indica várias seções de barras; estas seções podem ser apagadas, exceto uma única seção (não se consegue apagá-la), seção automaticamente fornecida pelo programa às barras no momento em que elas são importadas.

a) Seções das vigas

Define → Frame / Cable Sections...

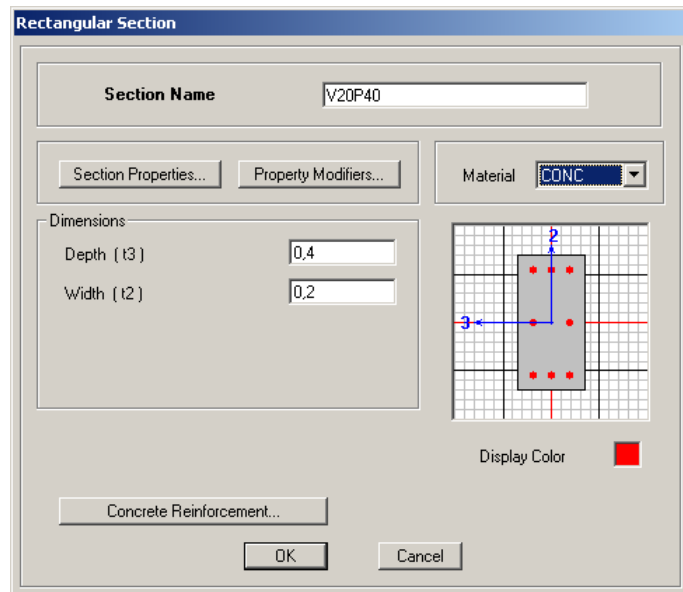


The dialog box is titled "Frame Properties". It contains two main sections:

- Properties:** A list box showing "w18x35" selected.
- Choose Property Type to Add:** A dropdown menu with "Import I/Wide Flange" selected. Below it is a list of property types:
 - Add I/Wide Flange
 - Add Double Angle
 - Add Box/Tube
 - Add Pipe
 - Add Rectangular
 - Add Circle
 - Add General
 - Add Cold Formed C
 - Add Cold Formed Z

Buttons at the bottom include "OK" and "Cancel".

Add Rectangular → Add New Property



Rectangular Section

Section Name: V20P40

Section Properties... Property Modifiers...

Material: CONC

Dimensions:

Depth (t3): 0.4

Width (t2): 0.2

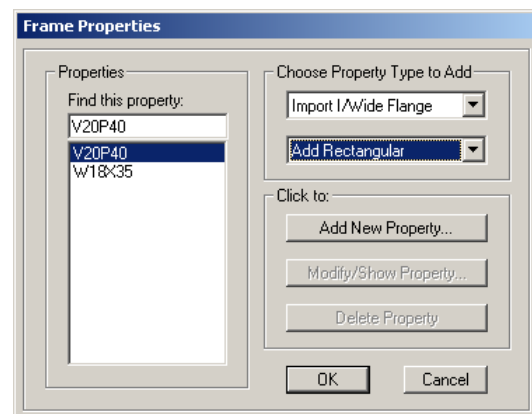
Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Display Color: [Red Box]

b) Seções dos pilares

Define → Frame / Cable Sections...



Frame Properties

Properties:

Find this property:

V20P40

V20P40

W18X35

Choose Property Type to Add:

Import I/Wide Flange

Add Rectangular

Click to:

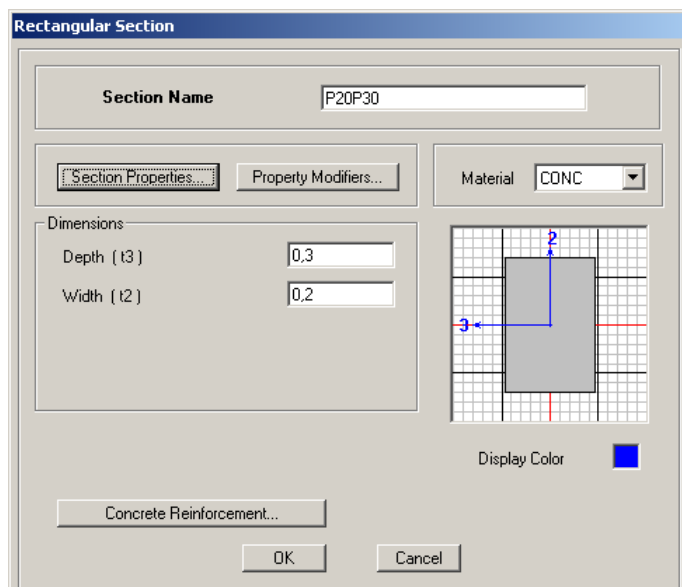
Add New Property...

Modify/Show Property...

Delete Property

OK Cancel

Add Rectangular → Add New Property



Rectangular Section

Section Name: P20P30

Section Properties... Property Modifiers...

Material: CONC

Dimensions:

Depth (t3): 0.3

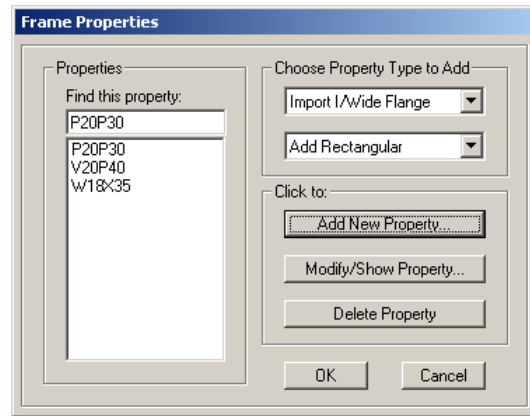
Width (t2): 0.2

Concrete Reinforcement...

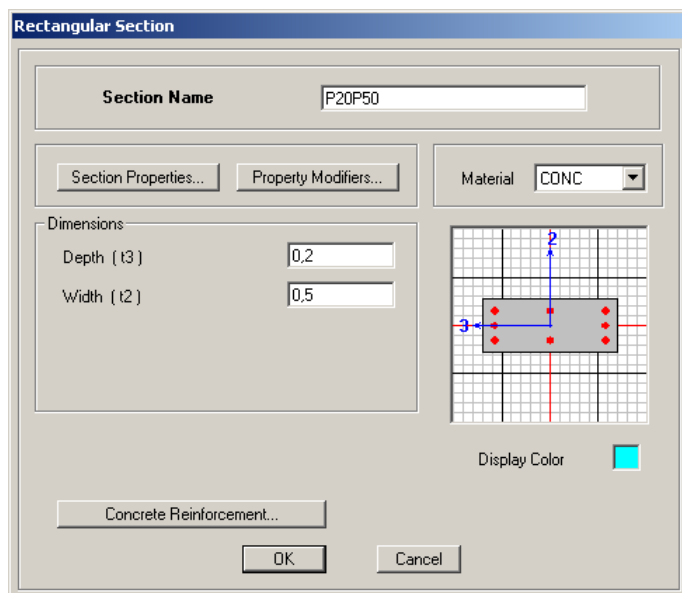
OK Cancel

Display Color: [Blue Box]

Define → Frame / Cable Sections...

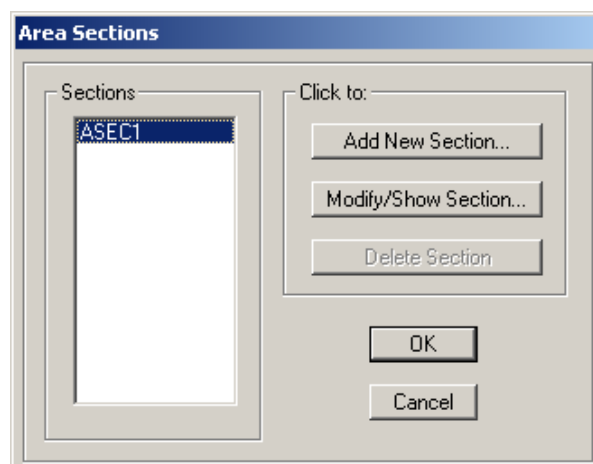


Add Rectangular → Add New Property

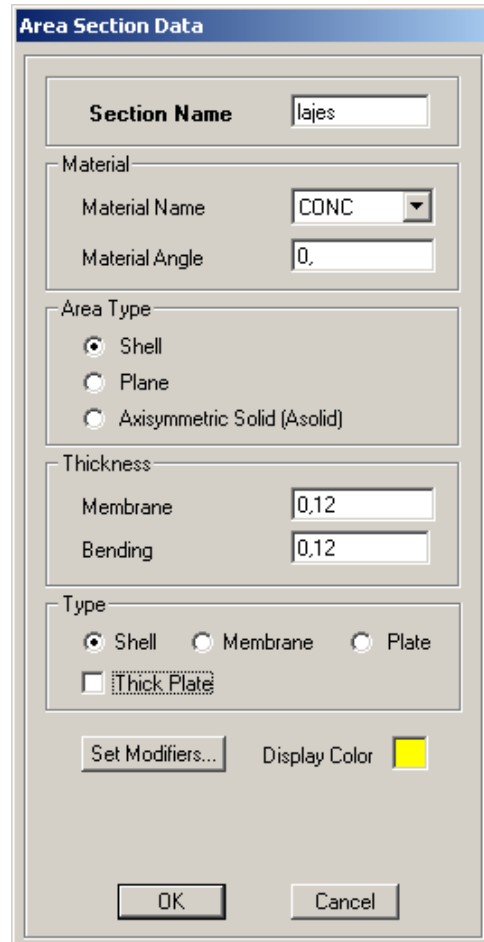


c) Seções das lajes

Define → Area Sections...



Modify / Show Section



Area Section Data

Section Name

Material

Material Name

Material Angle

Area Type

☒ Shell
☐ Plane
☐ Axisymmetric Solid (Asolid)

Thickness

Membrane

Bending

Type

☒ Shell ☐ Membrane ☐ Plate
☐ Thick Plate

Display Color

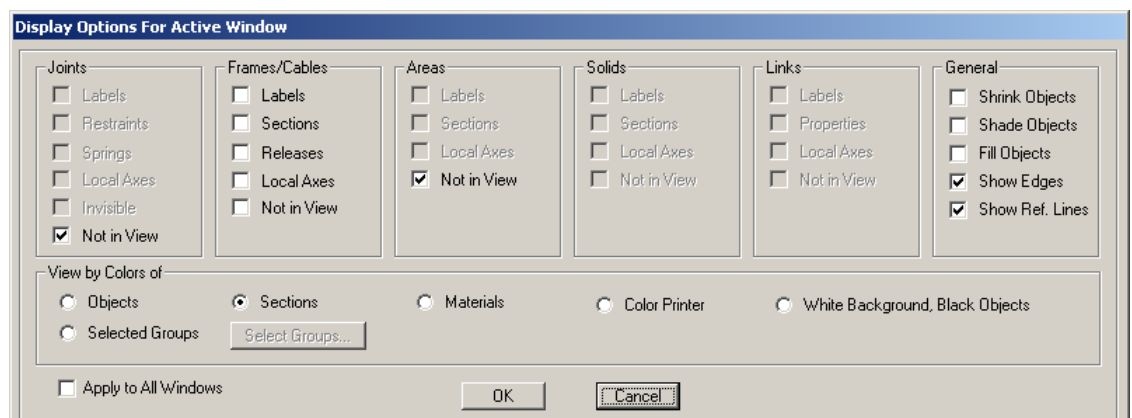
Em “Section Name”, escolher um nome qualquer. Em “Material”, seleccionar o material CONC (concreto). Em “Area Type”, seleccionar “shell”. Em “Thickness” (espessuras) colocar a espessura das lajes especificadas nas fôrmas ($h = 12\text{ cm}$) em metros, tanto em “Membrane” quanto em “Bending”. Em “Type” seleccionar “Shell”.

4- Fornecendo as seções aos elementos

a) Vigas

Para facilitar, deixar somente as barras visíveis no modelo :

Em  →



Display Options For Active Window

Joints ☐ Labels ☐ Restraints ☐ Springs ☐ Local Axes ☐ Invisible ☒ Not in View	Frames/Cables ☐ Labels ☐ Sections ☐ Releases ☐ Local Axes ☐ Not in View	Areas ☐ Labels ☐ Sections ☐ Local Axes ☒ Not in View	Solids ☐ Labels ☐ Sections ☐ Local Axes ☐ Not in View	Links ☐ Labels ☐ Properties ☐ Local Axes ☐ Not in View	General ☐ Shrink Objects ☐ Shade Objects ☐ Fill Objects ☒ Show Edges ☒ Show Ref. Lines
---	--	--	--	---	---

View by Colors of

☐ Objects ☒ Sections ☐ Materials ☐ Color Printer ☐ White Background, Black Objects

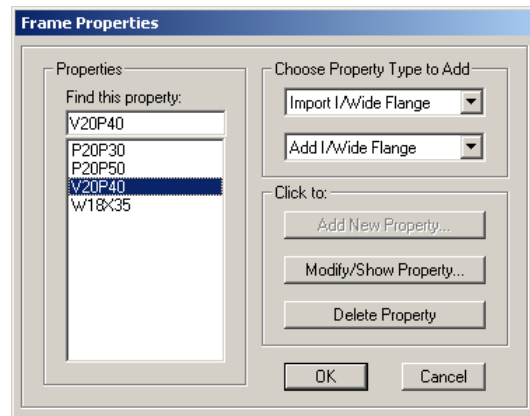
☐ Selected Groups

☐ Apply to All Windows

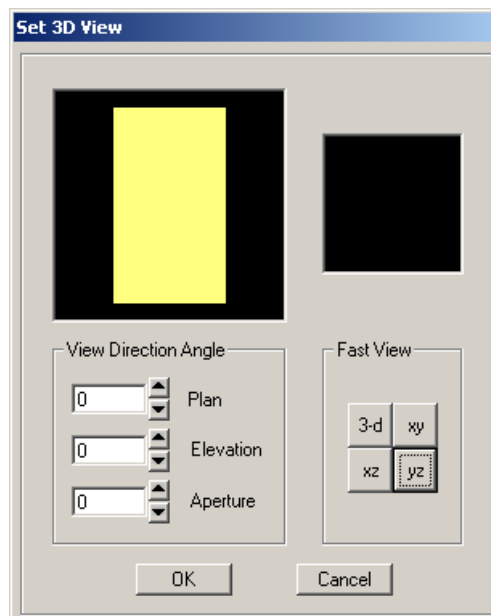
Na janela anterior, em “Joints” e “Áreas”, selecionar “Not in View”. Para que as cores do modelo fiquem de acordo com as seções dos elementos, selecione em “View by Color of” a opção “Sections”.

Todas as vigas no exemplo são iguais, portanto selecione todas elas.

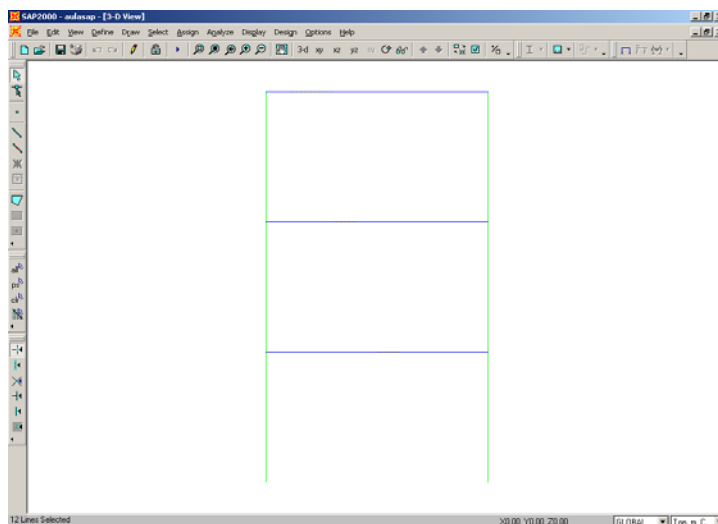
Assign → Frame / Cable → Sections

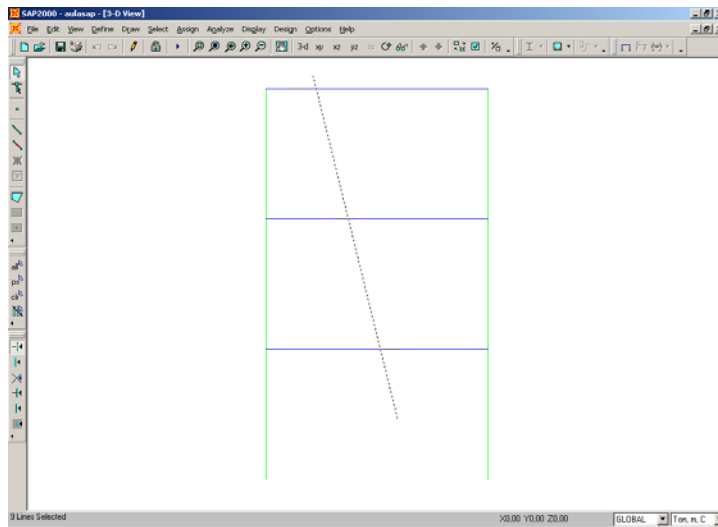


View → Set 3D View...



Na janela anterior, selecionar o plano “yz” e em “Aperture”, colocar 0 (zero).

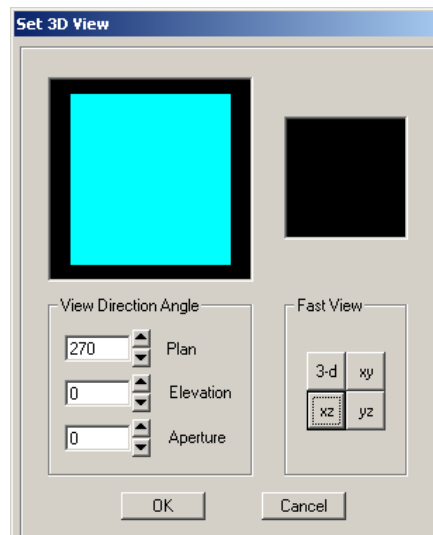




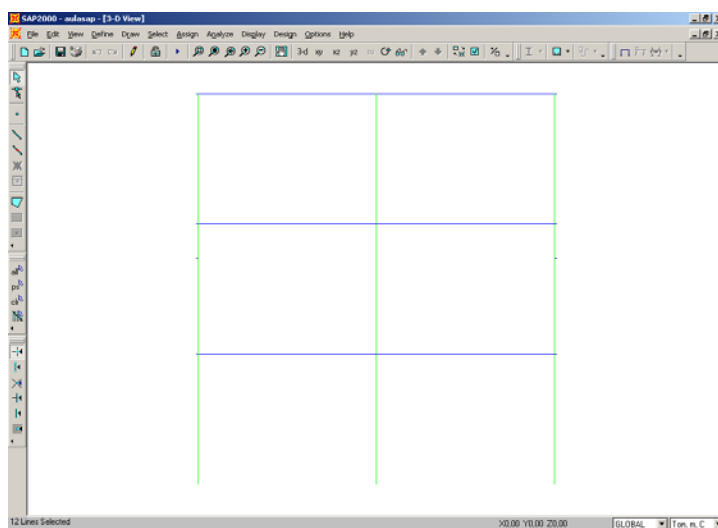
Dessa forma, todas as vigas transversais serão seleccionadas.

Para as vigas longitudinais :

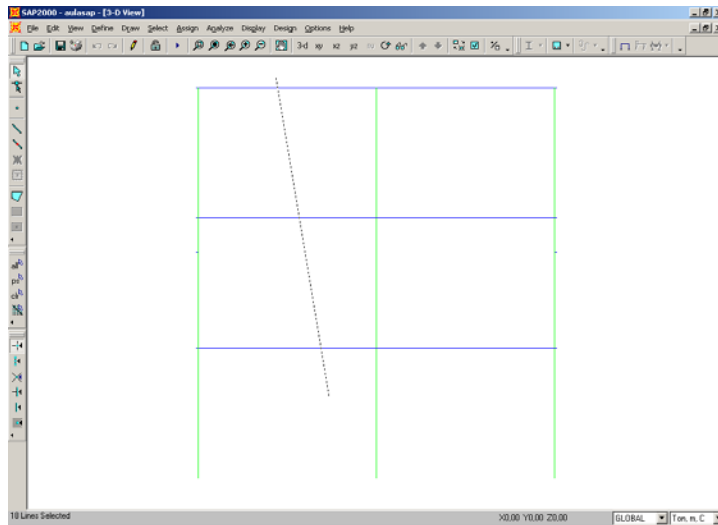
View → Set 3D View...



Na janela anterior, seleccionar o plano “xz” e em “Aperture”, colocar 0 (zero).



Selecionar  e “arrastar” sobre os três pavimentos, como a figura a seguir.



Dessa forma, todas as vigas longitudinais serão selecionadas.

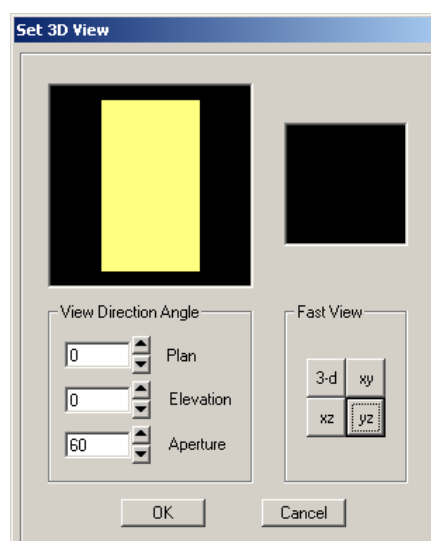
b) Pilares

Há 4 pilares de 20/30 e 2 pilares de 20/50.

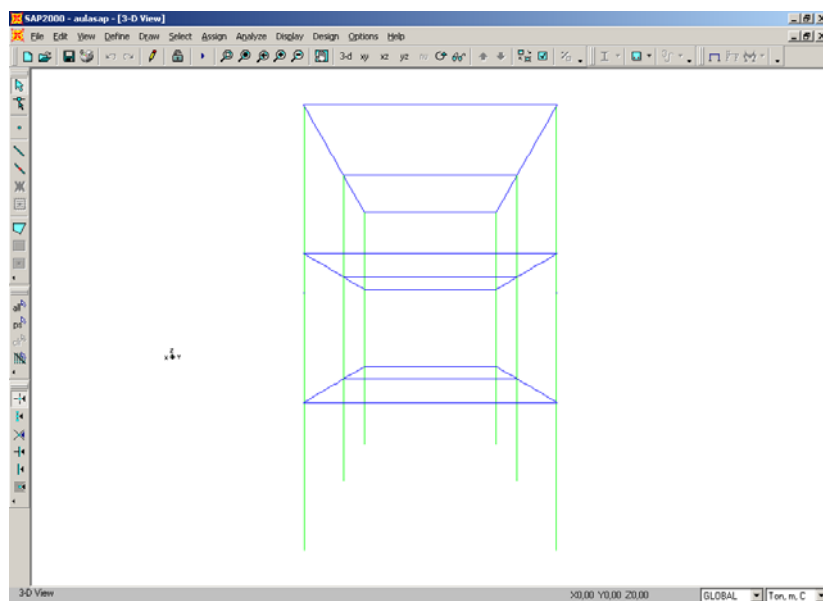
b.1 – Pilares de 20/30

Selecione as barras que devem ter seção 20/30 (ver fôrmas – capítulo 1, item b.1)

View → Set 3D View...

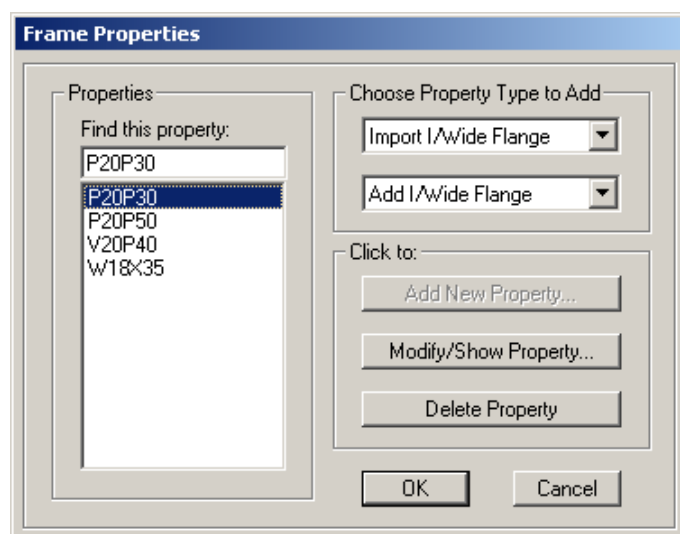


Na janela anterior, selecionar o plano “xz”.



Selecionar os pilares desejados.

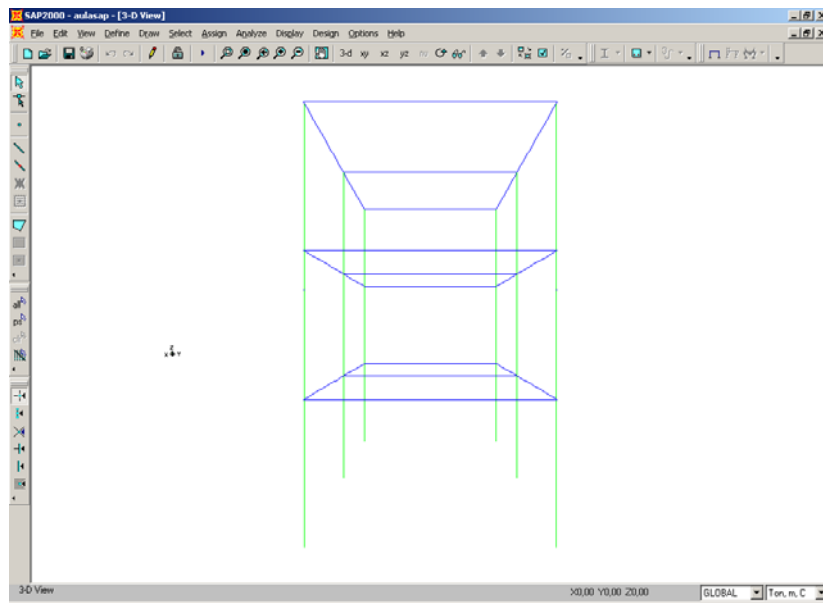
Assign → Frame / Cable → Sections



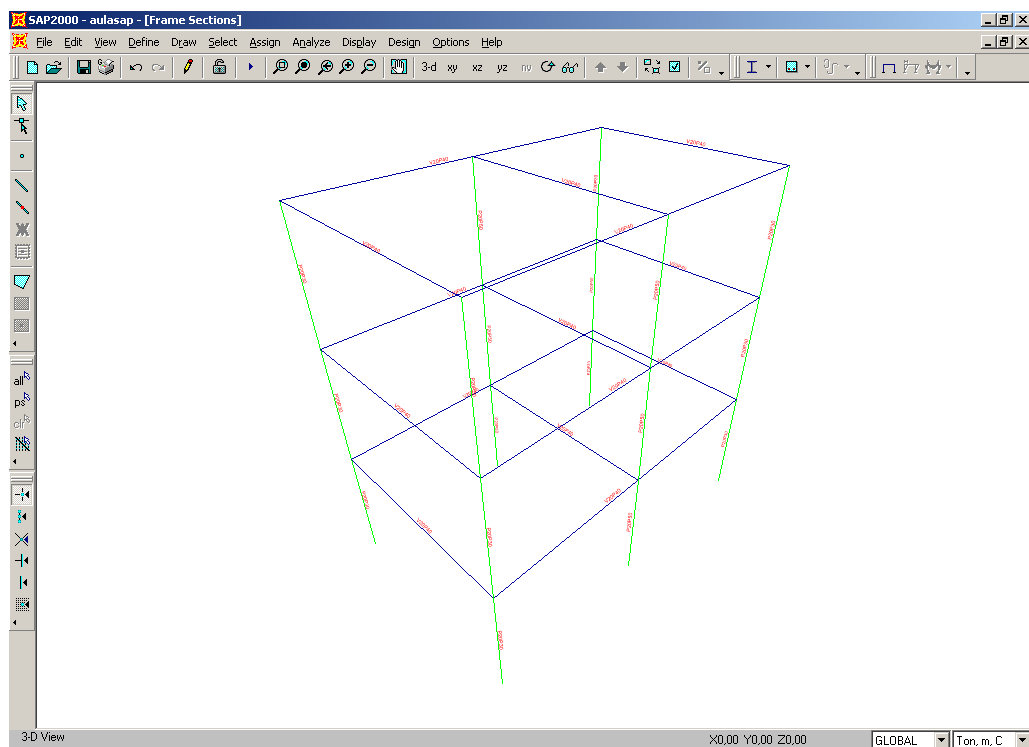
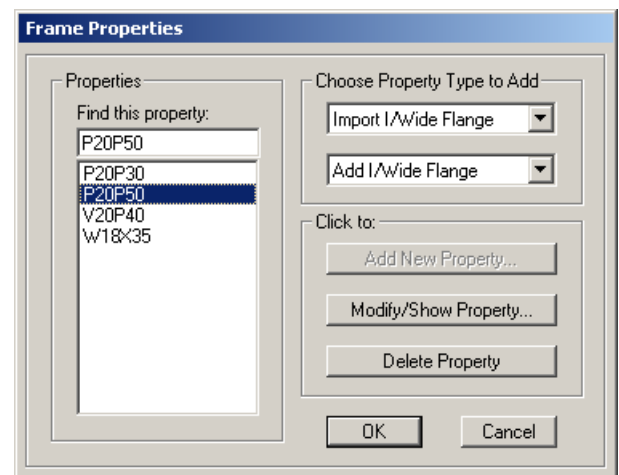
b.2 – Pilares de 20/50

Selecione as barras que devem ter seção 20/50 (ver fôrmas)

Repetir o mesmo procedimento de seleção dos pilares de 20/30.

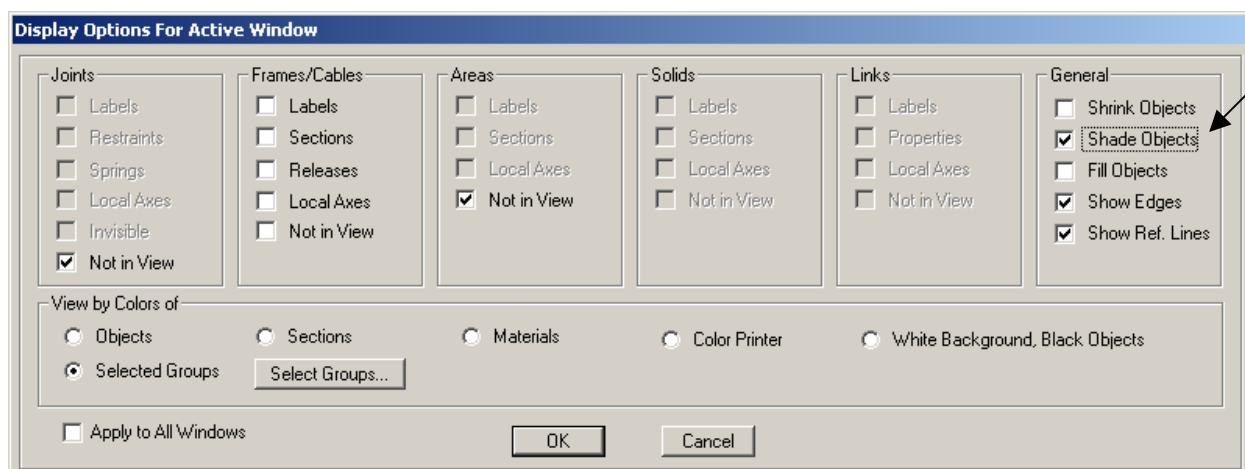


Assign → Frame / Cable → Sections

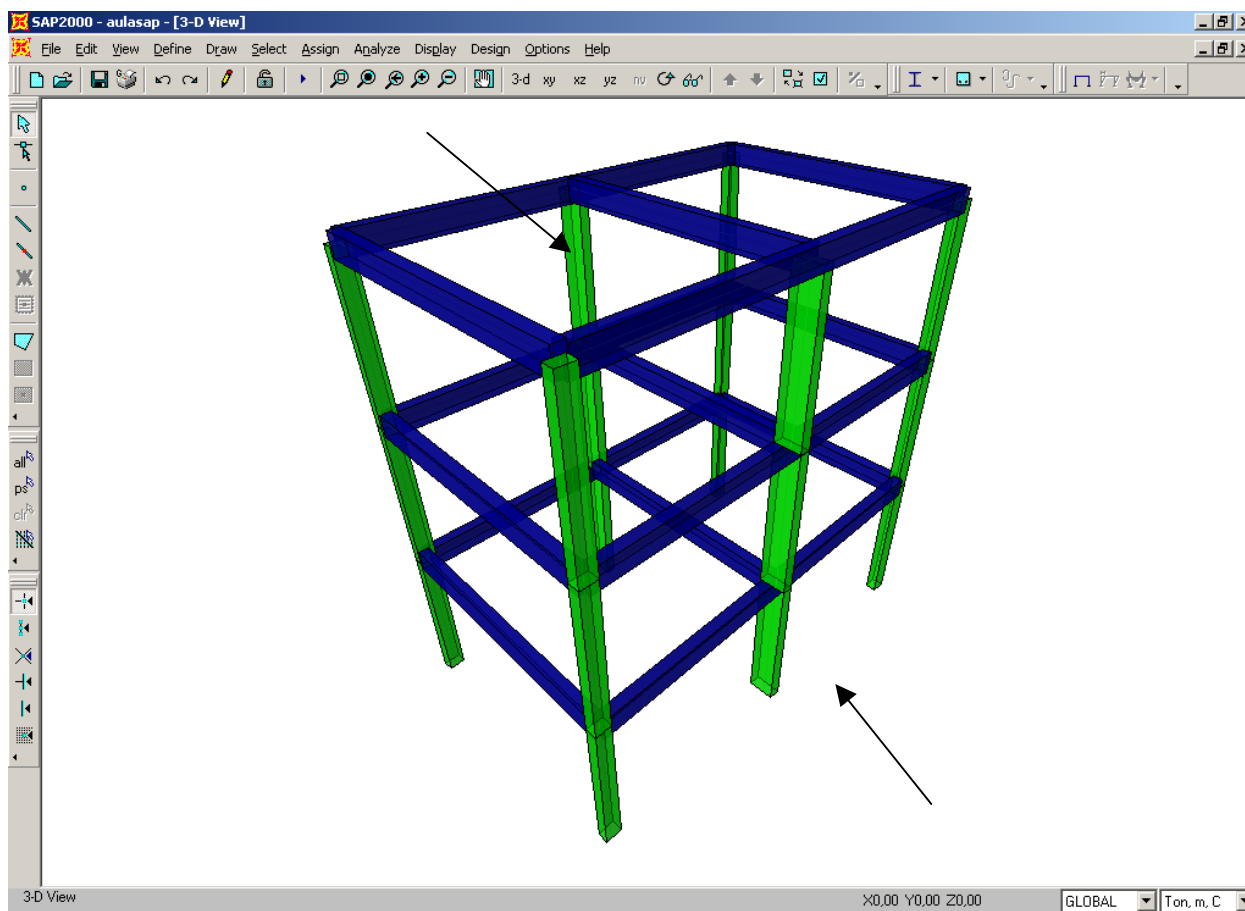


Após definir as seções das barras, devemos verificar se a seção está com a orientação correta, ou seja, se as dimensões do SAP são as especificadas no desenho das fôrmas.

View → Set Display Options

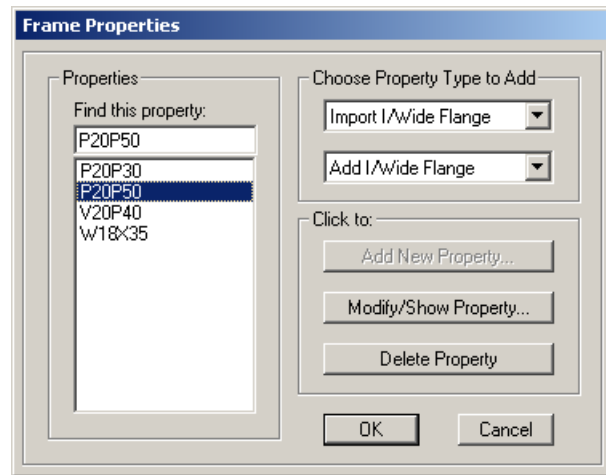


Em “General”, selecionar “Shade Objects” para que apareçam as extrusões dos elementos.

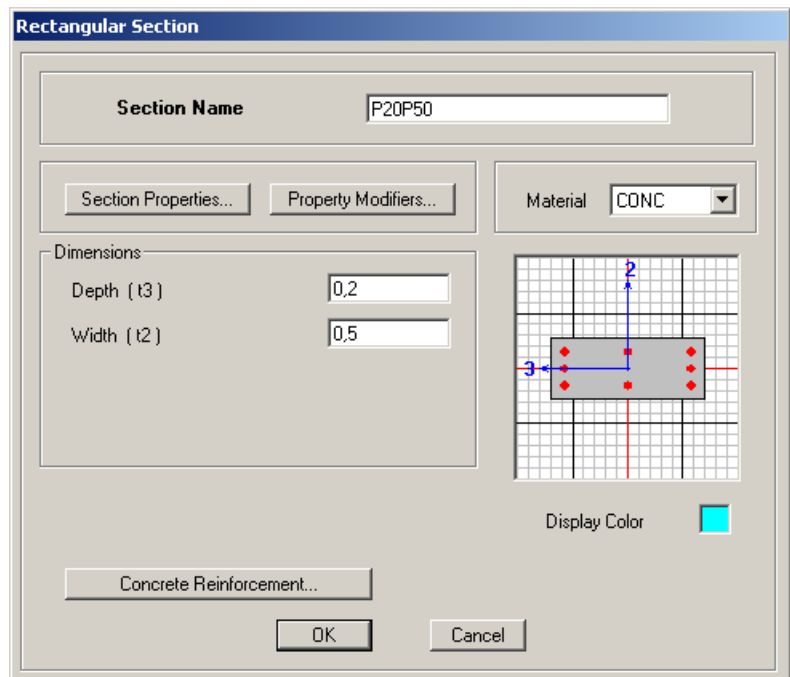


Podemos verificar que os pilares de 20/50 estão com a seção contrária ao especificado nas fôrmas, portanto temos que alterar a seção.

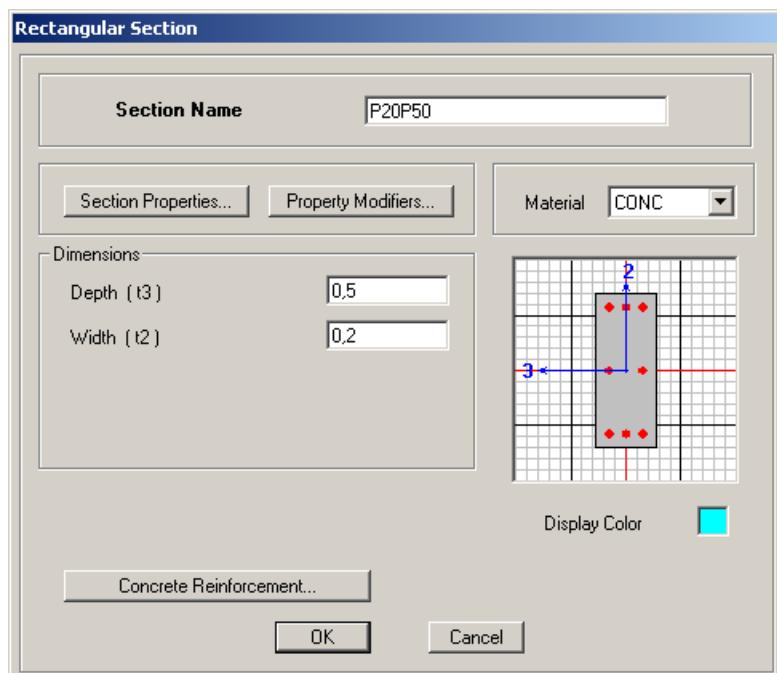
Define → Frame / Cable Sections

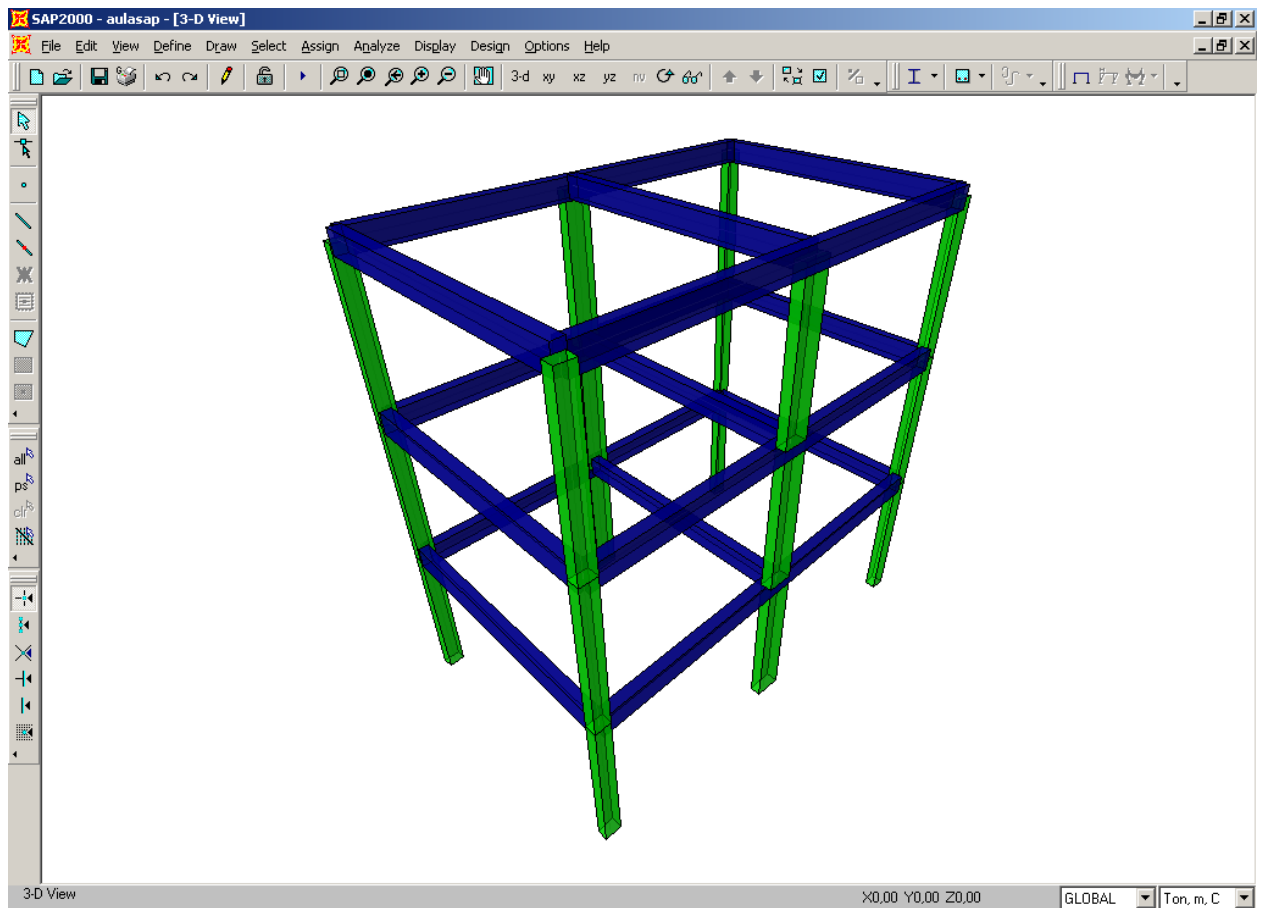


Modify / Show Property



Inverter os valores em “Depth” e “Width”



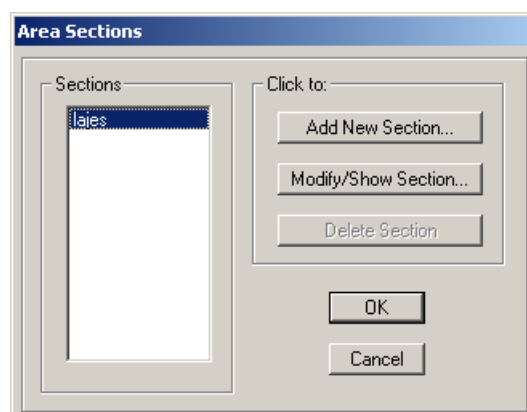


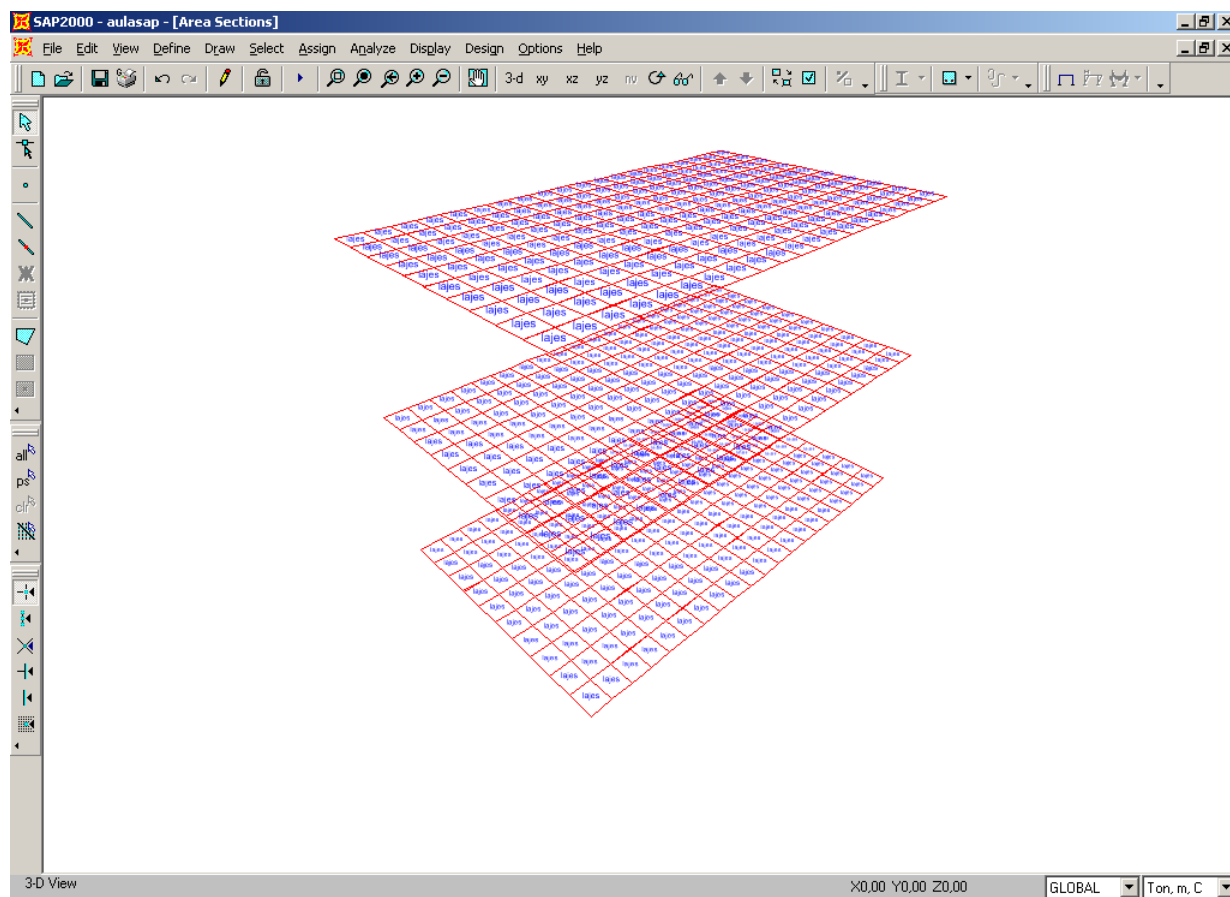
Agora todos os elementos estão corretos.

c) Lajes

Todas as lajes no exemplo são iguais, portanto selecione todas elas.

Assign → Area → Sections





5- Criar as “Lajes de seda” (artifício inventado pelo Prof. Flávio de O. Costa e pelo Eng. Edvaldo Costa)

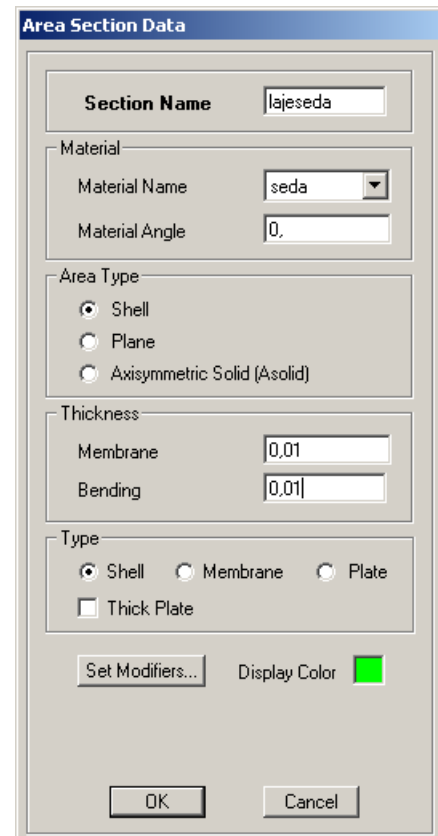
São lajes com espessura muito pequena, sem função estrutural, que servem apenas para distribuir a pressão do vento.

Essas lajes podem ser desenhadas no Autocad e depois exportadas para o SAP, como as lajes dos pavimentos (mais fácil), mas nesse exemplo elas serão desenhadas diretamente no SAP para mostrar a ferramenta do programa para a criação de *shells*.

O material (seda) dessas lajes já foi definido anteriormente (ver capítulo 3, item 3.1).

a) Definir a seção

Define → Area sections → Add New Section

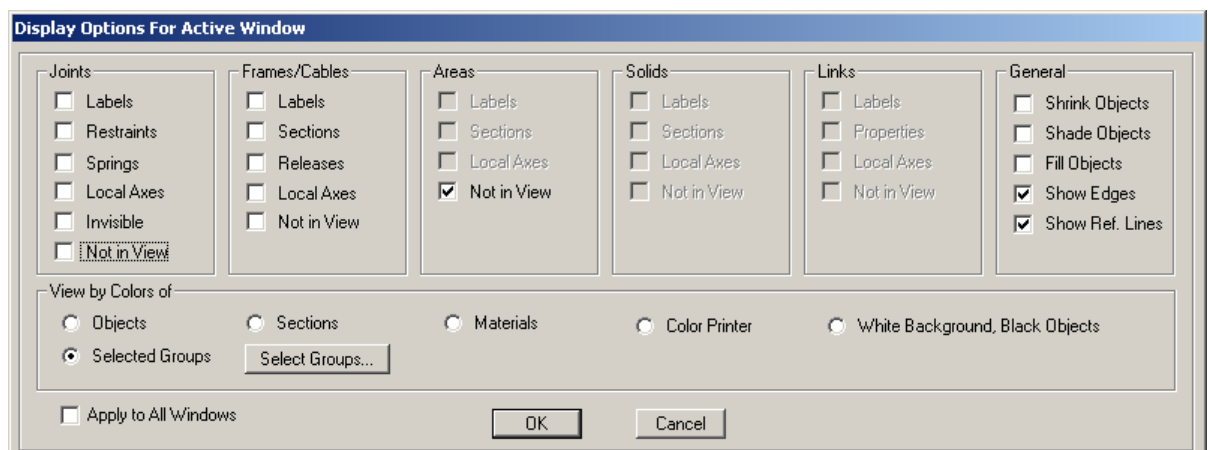


The 'Area Section Data' dialog box is used to define a new section. It contains the following fields and options:

- Section Name:** Text field containing 'lajeseda'.
- Material:**
 - Material Name:** Dropdown menu showing 'seda'.
 - Material Angle:** Text field containing '0'.
- Area Type:** Radio buttons for 'Shell' (selected), 'Plane', and 'Axisymmetric Solid (Asolid)'.
- Thickness:**
 - Membrane:** Text field containing '0,01'.
 - Bending:** Text field containing '0,01'.
- Type:** Radio buttons for 'Shell' (selected), 'Membrane', and 'Plate'. A checkbox for 'Thick Plate' is also present.
- Buttons:** 'Set Modifiers...', 'Display Color' (with a green color swatch), 'OK', and 'Cancel'.

b) Desenhar as lajes

Acionar  e deixar os nós da estrutura visíveis

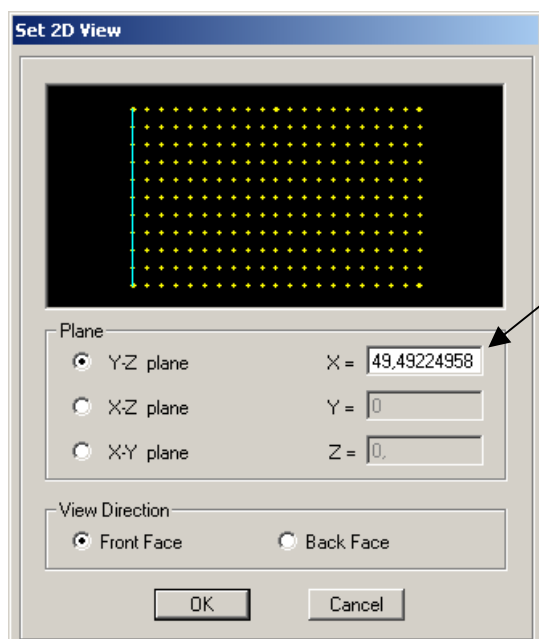


The 'Display Options For Active Window' dialog box allows users to configure the display of various elements in the software. It includes the following sections:

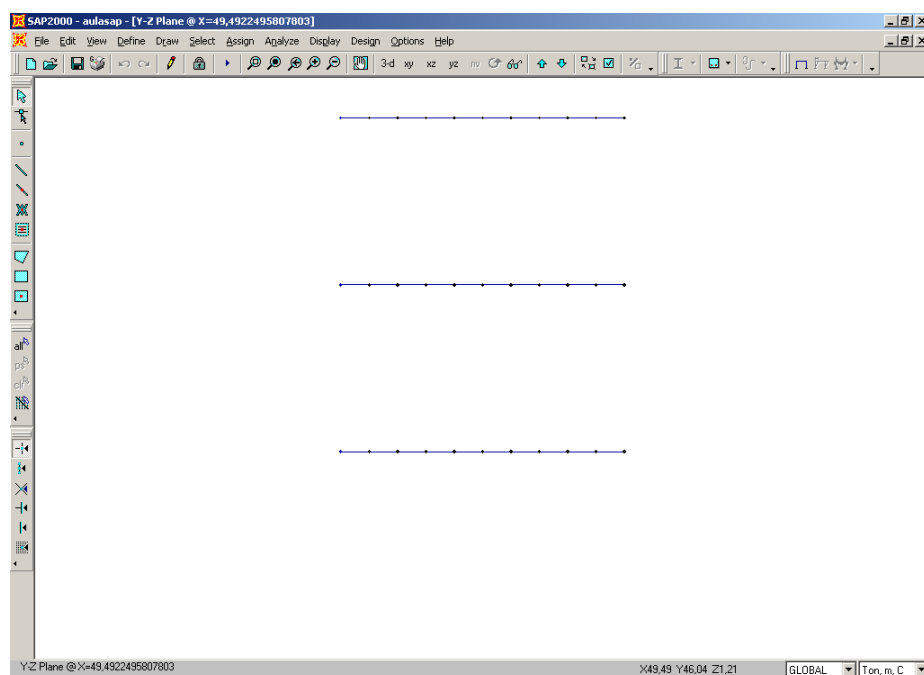
- Joints:** Checkboxes for Labels, Restraints, Springs, Local Axes, Invisible, and 'Not in View'.
- Frames/Cables:** Checkboxes for Labels, Sections, Releases, Local Axes, and 'Not in View'.
- Areas:** Checkboxes for Labels, Sections, Local Axes, and 'Not in View' (checked).
- Solids:** Checkboxes for Labels, Sections, Local Axes, and 'Not in View'.
- Links:** Checkboxes for Labels, Properties, Local Axes, and 'Not in View'.
- General:** Checkboxes for Shrink Objects, Shade Objects, Fill Objects, Show Edges (checked), and Show Ref. Lines (checked).
- View by Colors of:** Radio buttons for Objects, Sections, Materials, Color Printer, and White Background, Black Objects. A 'Selected Groups' radio button is also present with a 'Select Groups...' button.
- Buttons:** 'Apply to All Windows', 'OK', and 'Cancel'.

Para facilitar o desenho das lajes, ao invés de mostrar a estrutura espacialmente, é preferível mostrar os planos:

View → Set 2D View...



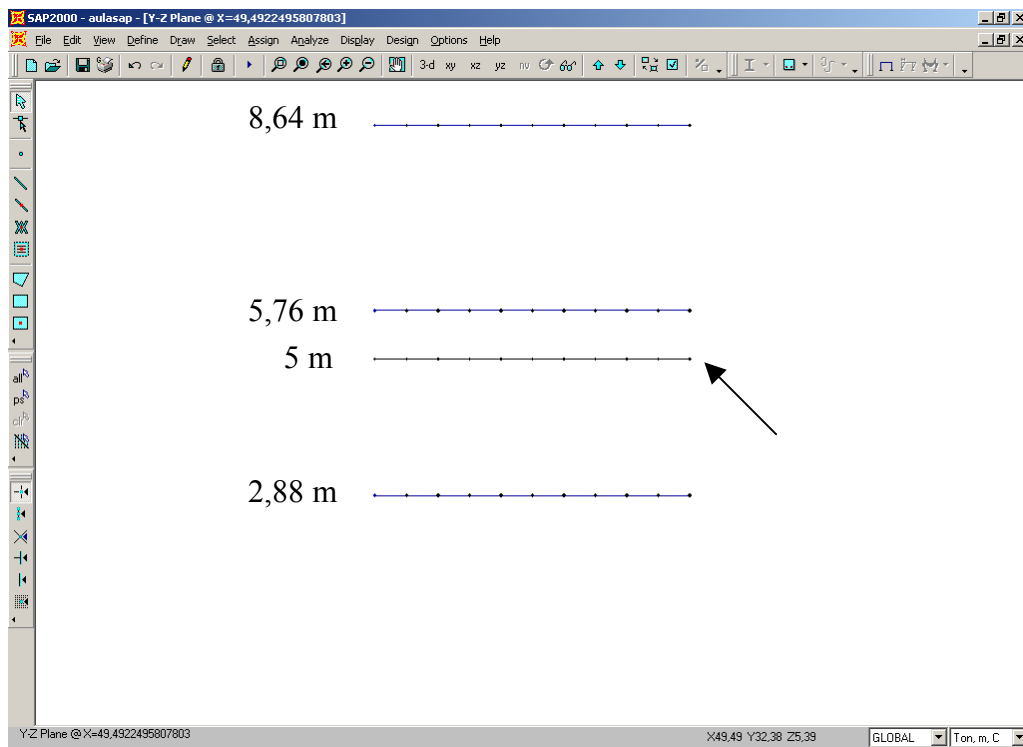
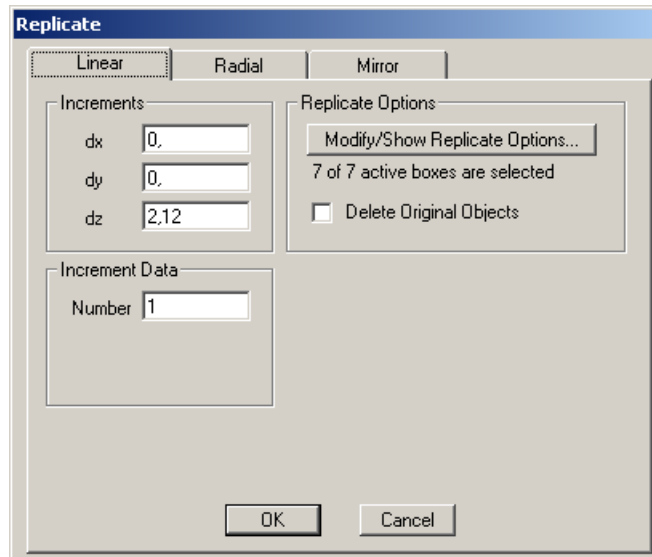
O valor de x vai depender da posição da estrutura no SAP; o importante é seleccionar o plano correto.



O valor da pressão do vento varia a cada 5 m de altura, portanto temos que desenhar vigas de apoio quando atingirmos 5 m, 10 m e assim por diante. Lembrar de apagar essas vigas ao término do desenho das *shells*.

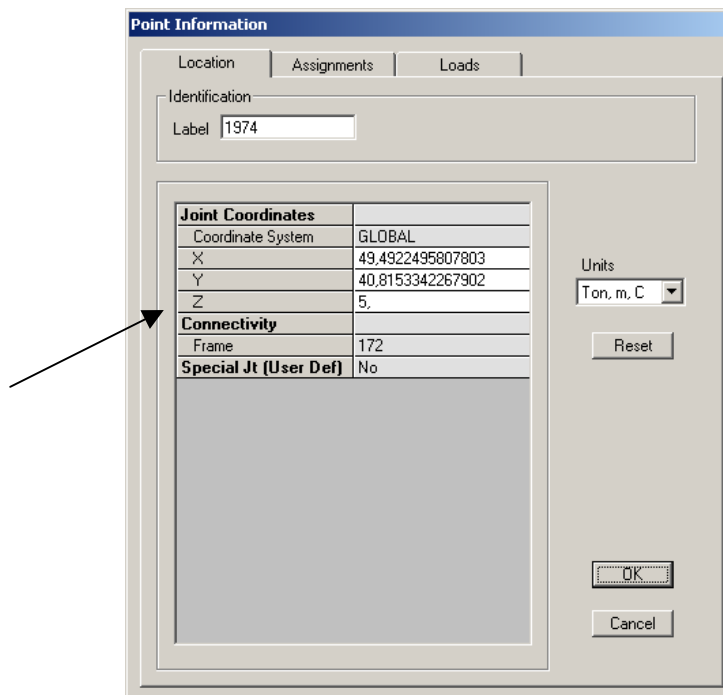
Selecionar a barra do 1º pavimento, que está a 2,88m de altura (faltam 2,12 m para atingir 5 m) e copiá-la:

Edit → Replicate



A barra indicada pela seta está a 5 m de altura (as alturas não ficam indicadas na tela do SAP, a figura é ilustrativa).

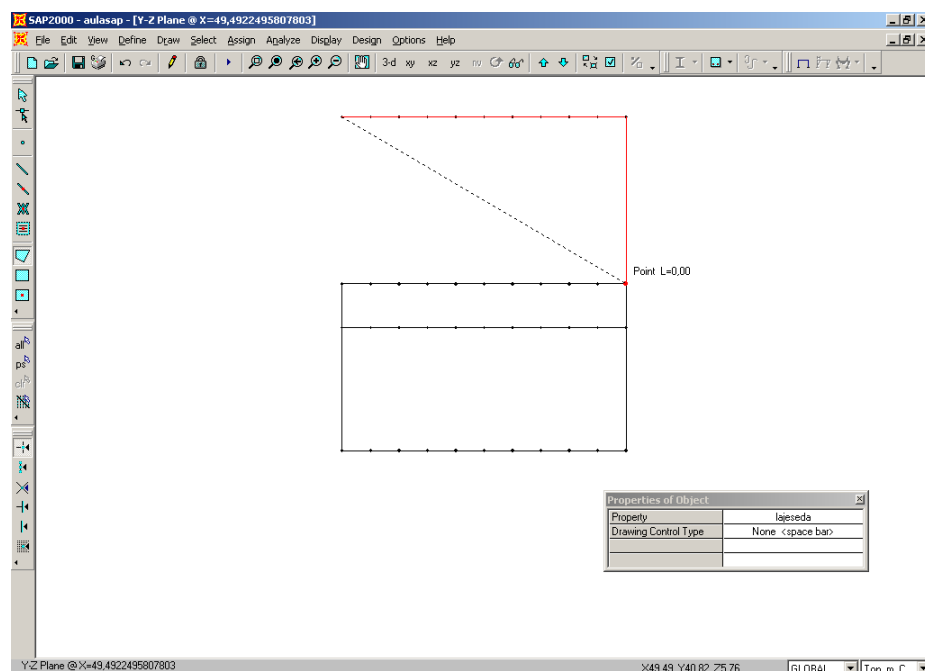
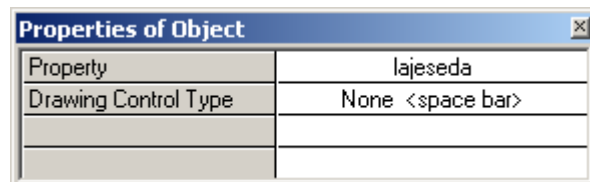
Para saber se a altura da viga de apoio está correta (suas coordenadas), basta aproximar a seta de um de seus nós, apertar o botão direito do *mouse* e verificar a coordenada z.

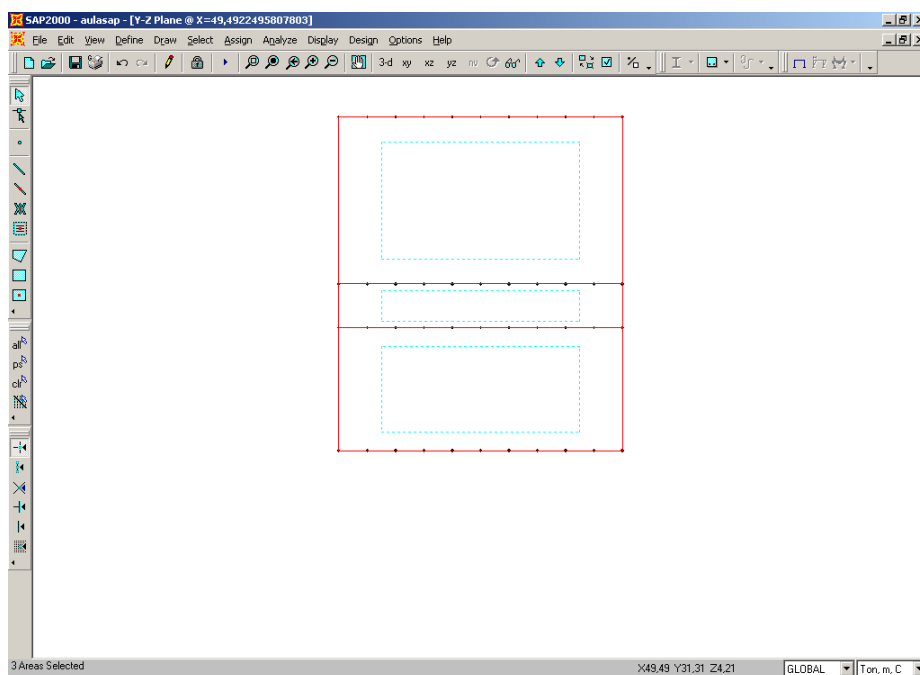


O último pavimento da estrutura está a 8,64 m < 10 m, portanto não será necessário desenhar mais vigas de apoio.

Desenhar as “lajes de seda”:

Draw → Draw Quad Area

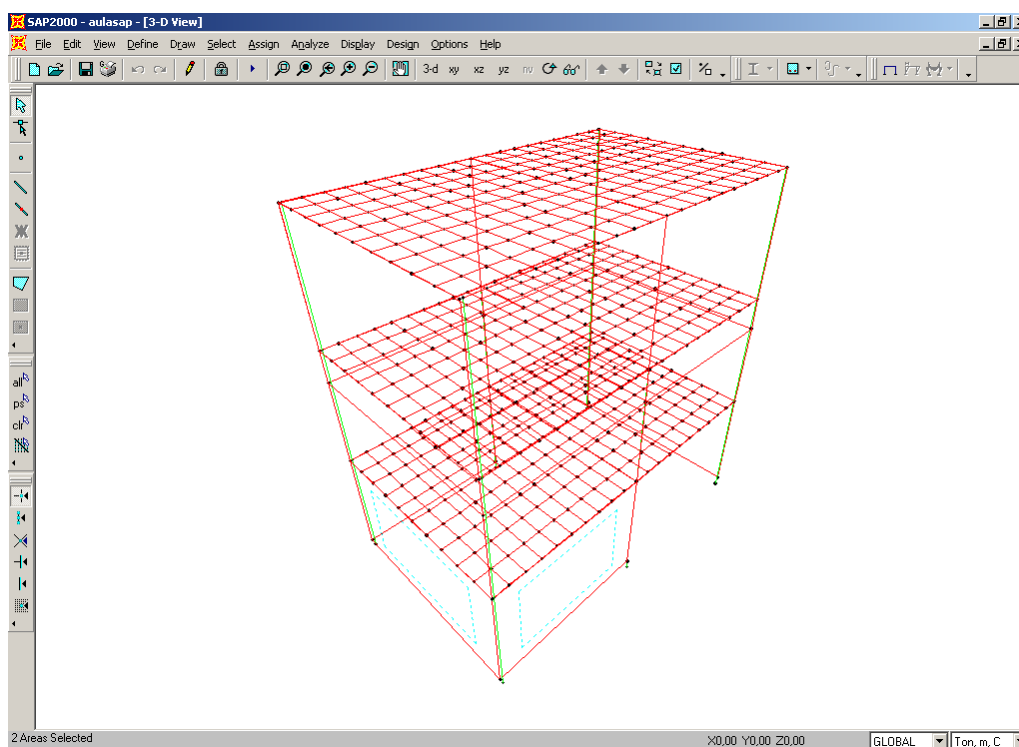




Repetir a operação para as quatro faces da estrutura.

No térreo, só haverá *shells* se houver paredes (fechamento), o que não ocorrerá nesse exemplo.

Se houver fechamento no térreo, deve-se lembrar que o vento não atinge os pontos próximos ao solo, portanto as *shells* não atingirão os pontos de $z = 0$. As *shells* iniciarão, por exemplo, a 20 cm do solo ($z = 0,2$ m).

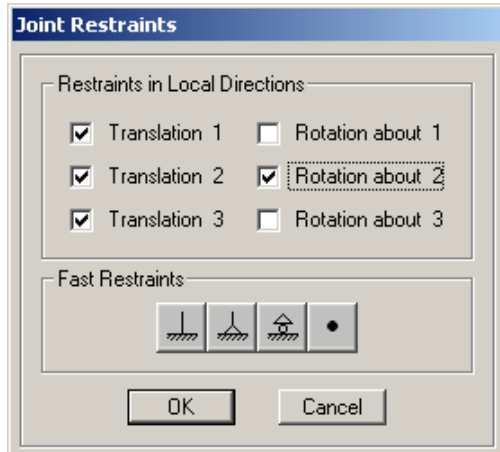


6- Restrições dos nós

a) Selecionar os nós

No exemplo, apenas os nós situados em $z = 0$ (fundações) terão restrições.

Assign → Joint → Restraints



Impedir o deslocamento na direção x $\Rightarrow$ Translation 1

Impedir o deslocamento na direção y $\Rightarrow$ Translation 2

Impedir o deslocamento na direção z $\Rightarrow$ Translation 3

Impedir a rotação na direção do eixo x $\Rightarrow$ Rotation about 1

Impedir a rotação na direção do eixo y $\Rightarrow$ Rotation about 2

Impedir a rotação na direção do eixo z $\Rightarrow$ Rotation about 3



engaste $\Rightarrow$ todas as opções estão selecionadas



apoio fixo $\Rightarrow$ selecionadas apenas as opções Translation 1, 2 e 3

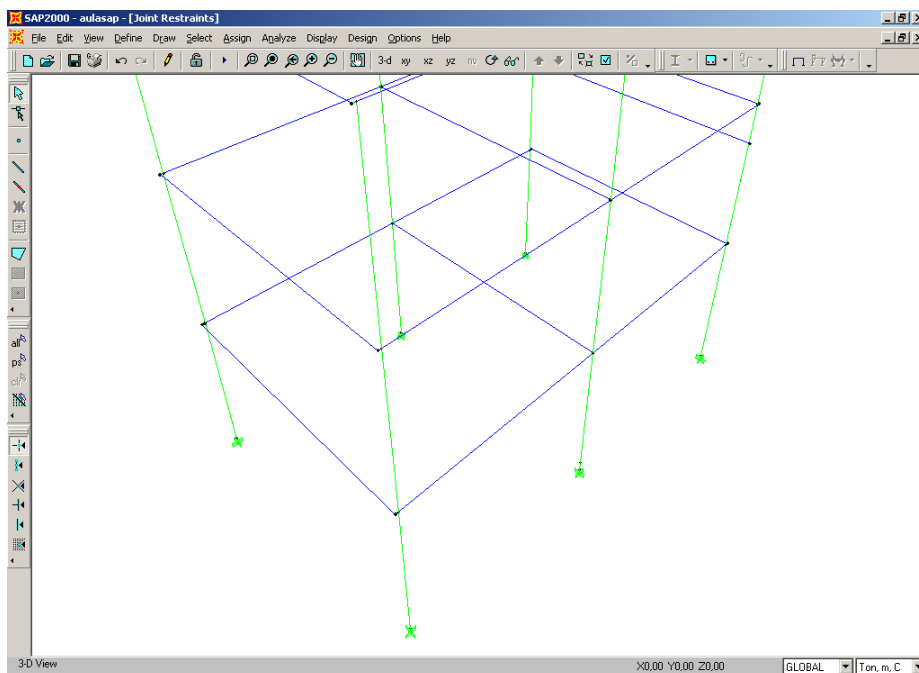


apoio móvel $\Rightarrow$ selecionada apenas a opção Translation 3



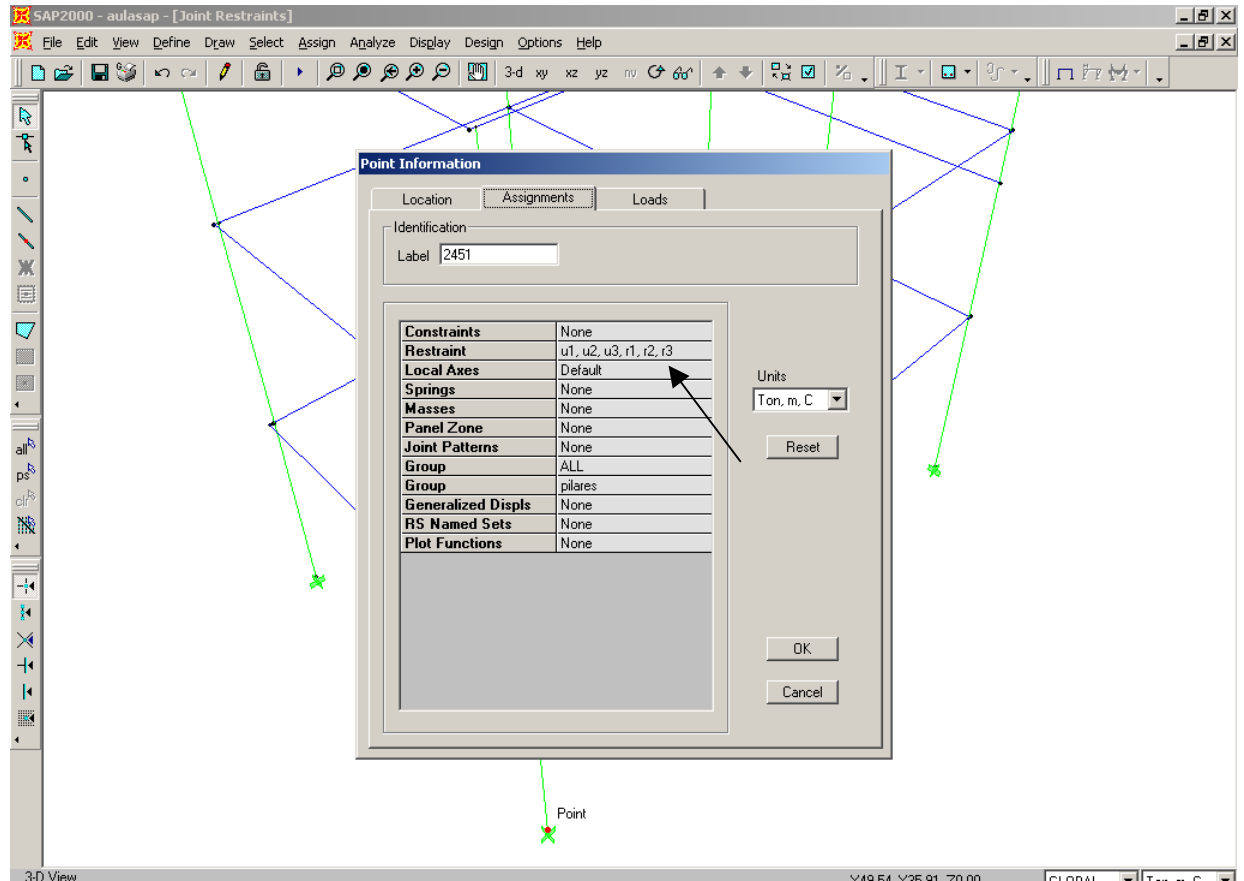
nó livre $\Rightarrow$ nenhuma opção selecionada

No exemplo, não há vigas de fundação, blocos; como as fundações são desconhecidas, optou-se por engastar todos os nós das fundações.



b) Verificar as restrições dos nós

Para verificar as restrições dos nós, apertar o botão direito do *mouse* num dos nós e em *Assignments*, ver *Restraints*, que indicará todos os deslocamentos e os giros impedidos (u_1 , u_2 , u_3 , r_1 , r_2 , r_3).

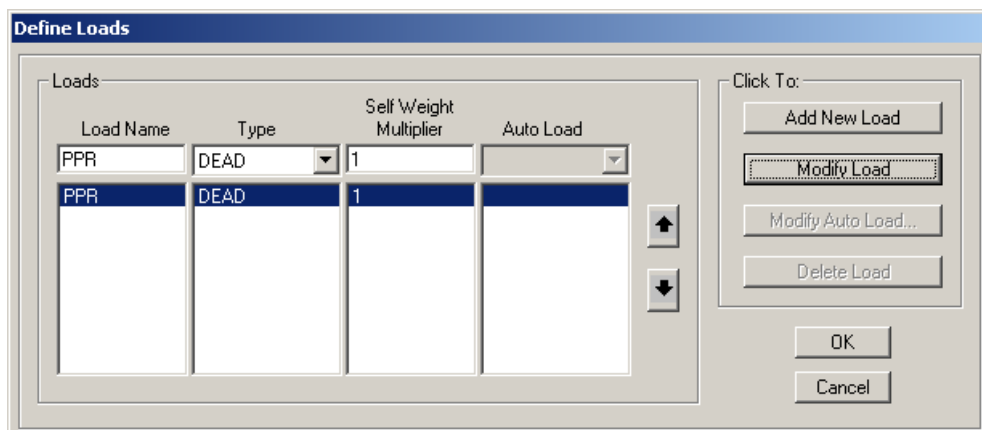


7- Cargas aplicadas nas vigas

7.1- Peso próprio

O peso próprio é considerado automaticamente pelo SAP, pois fornecemos a seção transversal e o comprimento das vigas e pilares, e a espessura e as dimensões das lajes.

Define → Load Cases → Load Name (pode ser modificado) → Modify Load

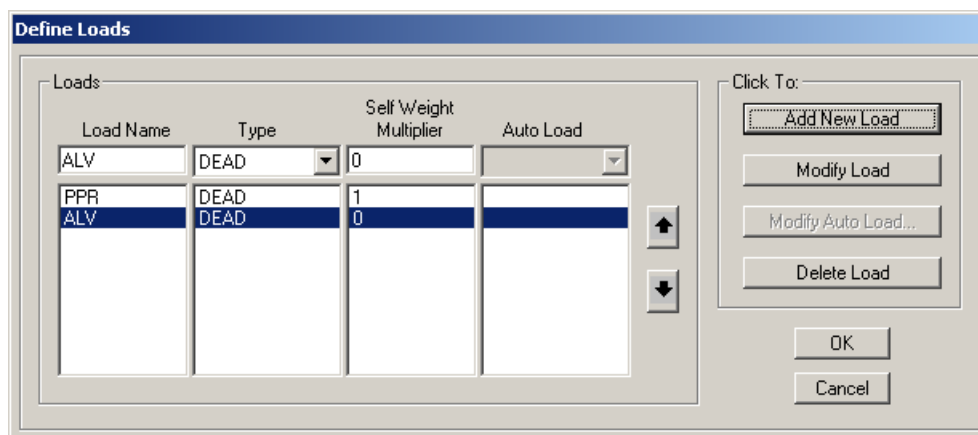


7.2- Alvenaria

A carga das alvenarias de vedação são cargas distribuídas, aplicadas sobre as vigas.

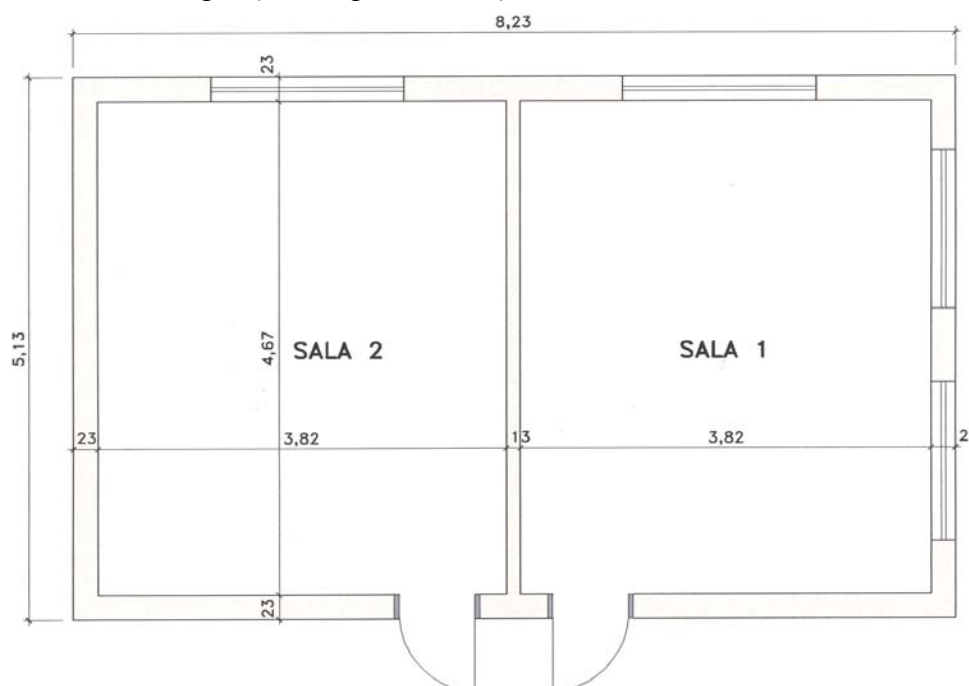
a) Definição da carga (1º e 2º pavimentos)

Define → Load Cases → Add New Load



Para que o peso próprio não seja somado mais de uma vez, o multiplicador deverá ser 0 (zero) para as demais cargas.

b) Cálculo das cargas (1º e 2º pavimentos)



Os vãos de portas e janelas não são descontados no cálculo da carga alvenaria de vedação.

Paredes de 23 cm: $alv = 0,23 \times 2,48 \times 1,5 = 0,85^6 \text{ t/m}$

Paredes de 13 cm: $alv = 0,13 \times 2,48 \times 1,5 = 0,48^4 \text{ t/m}$

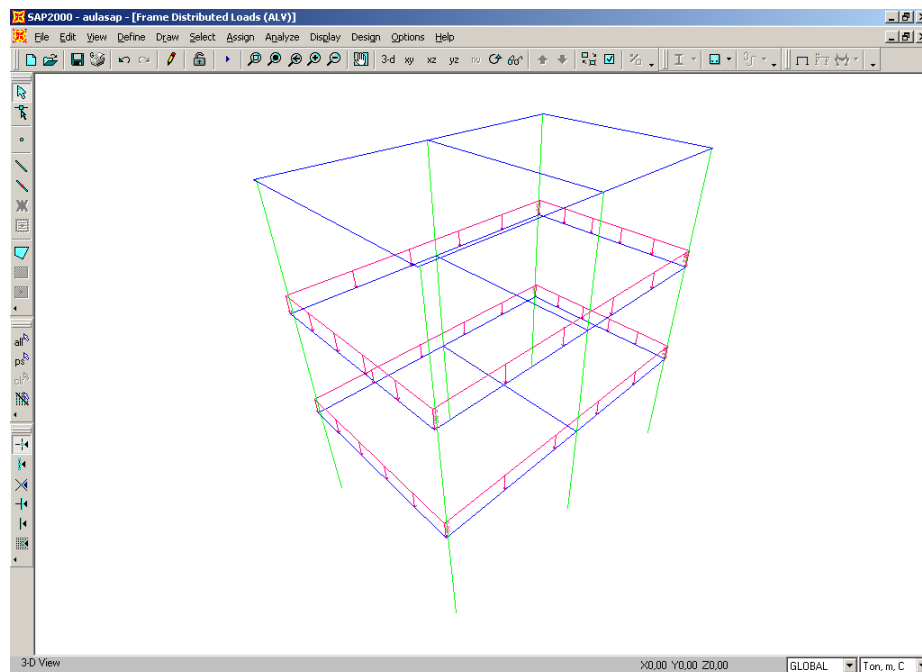
c) Aplicação das cargas (1º e 2º pavimentos)

Selecionar as vigas sob as paredes de 23 cm.

Assign → Frame / Cable Loads → Distributed...

Trapezoidal Loads				
	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0,25	0,75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

Uniform Load: Load = -0.856

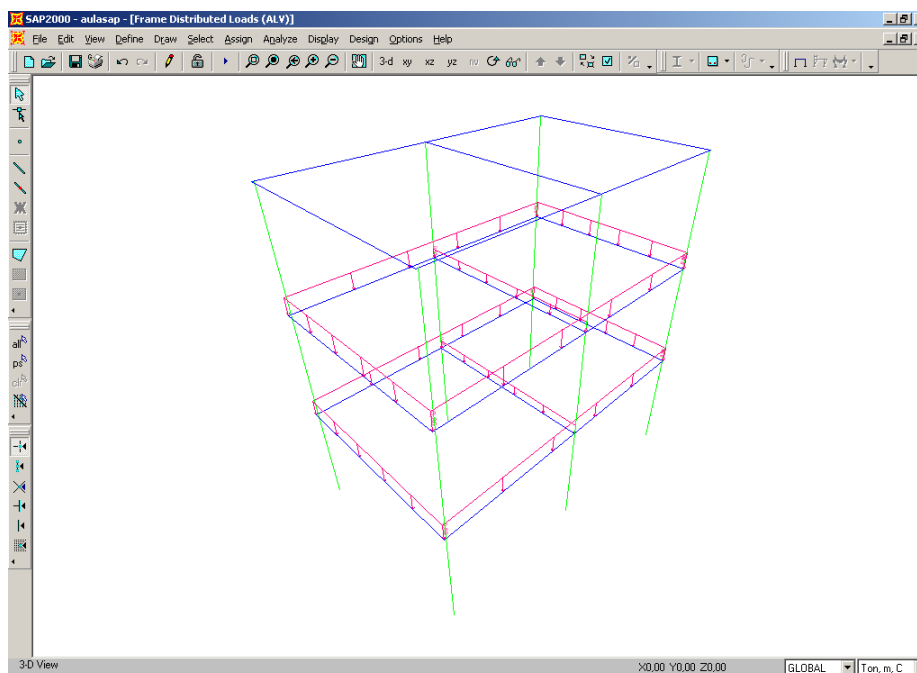


Selecionar as vigas sob as paredes de 13 cm.

Assign → Frame / Cable Loads → Distributed...

Trapezoidal Loads				
	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0,25	0,75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

Uniform Load: Load = -0.484

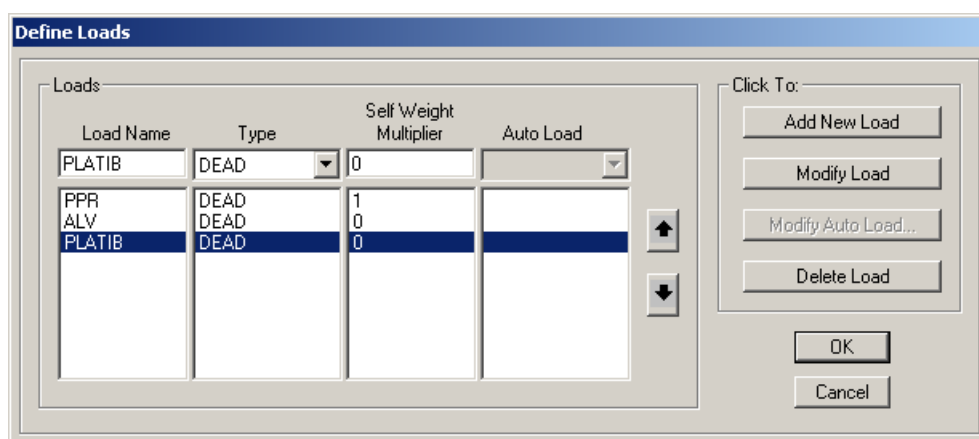


7.3 - Platibanda

Nas vigas da cobertura, a carga é proveniente de uma platibanda de 1,00 m de altura, aplicada nas vigas do perímetro.

a) Definição da carga (cobertura)

Define → Load Cases → Add New Load



b) Cálculo da carga (cobertura)

$$\text{platib} = 0,13 \times 1,00 \times 1,5 = 0,195 \text{ t/m}$$

c) Aplicação da carga (cobertura)

Selecionar as vigas do perímetro.

Assign → Frame / Cable Loads → Distributed...

Frame Distributed Loads

Load Case Name: **PLATIB** Units: **Ton, m, C**

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
 Coord Sys: **GLOBAL**
 Direction: **Z**

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

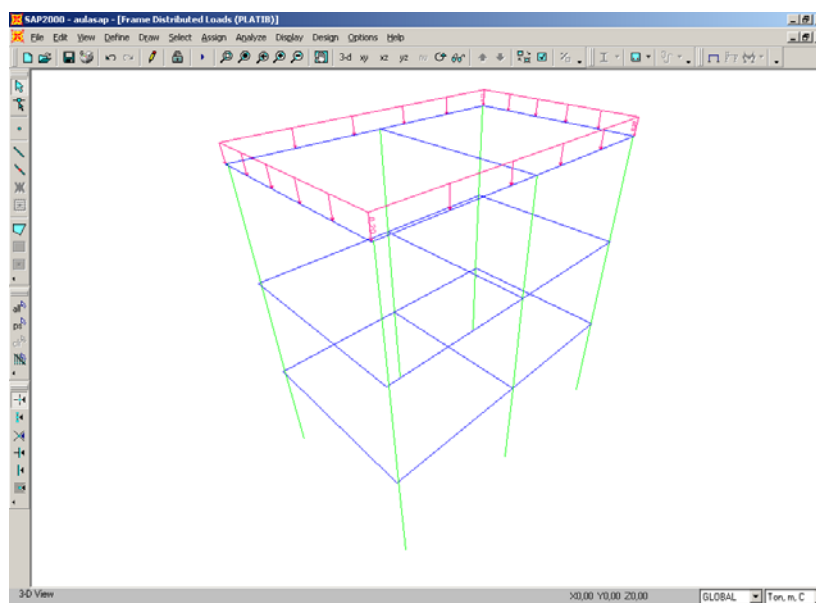
Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load:
 Load: **-0.195**

OK **Cancel**



Para mostrar qualquer carga aplicada nas vigas:

Display → Load Assigns → Frame / Cable...

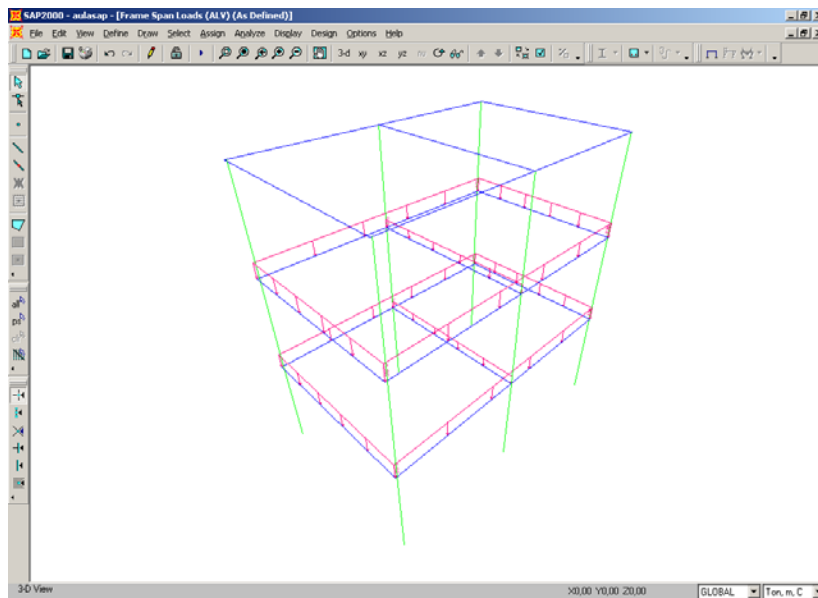
Show Frame Loads

Load Name: **ALV**

Load Type:
☒ Span Loading (Forces) ☐ Temperature Gradient 3-3 Contours
 Coord System: **None, (display as defn)** ☐ Temperature Gradient 3-3 Values
☐ Span Loading (Moments) ☐ Reference Temperature Contours
 Coord System: **None, (display as defn)** ☐ Reference Temperature Values
☐ Gravity Multipliers ☐ Prestress Multipliers
 Coord System: **GLOBAL** ☐ Span Wave Loads
☐ Temperature Contours Load Step:
☐ Temperature Values Coord System: **None, (display as defn)**
☐ Temperature Gradient 2-2 Contours
☐ Temperature Gradient 2-2 Values

☒ Show Joint Loads with Span Loads
☒ Show Span Loading Values

OK **Cancel**



E para as demais cargas, repetir o procedimento.

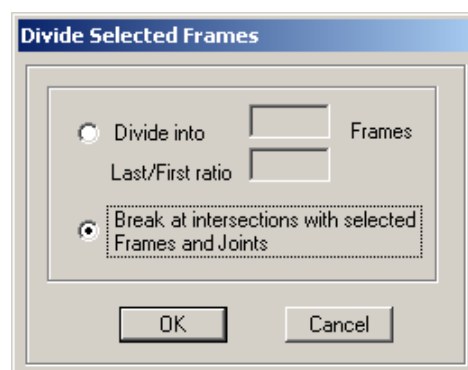
8- Divisão das barras

As lajes estão divididas em uma malha e os eixos dos pilares estão distantes 5 cm do encontro dos eixos das vigas.

Para que os nós da malha e os nós dos pilares transfiram os esforços para as vigas, devemos dividir as barras nos pontos de encontro.

Primeiro, deixar todas as barras e os nós visíveis. Depois seleccionar todas as barras (vigas e pilares) e todos os nós.

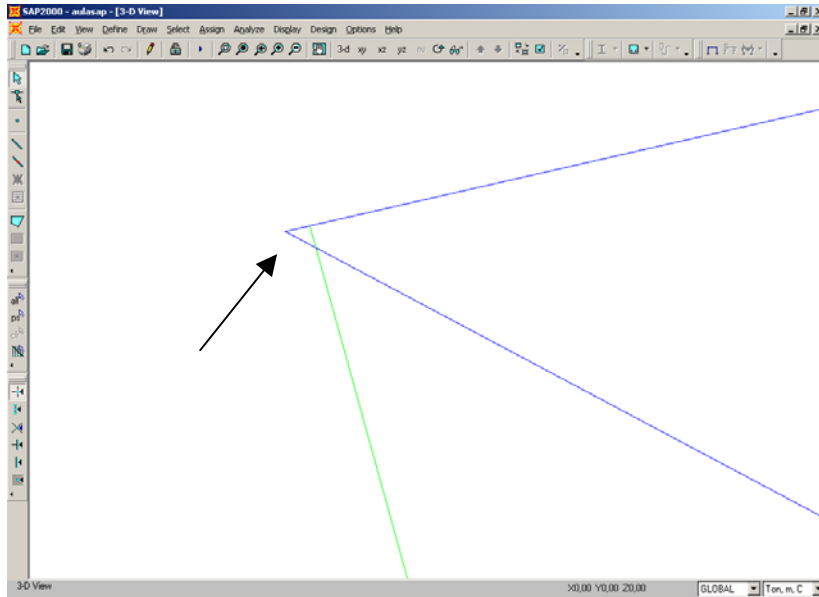
Edit → Divide Frames



Está feita a divisão.

9- Elementos rígidos

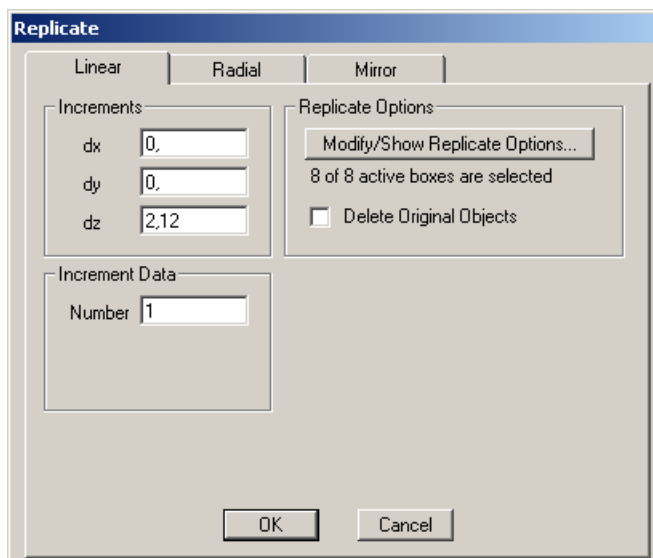
Os eixos dos pilares de canto estão com um deslocamento de 5 cm. Esse trecho deve ser rígido, pois está dentro do pilar.

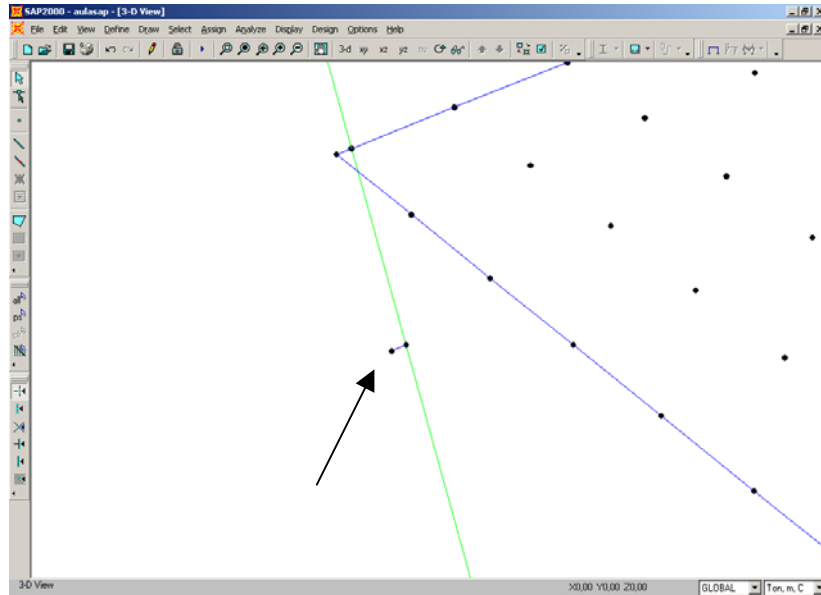


Antes de transformá-los em elementos rígidos, devemos copiar esses trechos de 5 cm para os nós que estão a 5 m de altura (nós das lajes de seda), para que as lajes consigam transmitir os esforços (vento) para a estrutura.

Selecionar os quatro trechos de 5 cm do primeiro pavimento tipo.

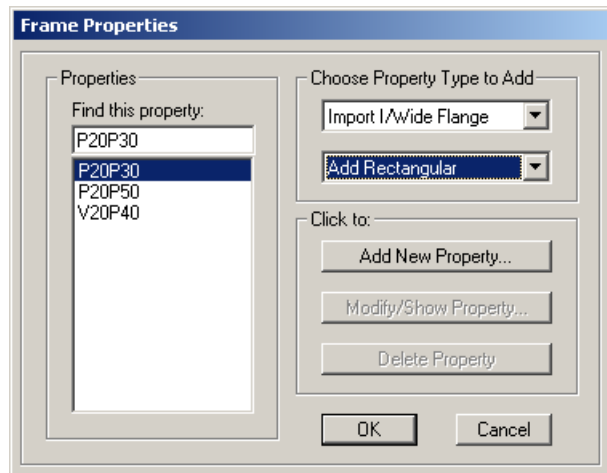
Edit → Replicate...



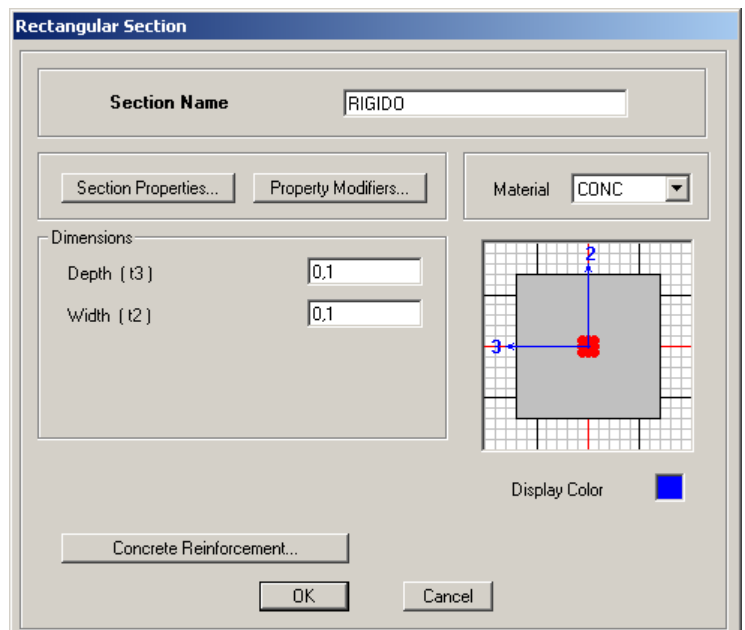


Criar uma seção para os elementos rígidos:

Define → Frame / Cable Sections...

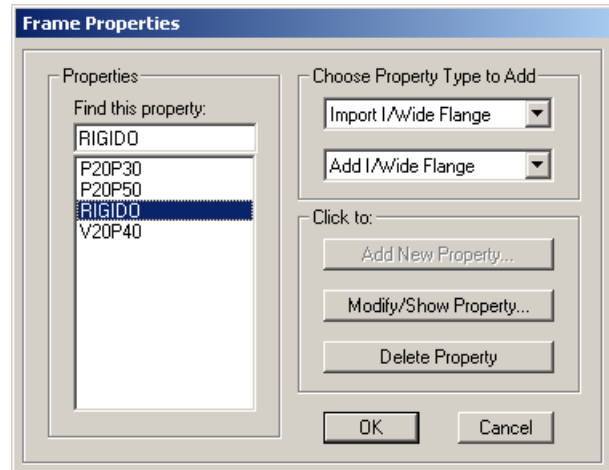


Add Rectangular → Add New Property



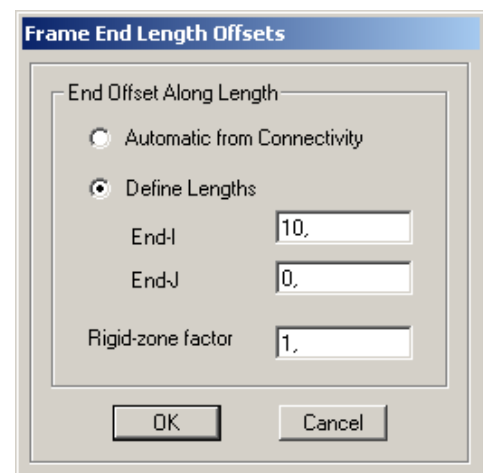
Selecionar todos os trechos de 5 cm.

Assign → Frame / Cable → Sections...



Selecione todos os trechos novamente →  , para torná-los rígidos.

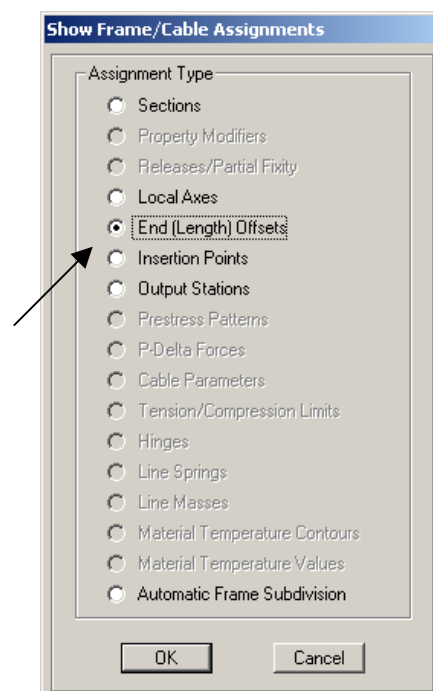
Assign → Frame / Cable → End (Length) Offsets...

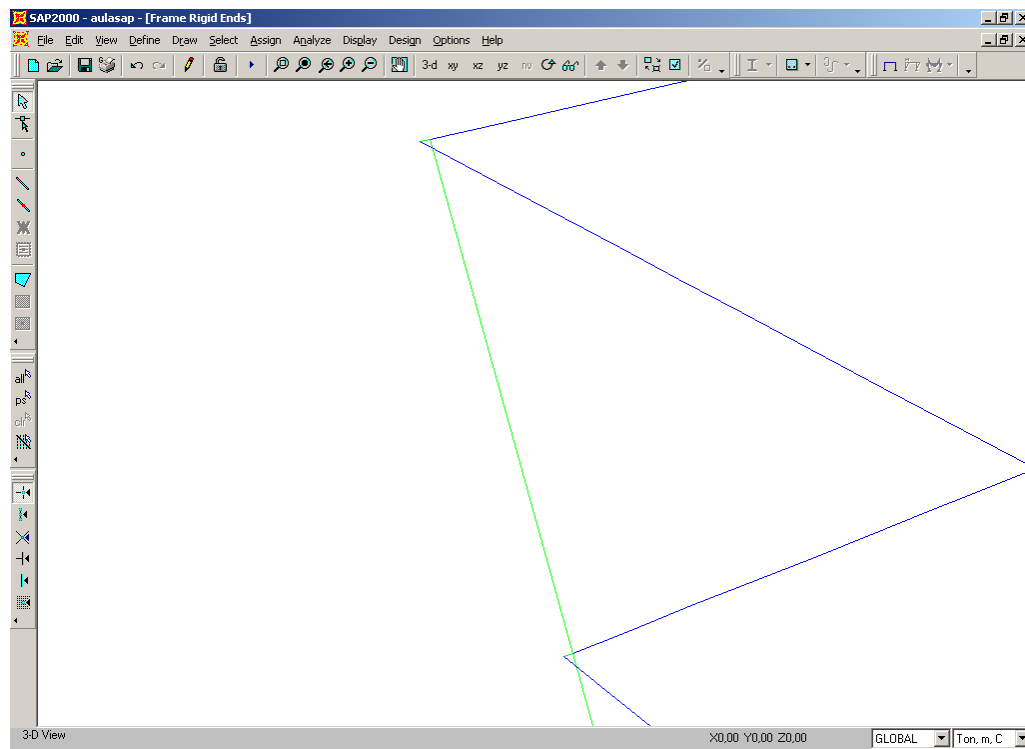


O comprimento pode ser qualquer um, desde que maior do que 5 cm. O fator de rigidez é 1,0.

Para mostrar os trechos rígidos:

Display → Misc Assigns → Frame / Cable

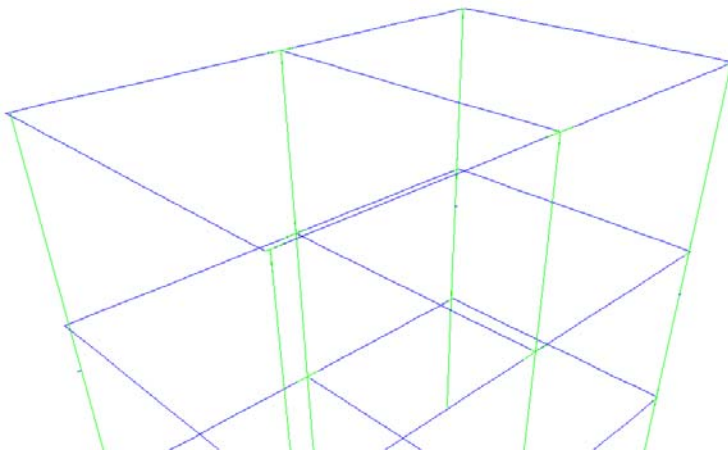
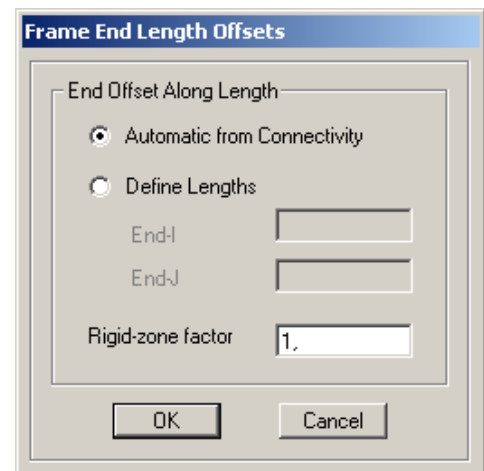




Os trechos rígidos ficam com uma cor diferente das barras (a mesma cor do texto).

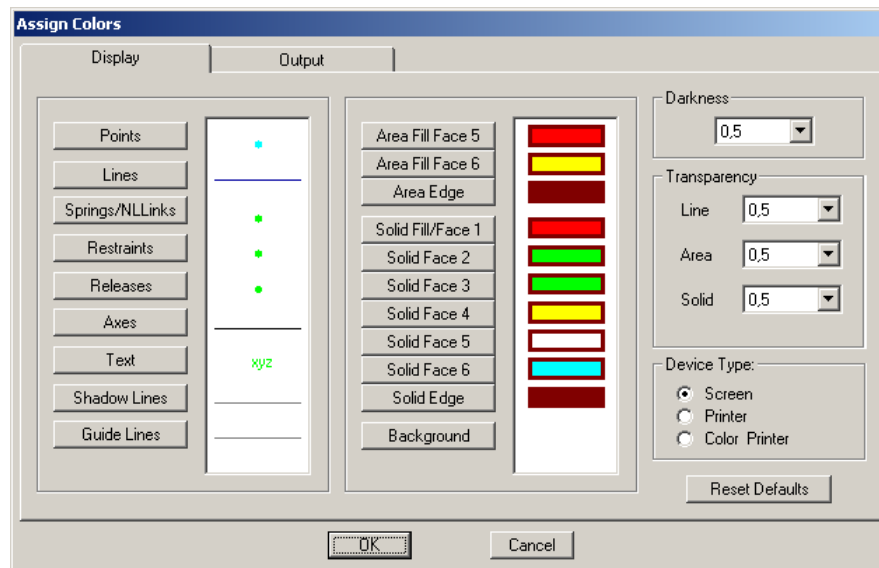
Para calcular o modelo com rigidez na face em todos os elementos de barra :

Assign → Frame / Cable → End (Length) Offsets...



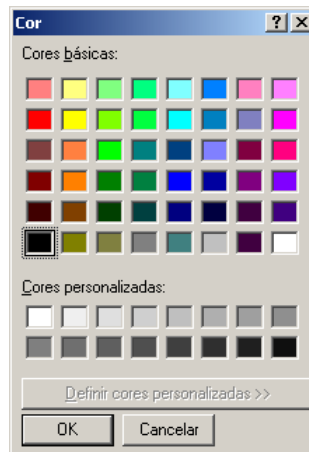
10- Alteração das cores do modelo

Options → Colors → Display...



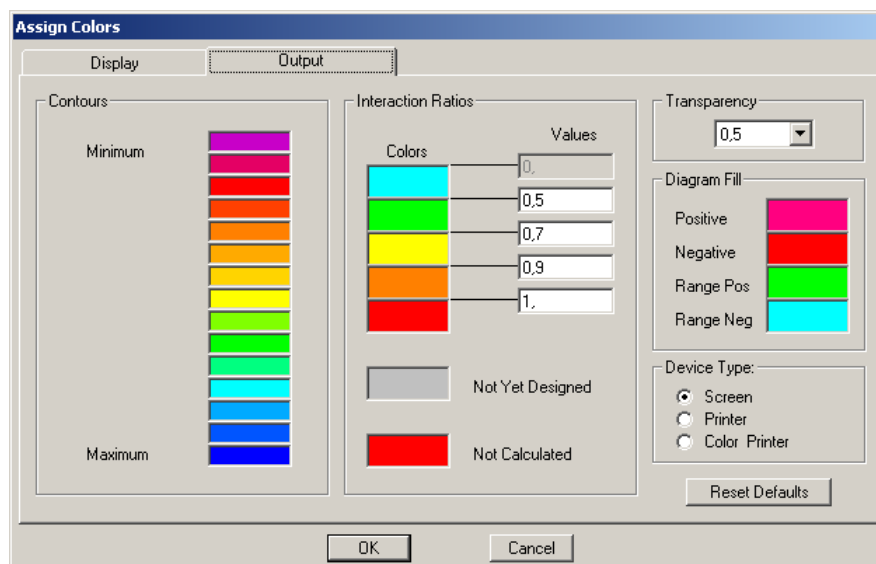
Para alterar a cor do texto, por exemplo, seleccionar **Text**

Abrirá a janela “Cor”

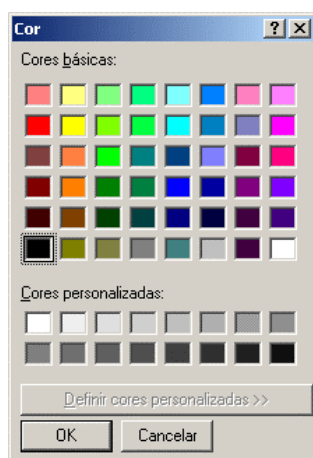


Selecionar a cor desejada → OK

Para alterar as cores dos diagramas, basta ir para “Output”



Para alterar as cores apresentadas no diagrama (particularmente, utilizamos a cor amarela em todo o diagrama), em *Diagram Fill*, posicionar a seta sobre um dos retângulos (de *Positive* ou *Negative*, por exemplo) e aparecerá a janela “Cor”.



Selecionar a cor desejada → OK

Tanto em *Display* quanto em *Output*, em *Device Type*, ao selecionar *Screen*, as cores mostradas na janela são as cores mostradas na tela do programa; ao selecionar *Printer*, as cores mostradas (tons de cinza) serão aquelas apresentadas na folha de impressão; e ao selecionar *Color Printer*, as cores mostradas serão as da impressão em cores. Todas podem ser modificadas, basta repetir os procedimentos anteriores.

11- Cargas aplicadas nas *shells*

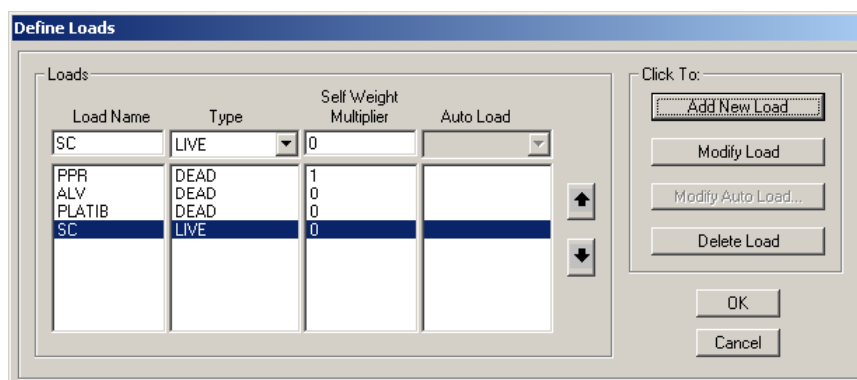
a) Sobrecarga (sc)

A sobrecarga é definida pela Norma de Ações e Segurança (NBR 6120/80 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações).

Neste exemplo, a sobrecarga nos pavimentos (1º e 2º) é $sc = 0,20 \text{ t/m}^2$ (Escritórios, salas de uso geral).

a.1 - Definição da carga

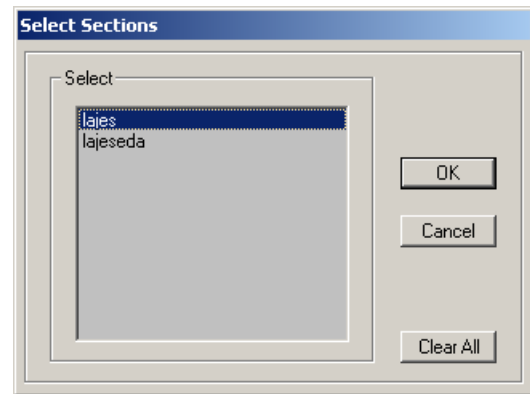
Define → Load Cases...



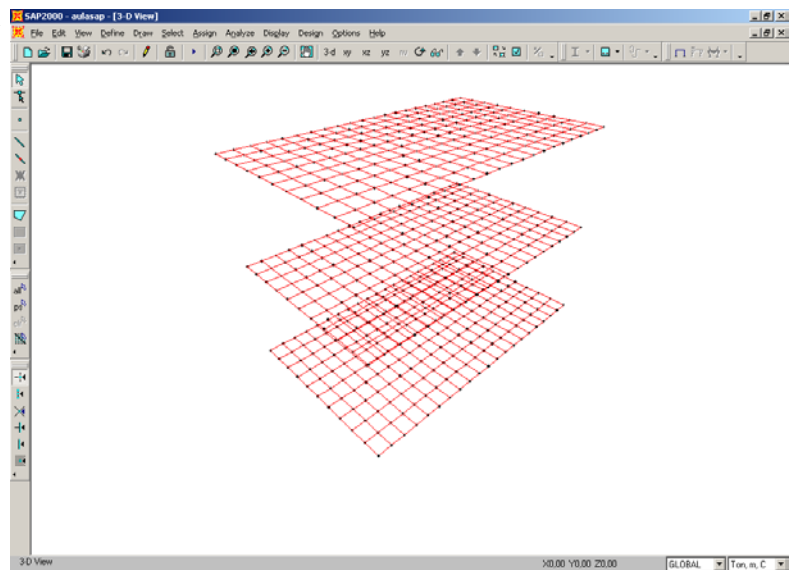
a.2 - Aplicação da carga

Selecionar as *shells*:

Select → Select → Area Sections...

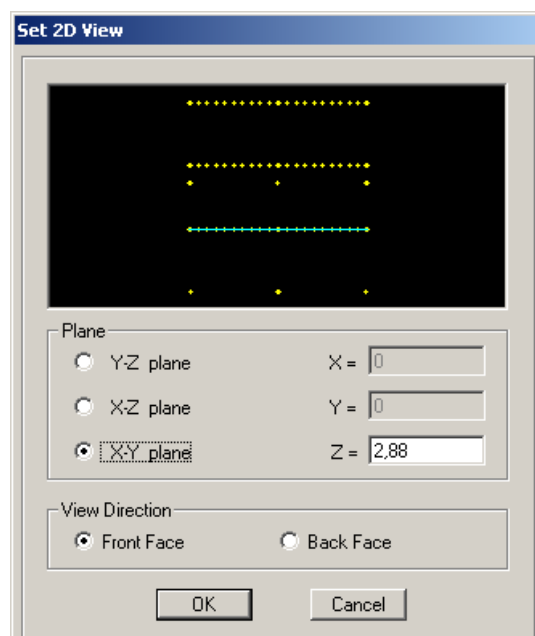


View → Show Selection Only



Selecionar apenas as lajes do 1º e 2º pavimentos.

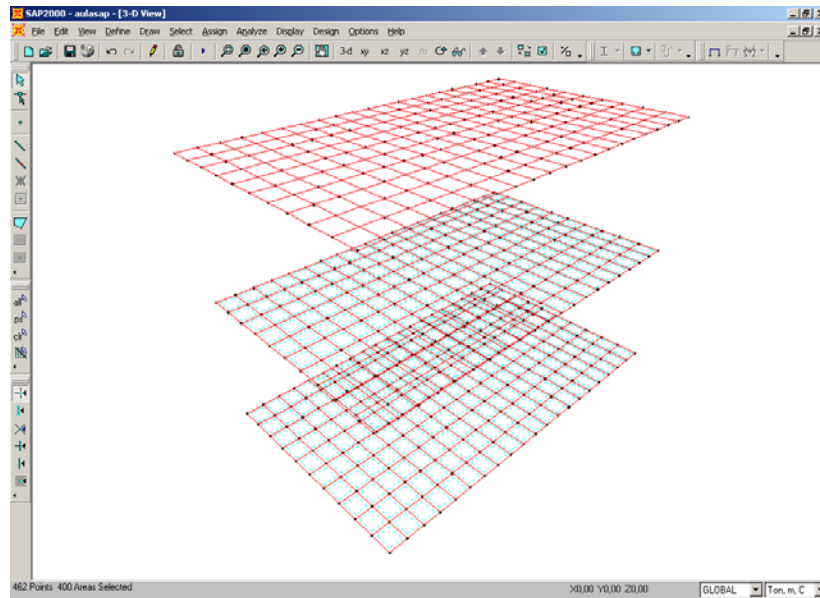
View → Set 2D View



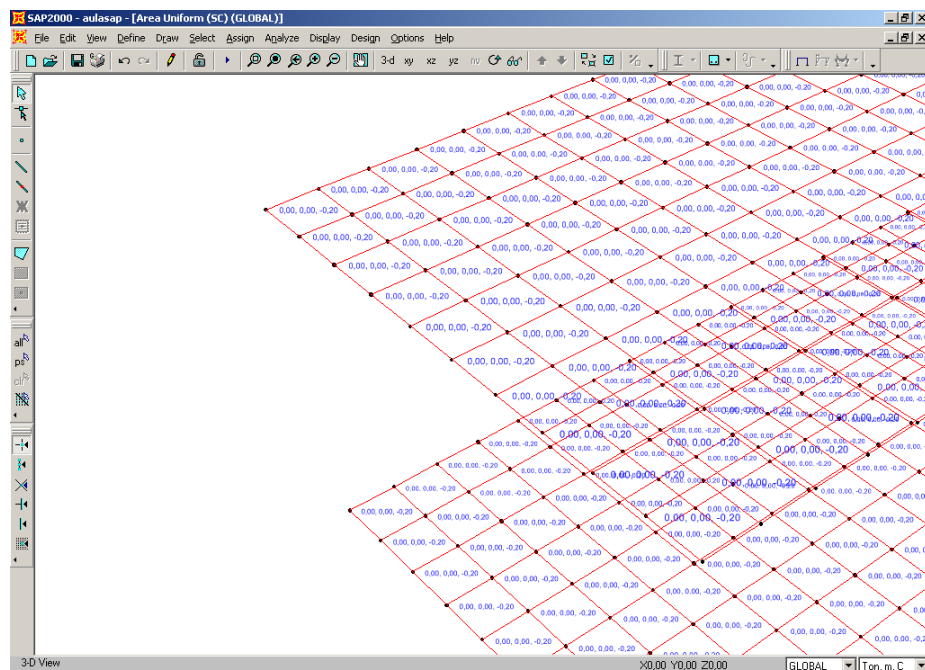
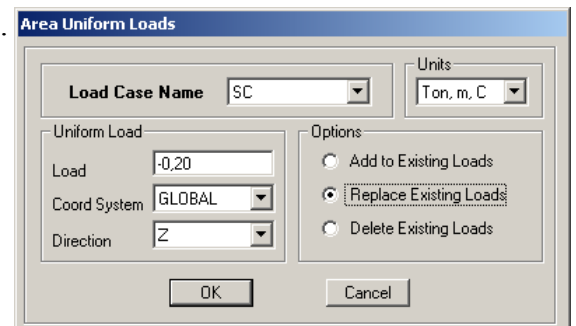
Em x-y, $z = 2,88$. A planta do pavimento será mostrada. Selecionar todas as *shells*.

Repetir a operação para as *shells* em $z = 5,76$.

Mostrar a estrutura em 3D → **3-d**

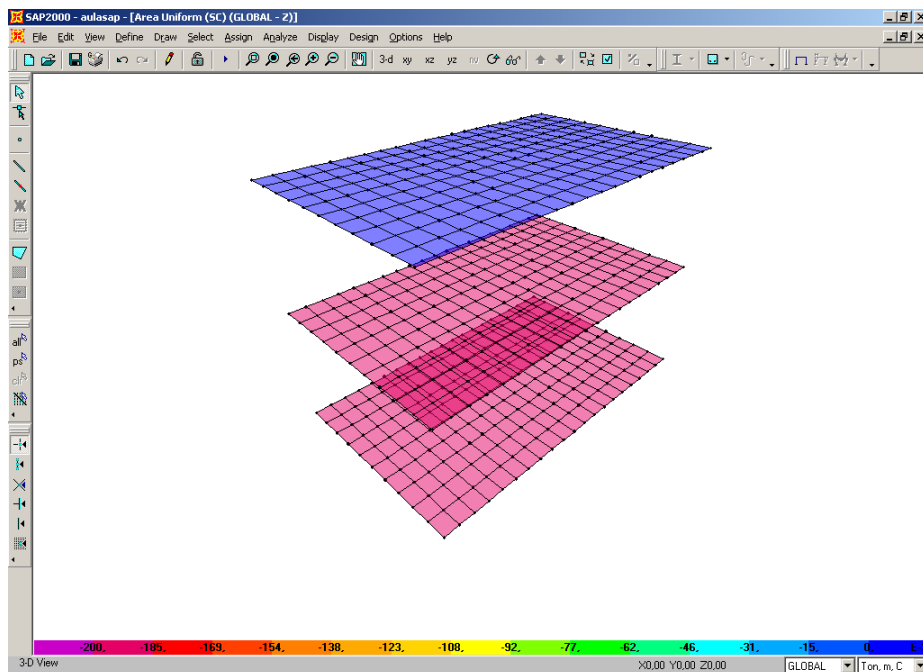
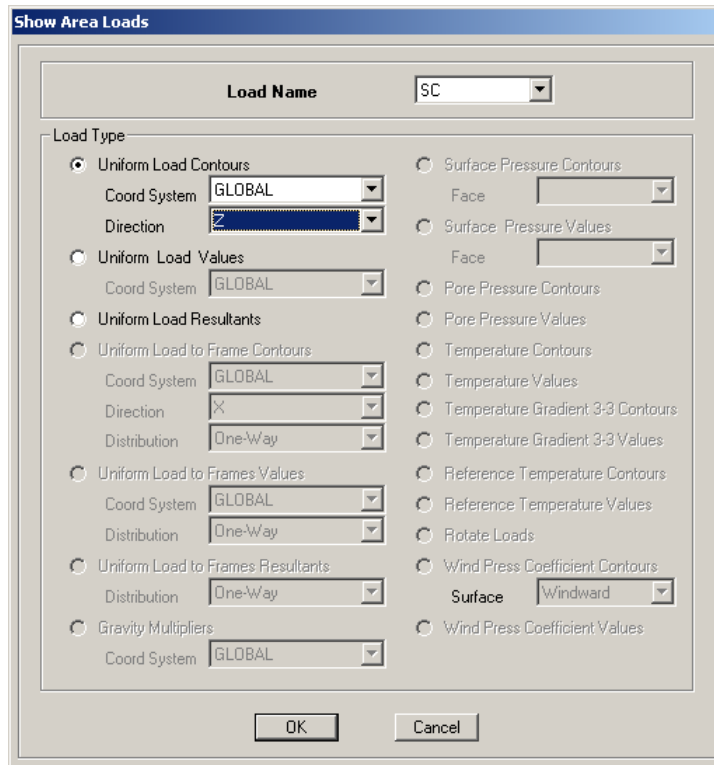


Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...



Para verificar se todas as *shells* da malha estão com os seus eixos locais na mesma direção:

Display → Load Assigns → Area...



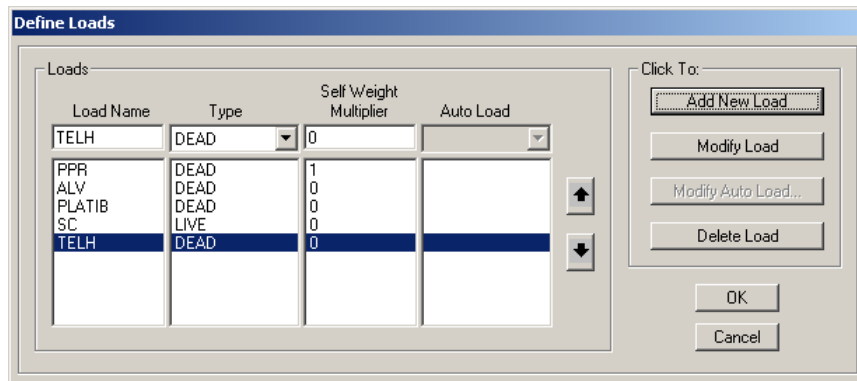
A cor azul indica que a sobrecarga é nula, e a cor rosa indica a sobrecarga de $0,20 \text{ t/m}^2$.

b) Telhado (telh)

O peso do telhado é distribuído na laje de cobertura e vale $\text{telh} = 0,07 \text{ t/m}^2$ (valor retirado do Projeto Modelo 4 pavimentos, EC 802); não há indicação de detalhes do telhado porque é apenas em exemplo para utilização do SAP2000.

b.1 - Definição da carga

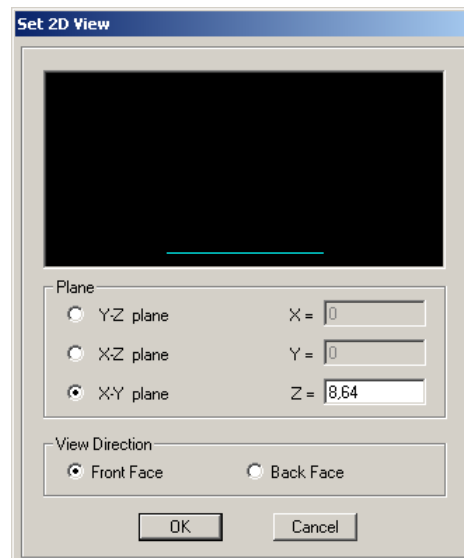
Define → Load Cases...



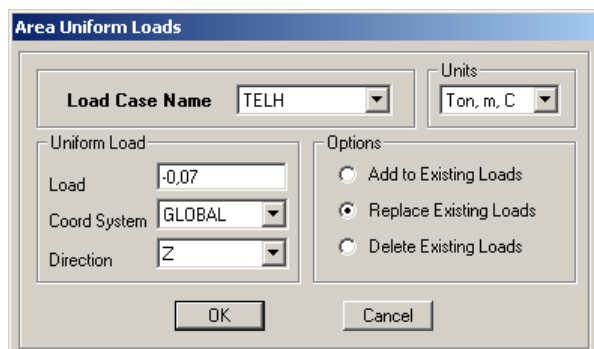
b.2 - Aplicação da carga

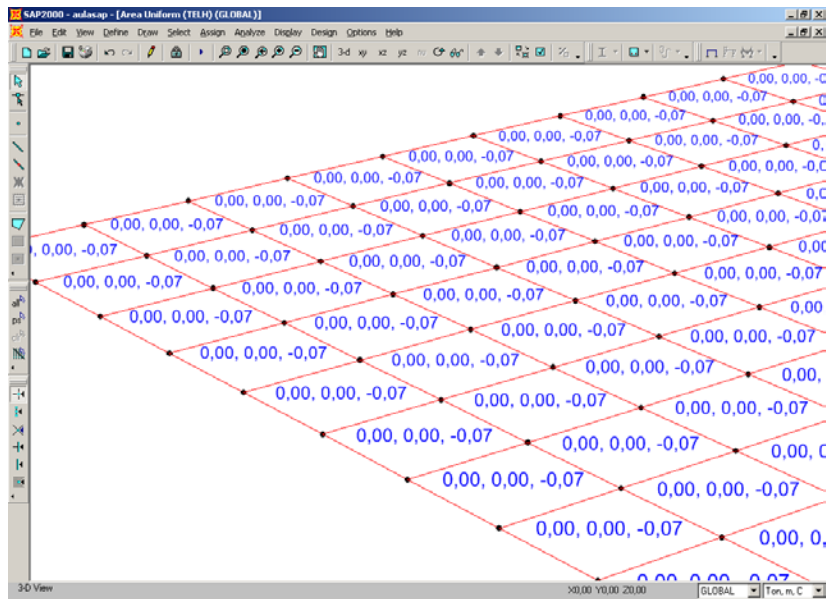
Selecionar as *shells* da cobertura

View → Set 2D View...



Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...





c) Vento

O vento é aplicado nas lajes de seda. Deve-se calcular o valor da pressão do vento, de acordo com a Norma, mas como este exemplo serve apenas para ilustrar os comandos do SAP2000, utilizaremos os valores do Projeto Modelo de 4 pavimentos (EC 802), que não são valores corretos, ou seja, de acordo com as dimensões da estrutura.

c.1 - Pressões de vento na estrutura

Ventos longitudinais

$$p_5 = 89,3 \text{ kgf/cm}^2 = 0,09 \text{ t/m}^2$$

$$p_{10} = 105,8 \text{ " } \cong 0,11 \text{ "}$$

Ventos transversais

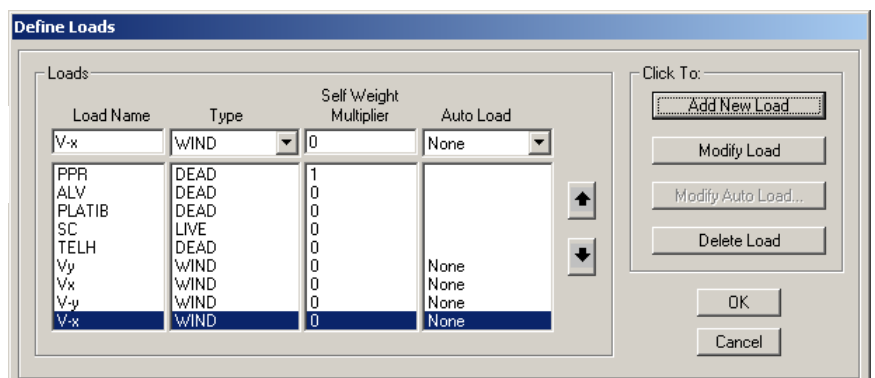
$$p_5 = 89,7 \text{ kgf/cm}^2 = 0,09 \text{ t/m}^2$$

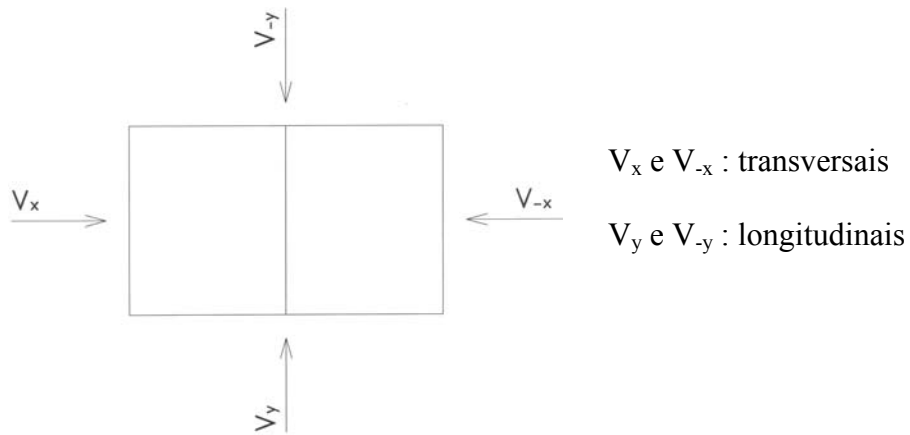
$$p_{10} = 117,0 \text{ " } \cong 0,12 \text{ "}$$

c.2 - Definição da carga

Define → Load Cases

Obs: Esse processo deve ser repetido 4 vezes. Para definir os 4 ventos.

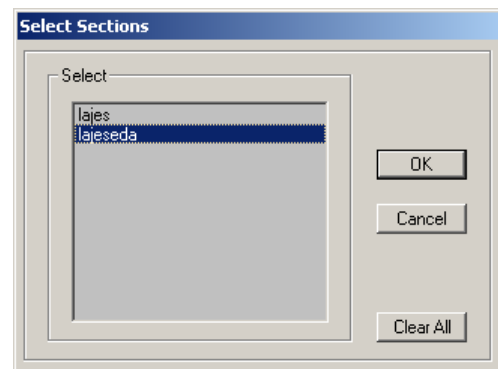




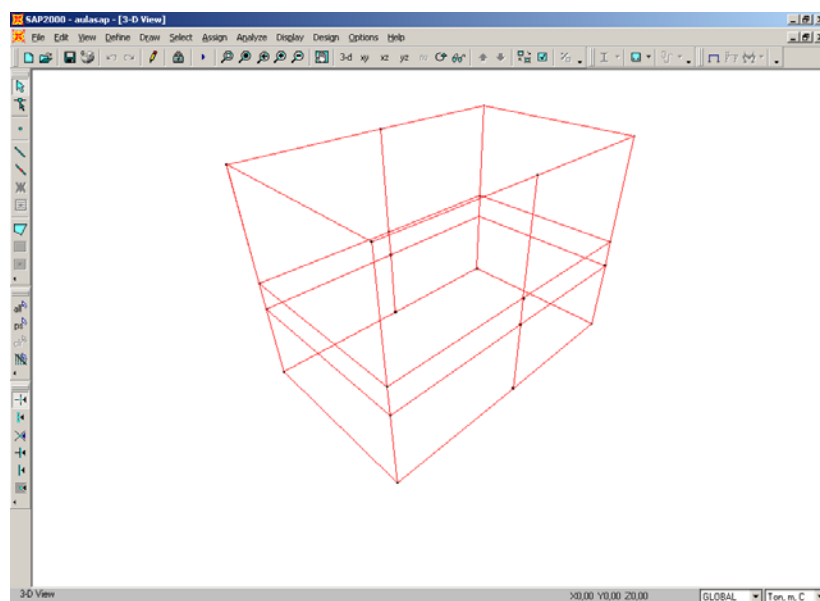
c.3 - Aplicação da carga

Selecionar as lajes de seda:

Select → Select → Area Sections



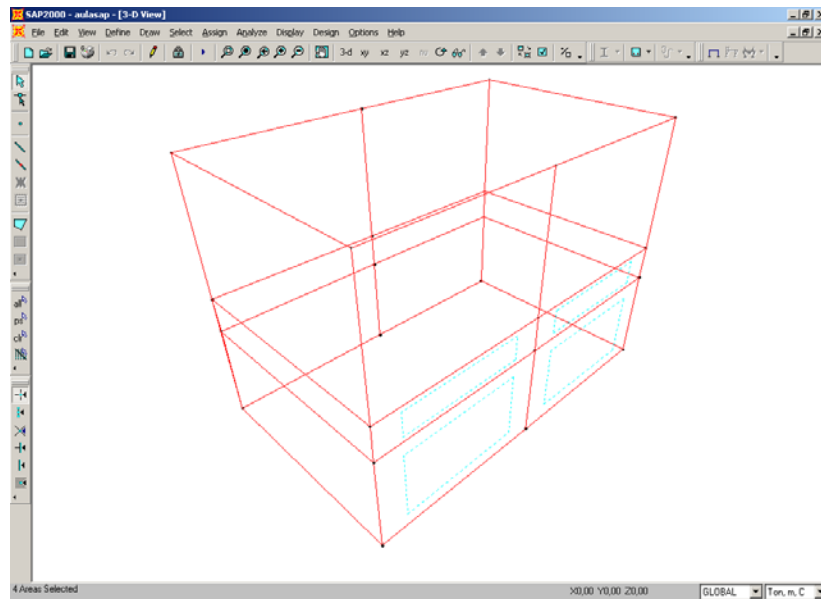
View → Show Selection Only



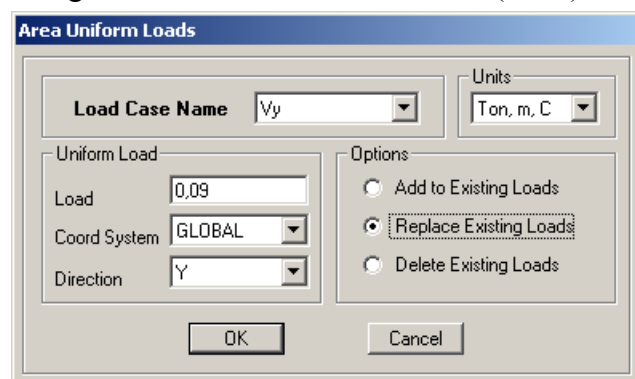
Ventos longitudinais :

- V_y

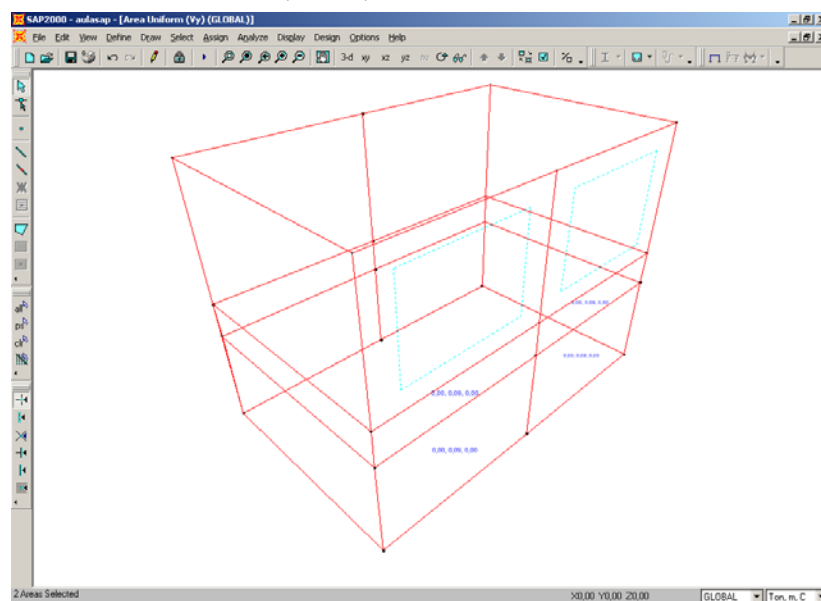
Selecionar as 4 *shells*, até 5 m de altura



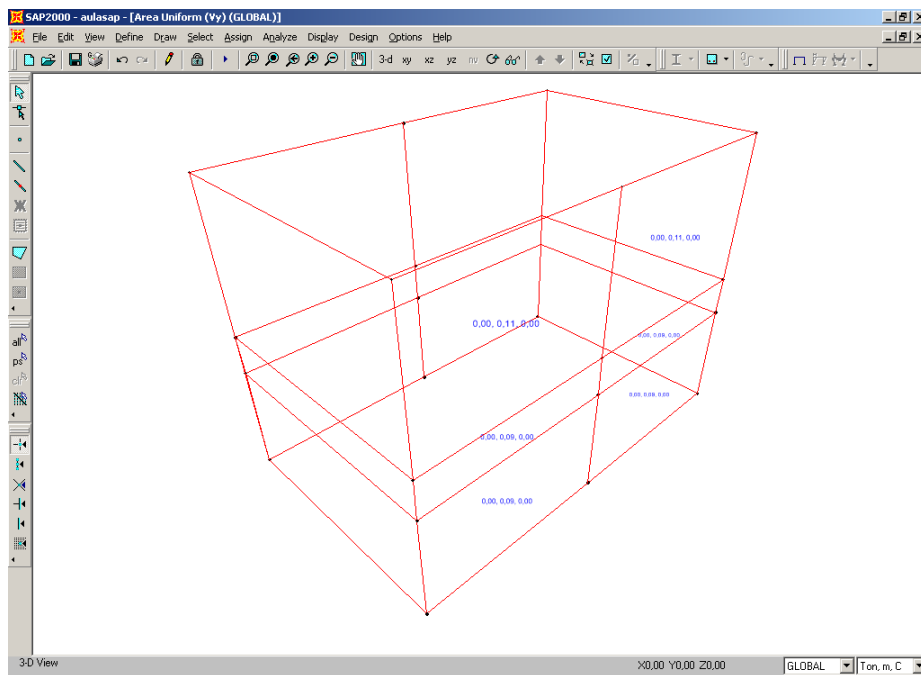
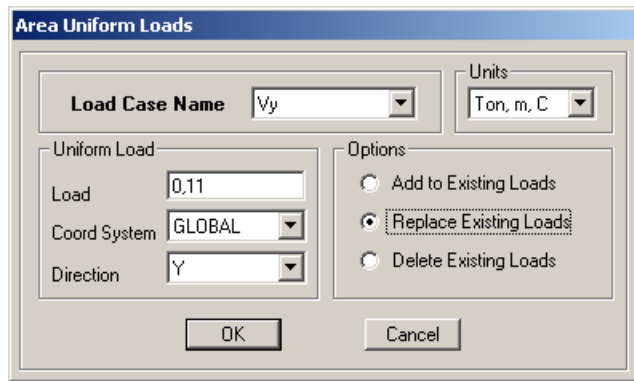
Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...



Selecionar as 2 *shells*, até 8,64 m de altura



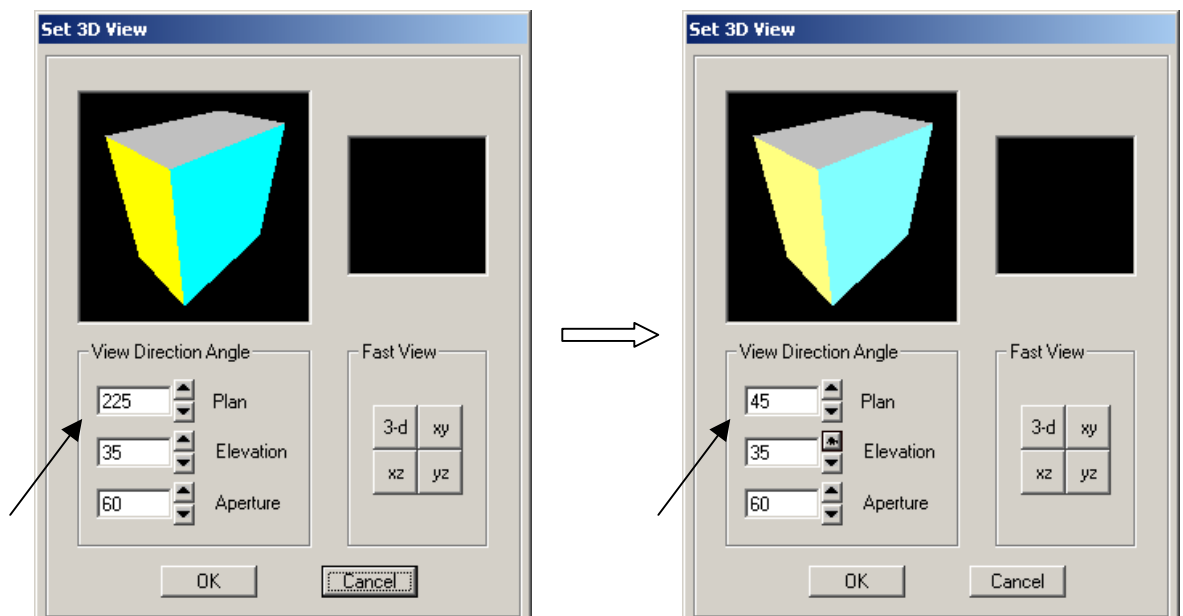
Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...



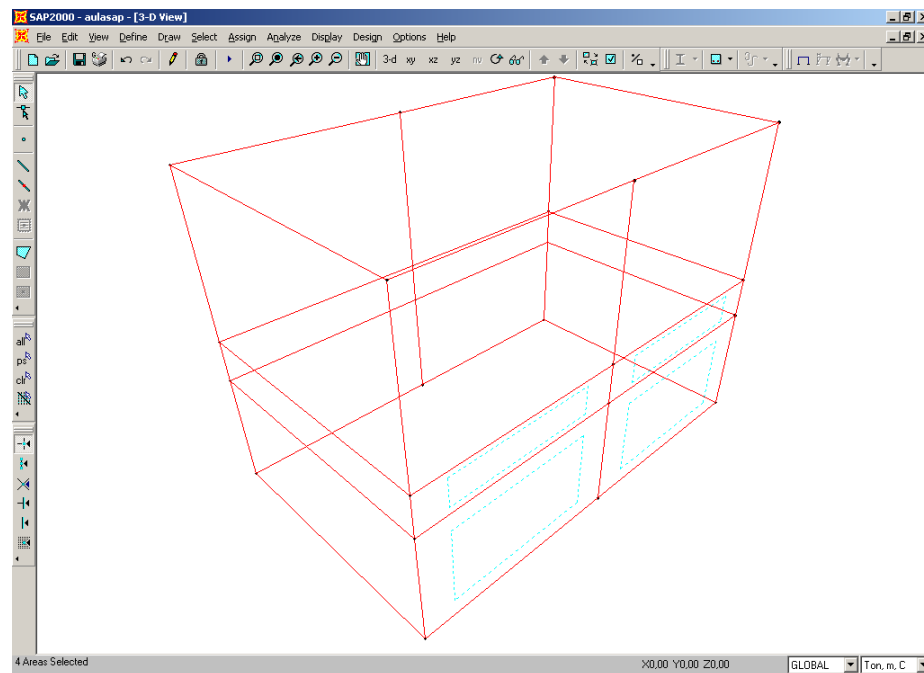
- V_y

Girar o modelo para pode visualizar o outro lado da estrutura

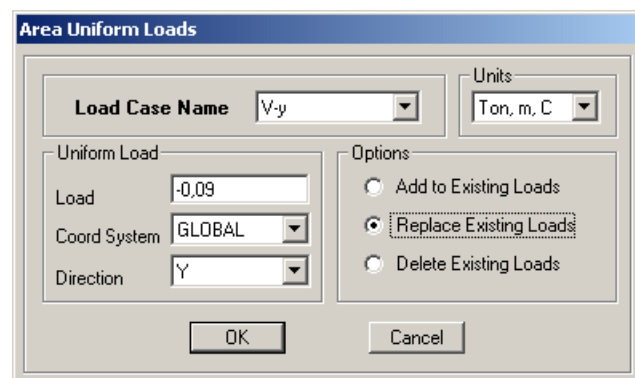
View → Set 3D View



Selecionar as 4 *shells*, até 5 m de altura

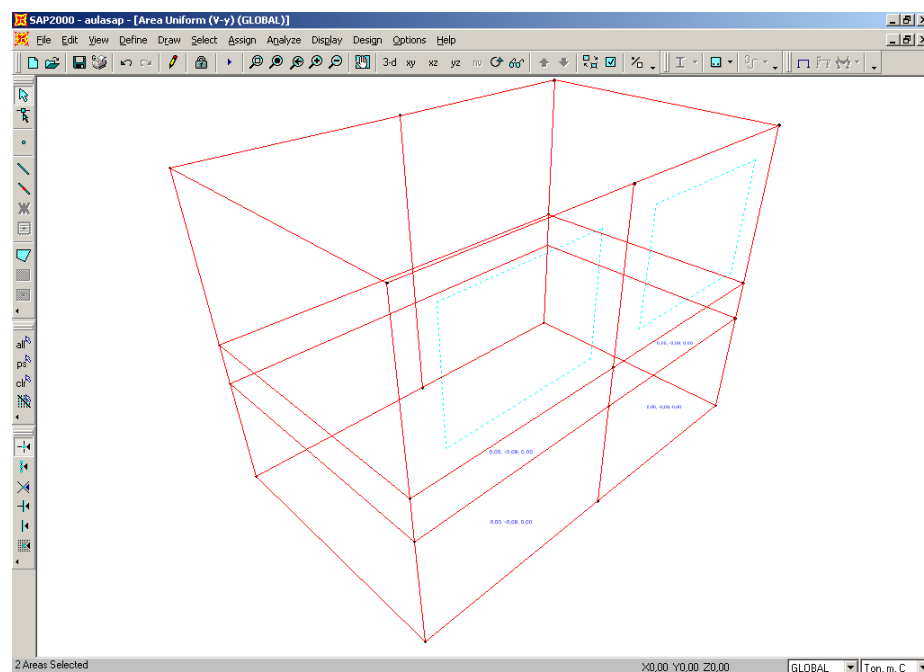


Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...

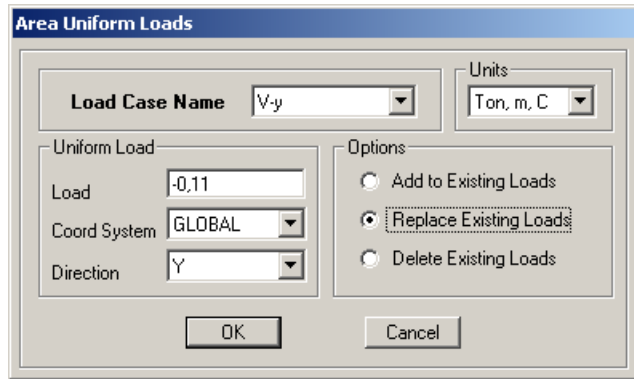


Obs: carga negativa, devido aos eixos globais.

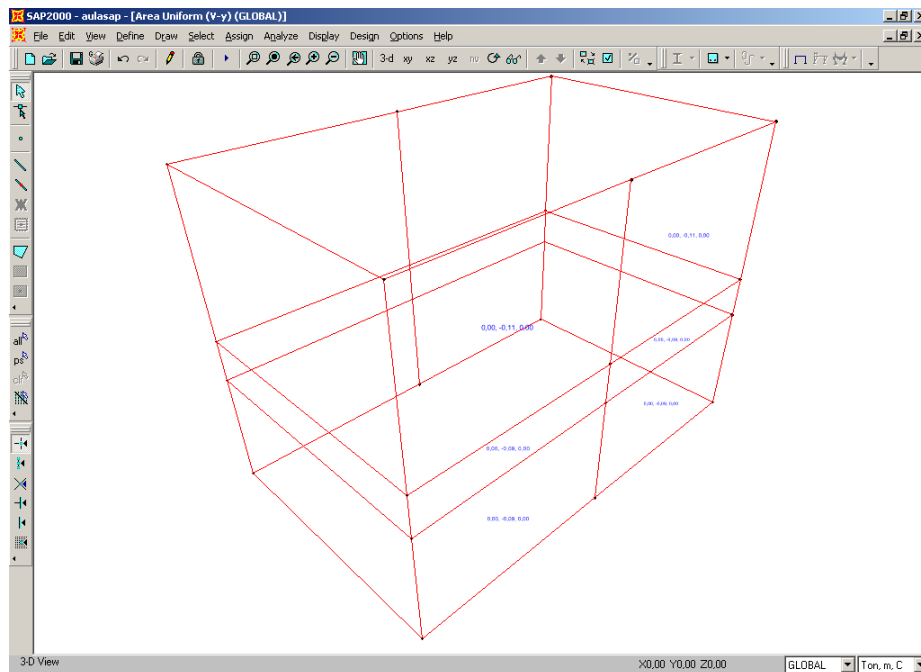
Selecionar as 2 *shells*, até 8,64 m de altura



Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...



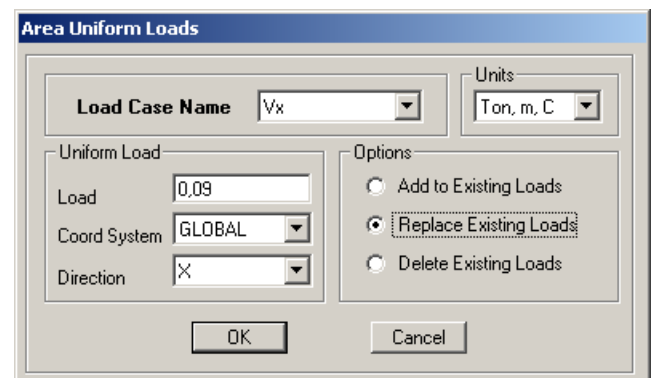
Obs: carga negativa, devido aos eixos globais.



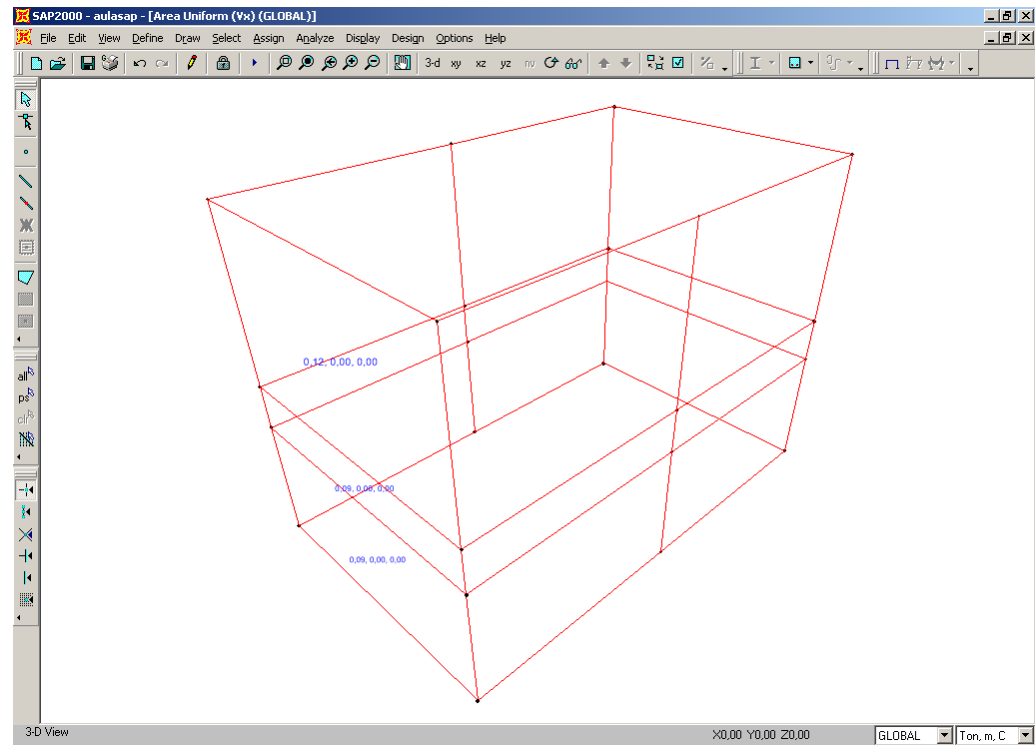
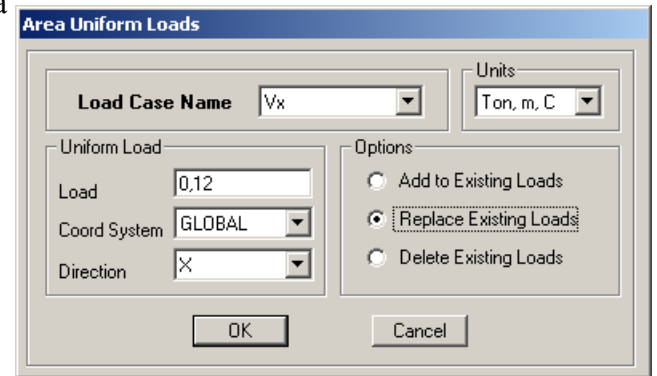
Voltar a estrutura à posição inicial → 3-d

- V_x

Selecionar as 2 shells, até 5 m de altura



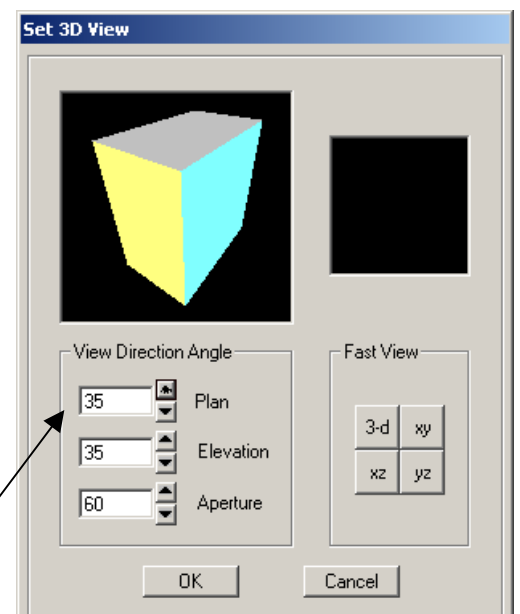
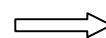
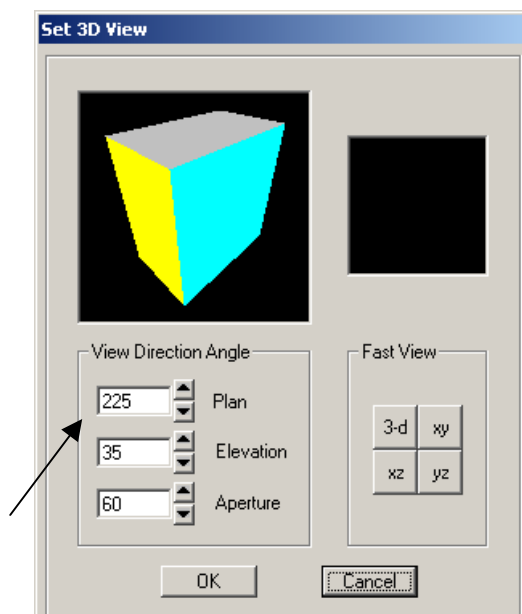
Selecionar as *shells*, até 8,64 m de altura



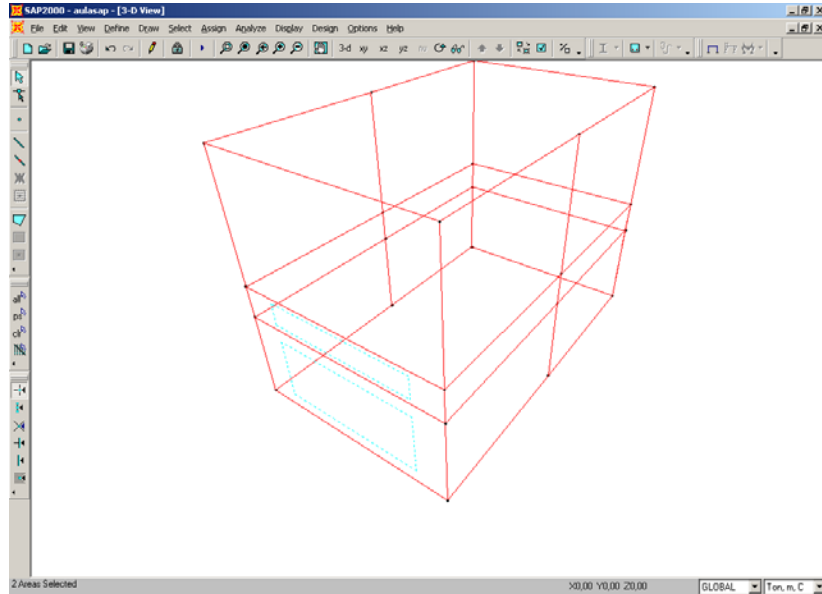
- V_{-x}

Girar o modelo para pode visualizar o outro lado da estrutura

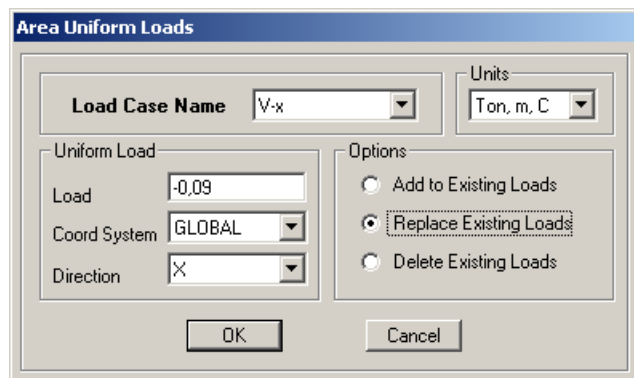
View → Set 3D View



Selecionar as 2 *shells*, até 5 m de altura

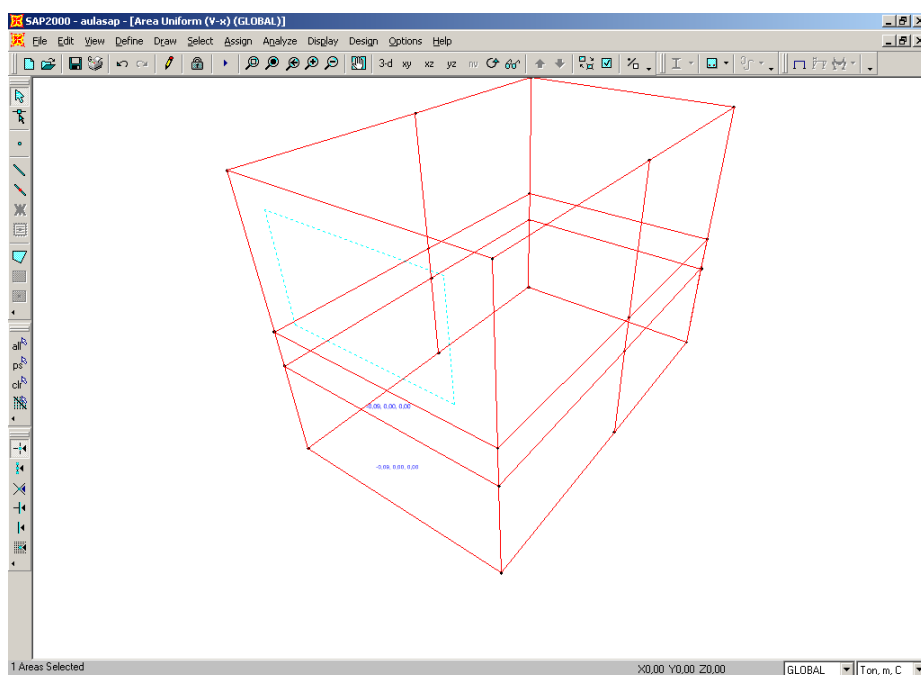


Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...

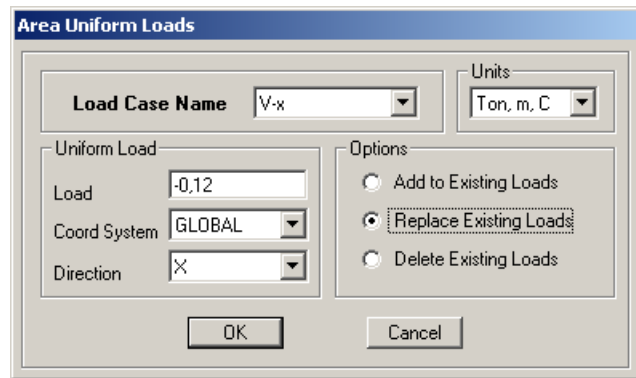


Obs: carga negativa, devido aos eixos globais.

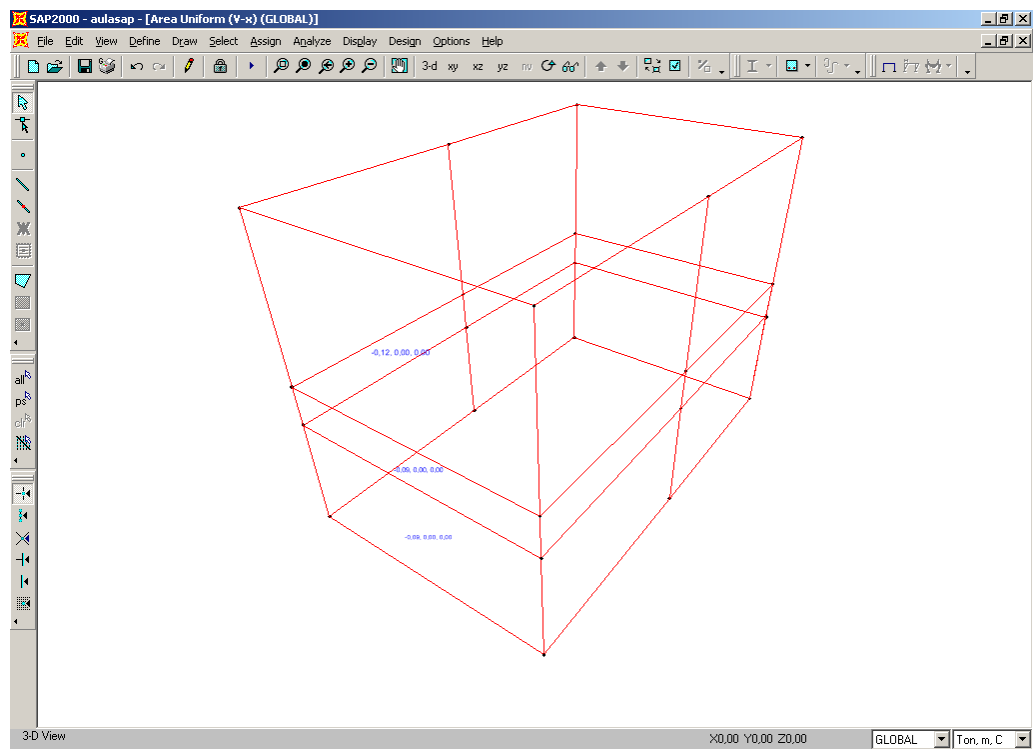
Selecionar a *shells*, até 8,64 m de altura



Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...



Obs: carga negativa, devido aos eixos globais.



Voltar a estrutura à posição inicial → 3-d

Para que as cargas aplicadas não sejam mais mostradas →

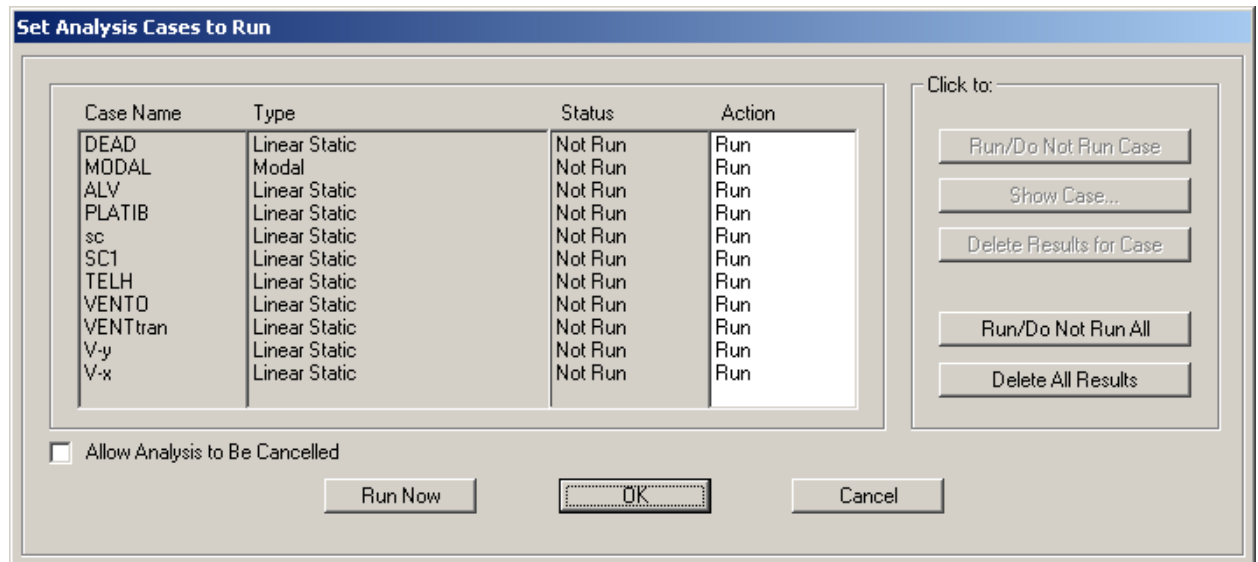


12- Analisar o modelo

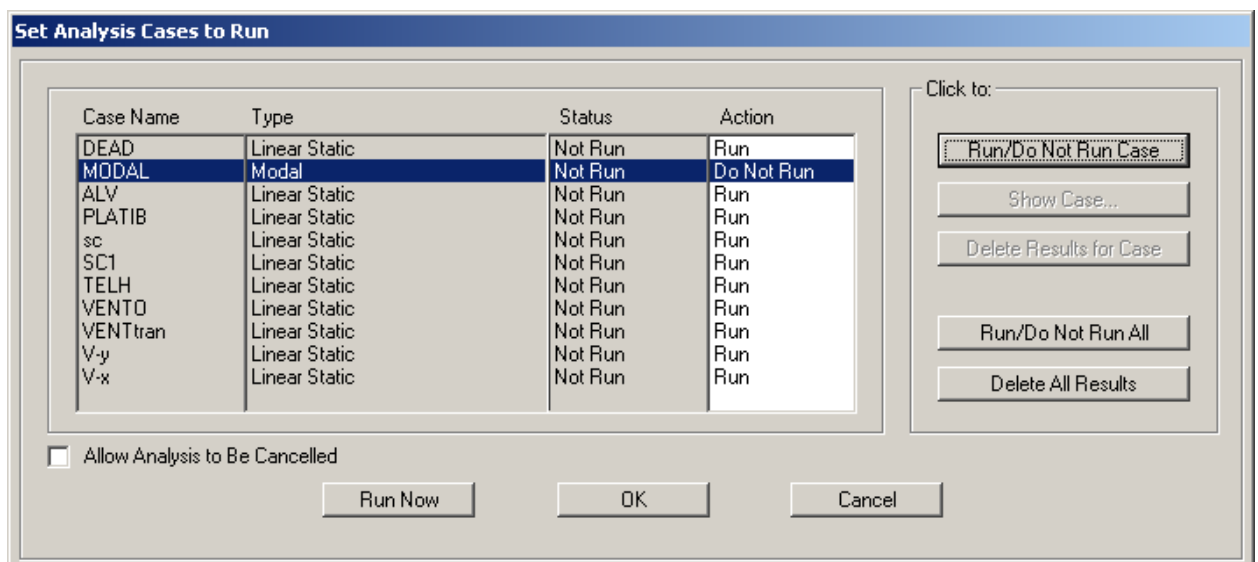
Recomendável verificar todas as cargas, seções, restrições de nós, etc, antes de calcular o modelo.

Para executar o programa SAP2000:

Analyze → Set Analysis Cases to Run...



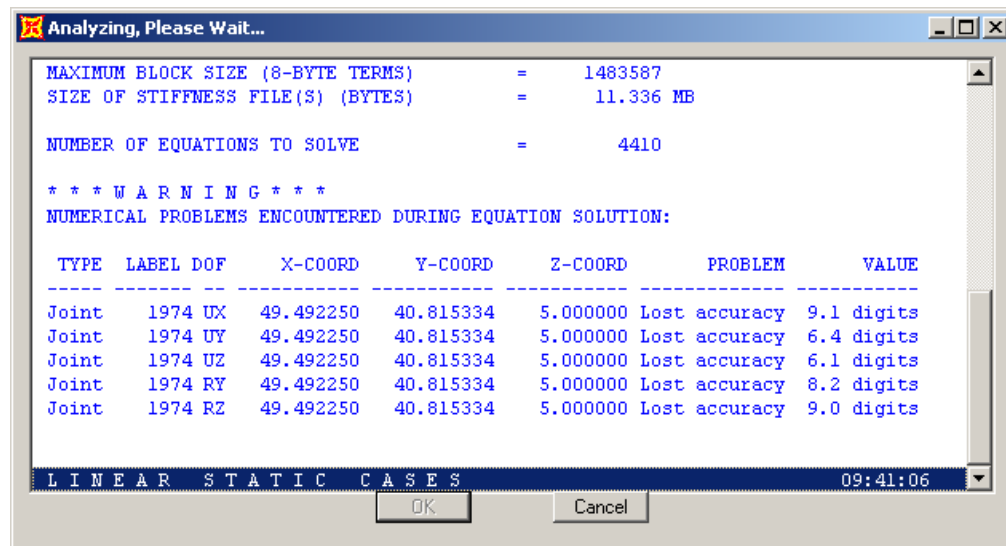
O quadro acima indica todas as cargas aplicadas na estrutura. Pode-se decidir calcular o modelo com todas elas ou excluir alguma. No exemplo, todas serão utilizadas, exceto a carga “Modal”.



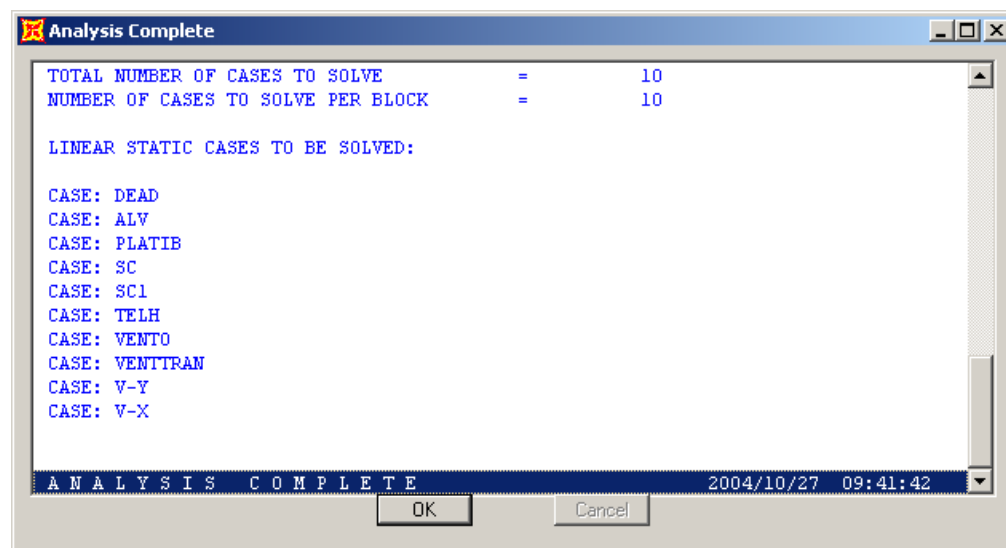
Analyze → Run Analysis → Run Now

Ou acionar →  → Run Now

Enquanto o programa SAP2000 está calculando o modelo, aparece a seguinte janela:

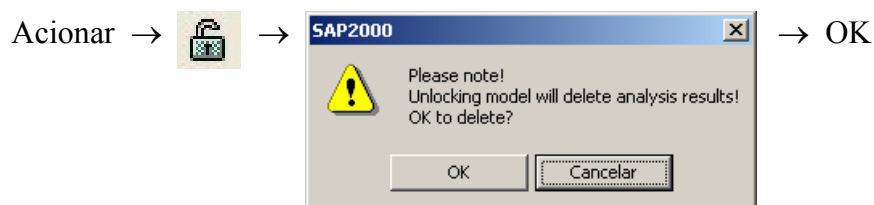


Quando o cálculo estiver terminado, aparecerá a janela:



A análise será interrompida se o modelo houver algum erro que impeça o cálculo matemático, mas erros de concepção estrutural não são acusados, somente podem ser detectados através de análise dos resultados.

Para recalcular o modelo ou fazer alterações no mesmo:



13- Combinações

O termo combinação é apresentado aqui, pois o programa utiliza a palavra inglesa “*combinations*”; facilita a associação.

As combinações são definidas para que o programa apresente os diagramas de esforços de barras e *shells* e as reações dos nós. Elas podem ser feitas antes ou após o modelo ter sido analisado; o ideal são as combinações serem feitas após a análise, pois diminui o número de equações do modelo e conseqüentemente, o tempo de análise.

13.1- As combinações

$$1^a - \frac{1,4}{1,4} G_{\text{máx}} = \text{PPR} + \text{SC} + \text{ALV} + \text{PLATIB} + \text{TELH}$$

$$2^a - \frac{1,0}{1,4} g_{\text{mín}} = 0,714 \times (\text{PPR} + \text{ALV} + \text{PLATIB} + \text{TELH})$$

$$3^a - G_{\text{máx}} + \frac{1,2}{1,4} V_x = G_{\text{máx}} + 0,86 V_x$$

$$4^a - G_{\text{máx}} + \frac{1,2}{1,4} V_{-x} = G_{\text{máx}} + 0,86 V_{-x}$$

$$5^a - G_{\text{máx}} + \frac{1,2}{1,4} V_y = G_{\text{máx}} + 0,86 V_y$$

$$6^a - G_{\text{máx}} + \frac{1,2}{1,4} V_{-y} = G_{\text{máx}} + 0,86 V_{-y}$$

$$7^a - \frac{1,0}{1,4} g_{\text{mín}} + \frac{1,2}{1,4} V_x = 0,714 g_{\text{mín}} + 0,86 V_x$$

$$8^a - \frac{1,0}{1,4} g_{\text{mín}} + \frac{1,2}{1,4} V_{-x} = 0,714 g_{\text{mín}} + 0,86 V_{-x}$$

$$9^a - \frac{1,0}{1,4} g_{\text{mín}} + \frac{1,2}{1,4} V_y = 0,714 g_{\text{mín}} + 0,86 V_y$$

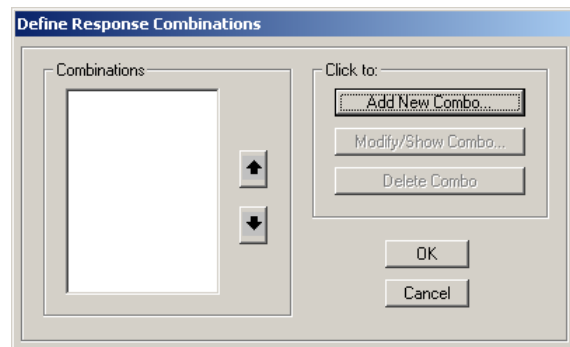
$$10^a - \frac{1,0}{1,4} g_{\text{mín}} + \frac{1,2}{1,4} V_{-y} = 0,714 g_{\text{mín}} + 0,86 V_{-y}$$

$$11^a - \text{Envoltória : Sobreposição da } 3^a \text{ a } 10^a \text{ equações}$$

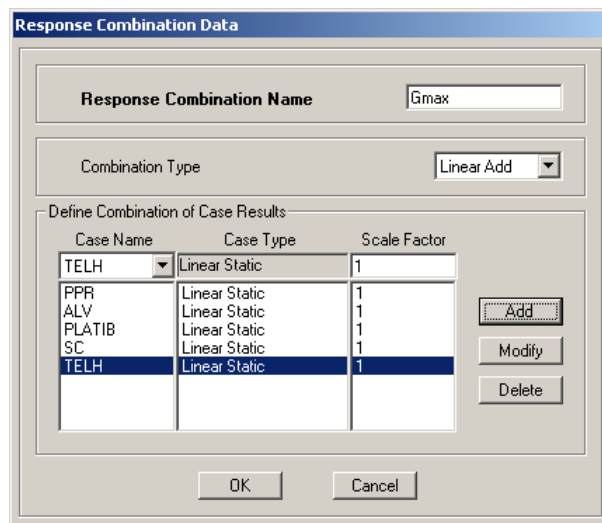
13.2- Definição das combinações

a) $G_{\max}$

Define → Combinations...

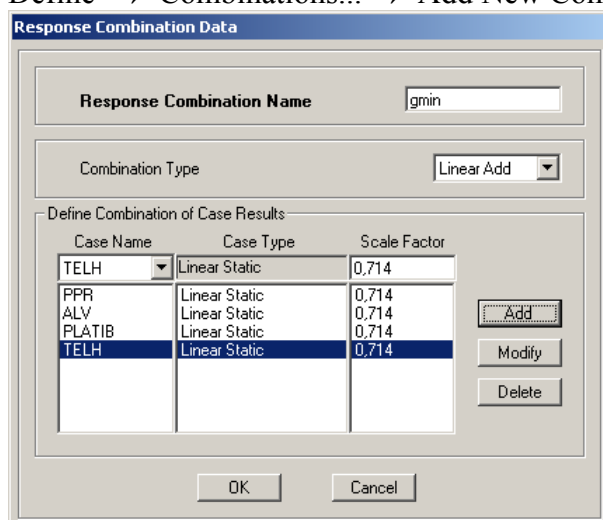


Add New Combo...



b) $g_{\min}$

Define → Combinations... → Add New Combo...



c) $G_{\max} + 0,86 V_x$

Define → Combinations... → Add New Combo...

Case Name	Case Type	Scale Factor
Vx	Linear Static	0,86
Gmax	Combination	1
Vx	Linear Static	0,86

Para as demais combinações de vento com $G_{\max}$ o que muda são os ventos, que ao invés de V_x , serão V_{-x} , V_y e V_{-y} .

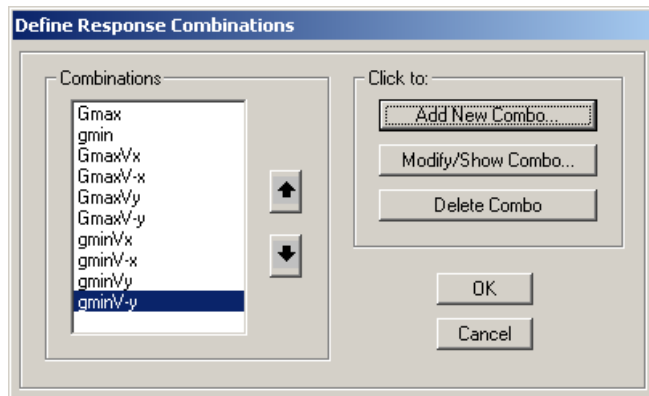
d) $0,714 g_{\min} + 0,86 V_x$

Define → Combinations... → Add New Combo...

Case Name	Case Type	Scale Factor
Vx	Linear Static	0,86
gmin	Combination	1
Vx	Linear Static	0,86

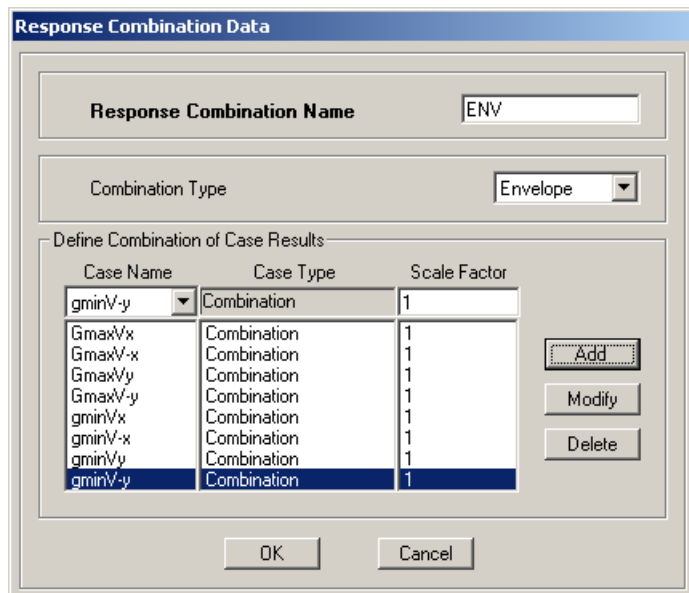
“ $g_{\min}$ ” está com coeficiente 1, pois na sua composição inicial as cargas já estão com o coeficiente 0,714.

Para as demais combinações de vento com g_{min} o que muda são os ventos, que ao invés de V_x , serão V_{-x} , V_y e V_{-y} .



e) Envoltória

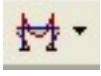
Define → Combinations... → Add New Combo...

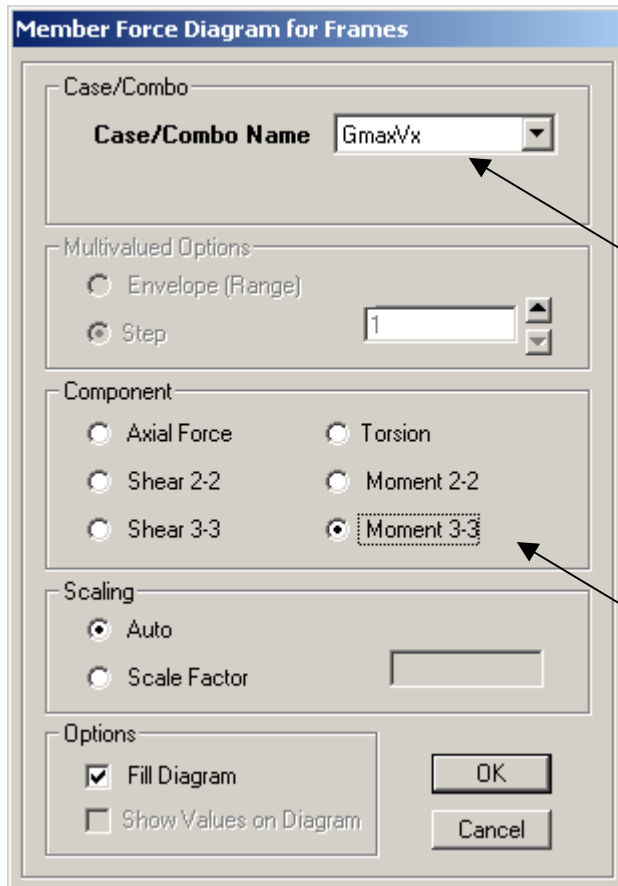


14- Diagramas e reações

a) Vigas

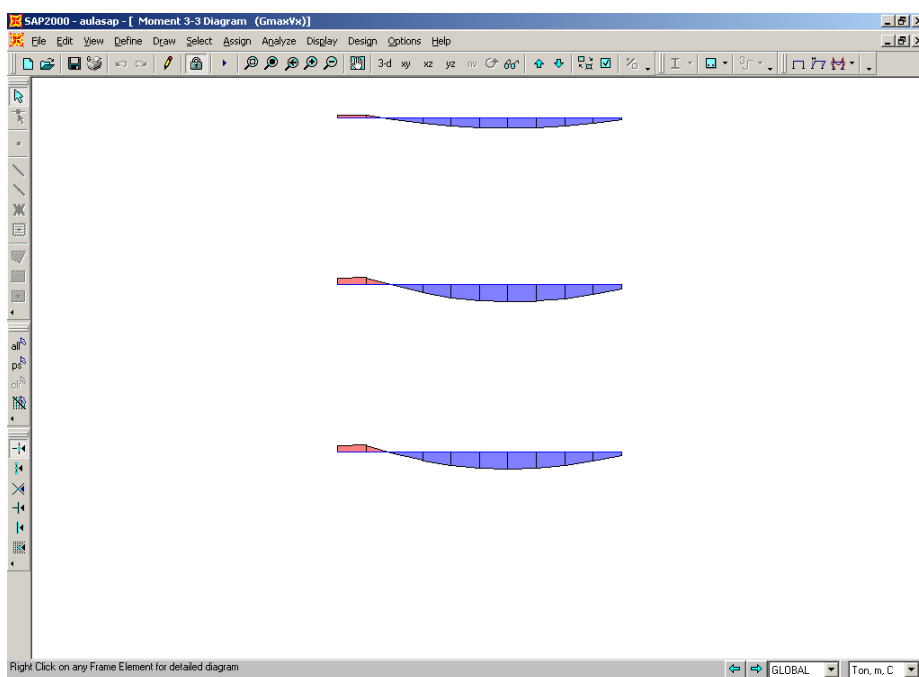
Selecionar as vigas desejadas.

Acionar →  → Frame / Cables...



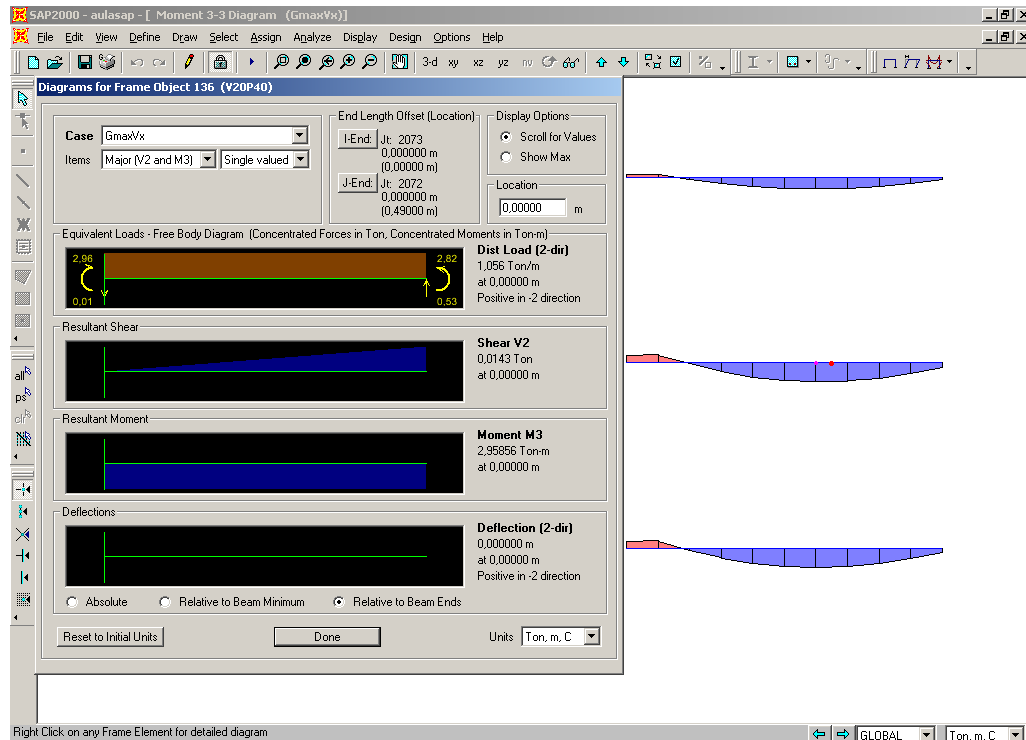
Escolher a combinação ou a carga

Escolher o esforço



As cores do diagrama podem ser modificadas, como foi mostrado no Capítulo 10.

Para saber os valores dos momentos, colocar a seta sobre o trecho de barra desejado e apertar o botão direito do *mouse*:

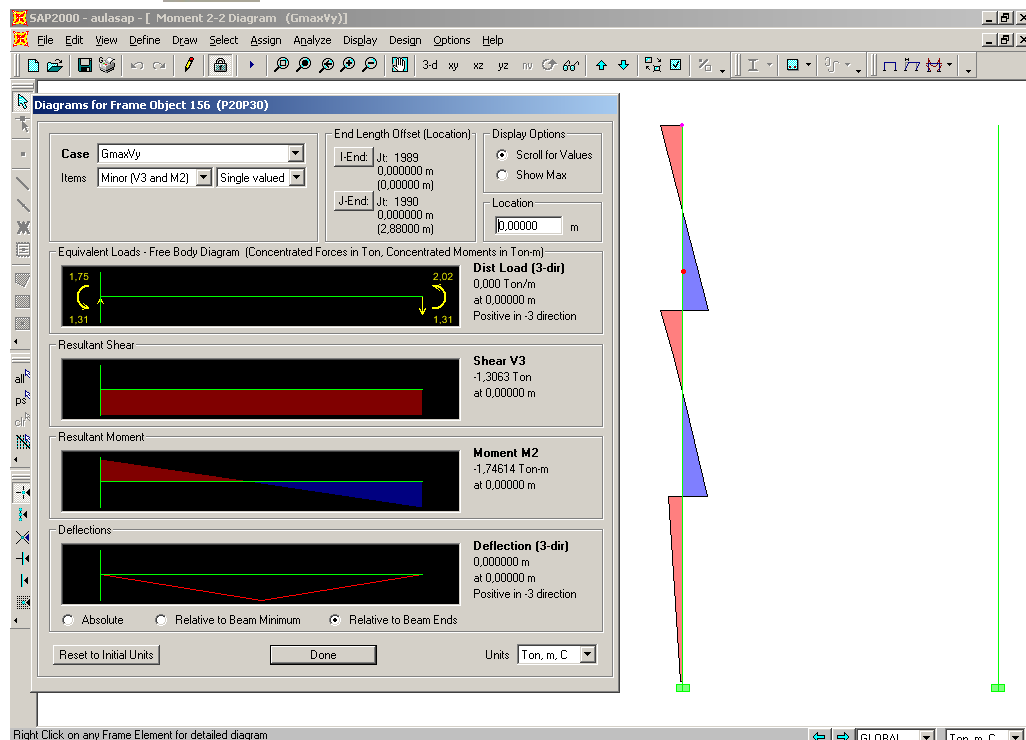


Done → Selecionar outro trecho de barra → repetir procedimento.

b) Pilares

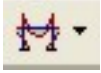
Selecionar os pilares desejados.

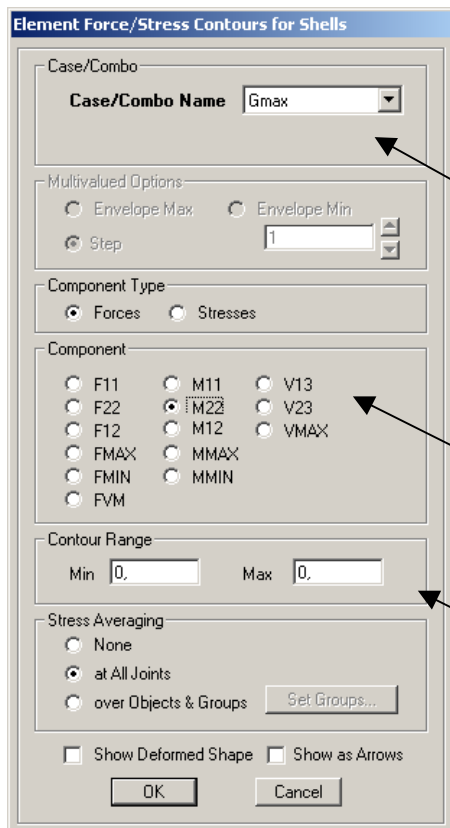
Acionar →  → Frame / Cables... → repetir procedimento das vigas



c) Lajes

Selecionar as *shells* desejadas.

Acionar →  → Shells...

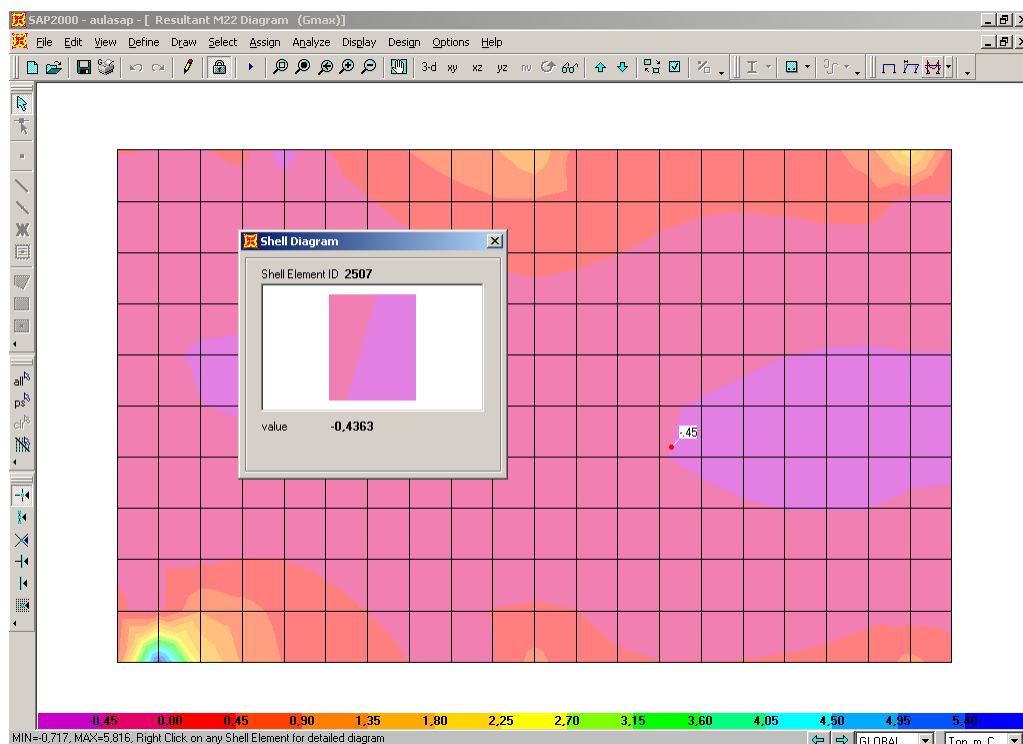


Escolher a combinação ou a carga

Escolher forças ou tensões

Escolher o esforço

Para saber o valor do momento, colocar a seta sobre a *shell* desejada, apertar o botão direito do *mouse*:

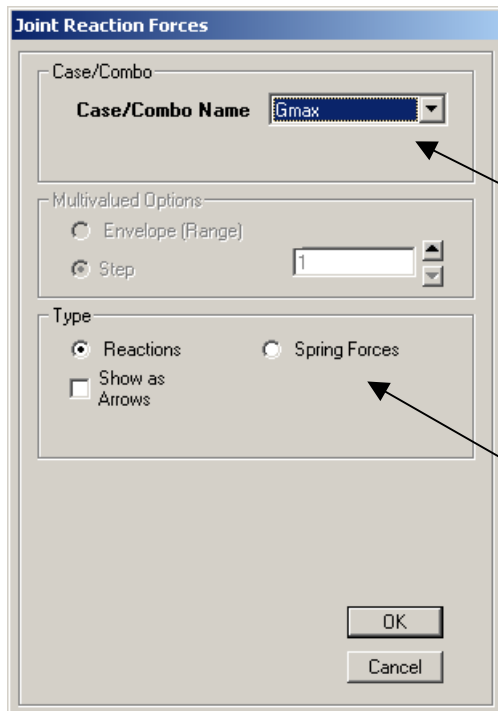


Na janela “Shell Diagram”, colocar a seta próxima a um dos cantos do retângulo e obterá o valor aproximado do momento, pois é difícil atingir exatamente o nó da *shell*.

d) Nós

Os únicos nós que apresentam reações são aqueles que possuem restrições, neste caso os nós das fundações.

Acionar →  → Joints...



Escolher a combinação ou a carga

Escolher o tipo de resultado e o modo de exibição

