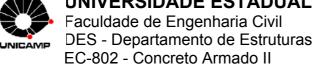
# UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



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.

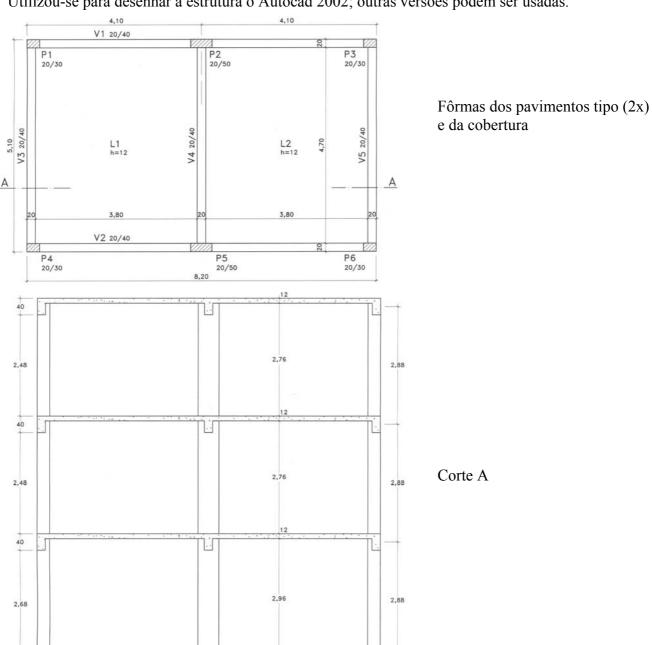
# INTRODUÇÃO

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 edificio, 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.



# ÍNDICE

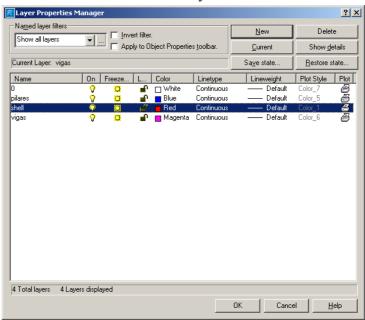
Ι.	· No Autocad	3
	1- Criação de layer	3
	2- Desenho das fôrmas	3
	3- Desenho tridimensional de todos os elementos estruturais	4
II ·	- No SAP	10
	1- Importar os elementos do Autocad	10
	2- Comandos do SAP : Barra de ferramentas	17
	3- Definindo os materiais e as seções dos elementos	25
	4- Fornecendo 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

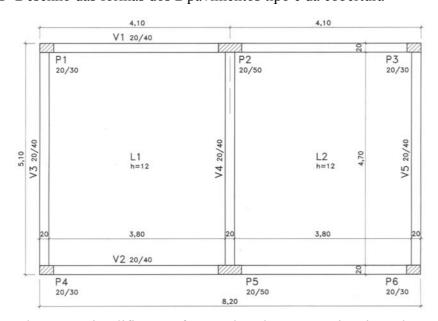
A estrutura pode ser criada diretamente no SAP2000 - versão 8, mas é mais fácil desenhá-la no Autocad e depois exportá-la para o SAP. A seguir temos um "passo a passo" desde o desenho no Autocad até a importação no SAP.

1- Criar um *layer* para cada elemento da estrutura: Format  $\rightarrow$  Layer  $\rightarrow$  New

vigas  $\rightarrow$  magenta pilares  $\rightarrow$  azul lajes (shell)  $\rightarrow$  vermelho

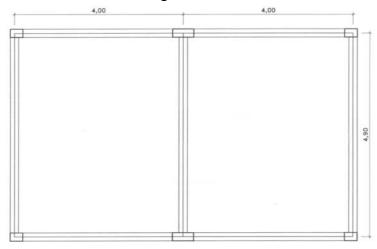


2- Desenho das fôrmas dos 2 pavimentos tipo e da cobertura

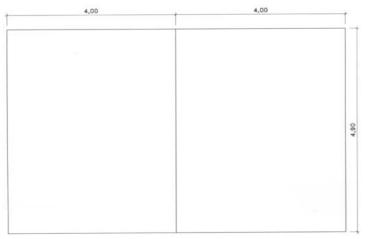


Obs : Para simplificar, as fôrmas da cobertura são iguais as dos pavimentos tipo.

- 3- Desenho tridimensional de todos os elementos estruturais
  - 3.1- Desenho dos eixos das vigas na fôrma
    - a) desenho dos eix os das vigas na fôrma

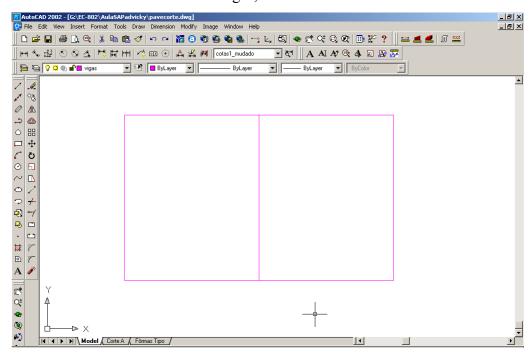


b) desenho dos eixos das vigas e suas dimensões

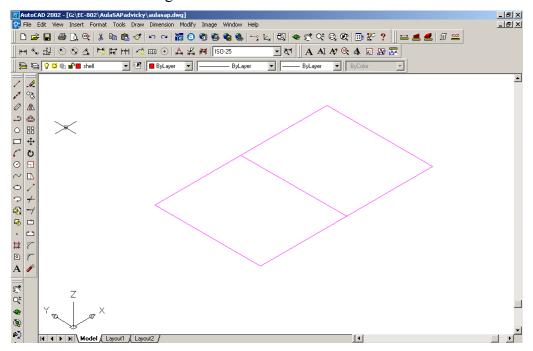


Obs: A partir deste item, os eixos das vigas serão denominados apenas vigas, para simplificar.

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  $\rightarrow$  3D Operation  $\rightarrow$  3D Array  $\rightarrow$  selecionar todas as vigas

Na barra de comandos:

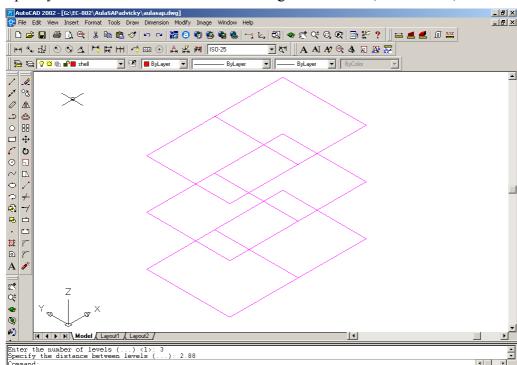
Enter the type of array  $\rightarrow$  ENTER

Enter the number of rows  $\rightarrow$  ENTER

Enter the number of columns  $\rightarrow$  ENTER

Enter the number of levels  $\rightarrow$  digite 3, ENTER

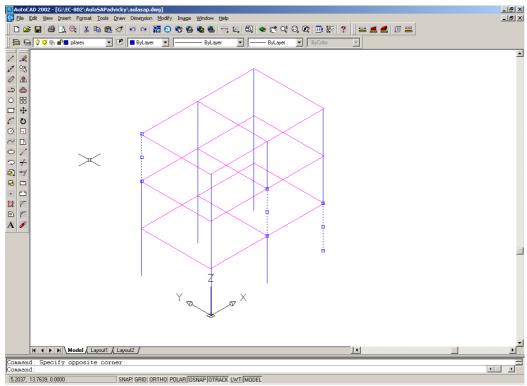
Specify the distance between levels  $\rightarrow$  digite a distância, no ex. 2.88, ENTER



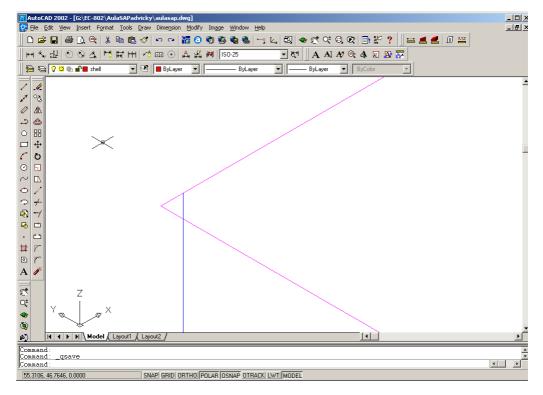
3.2- Desenho dos pilares ligados às vigas

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.



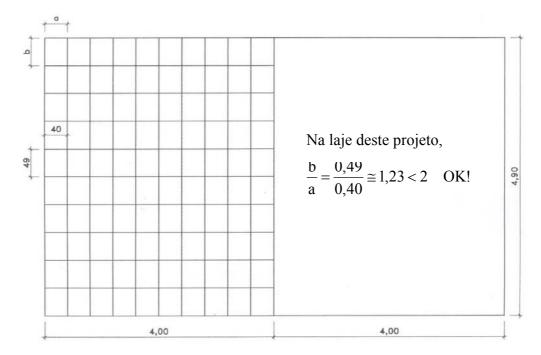
b) Lembrar que os eixos dos pilares de 20/30 não coincidem com o encontro dos eixos das vigas; eles cruzam com os eixos das vigas longitudinais, mas apresentam um deslocamento de 5 cm dos eixos das vigas transversais.



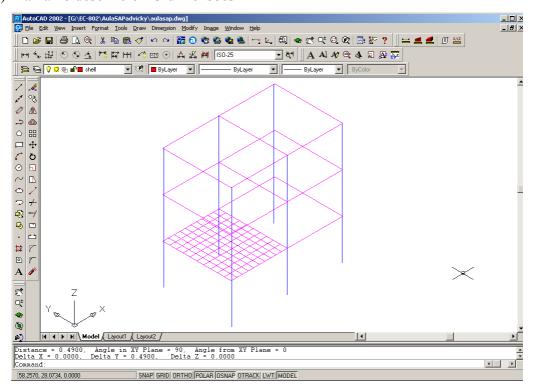
#### 3.3- Desenho das lajes

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 (≥ 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 :  $1 \le b/a < 2$
  - -Melhor relação entre b e a, que origina elementos quadrados :  $1 \le b/a \le 4/3 = 1,33$

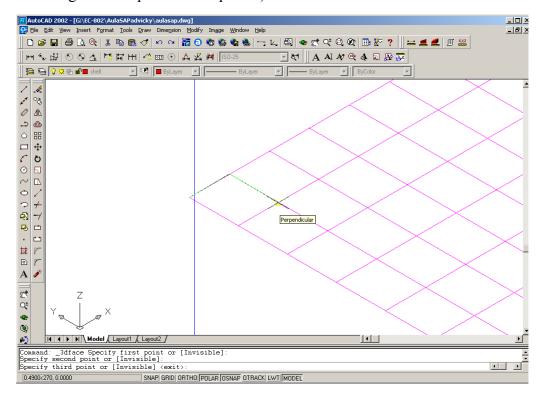


b) Malha no desenho em 3 dimensões



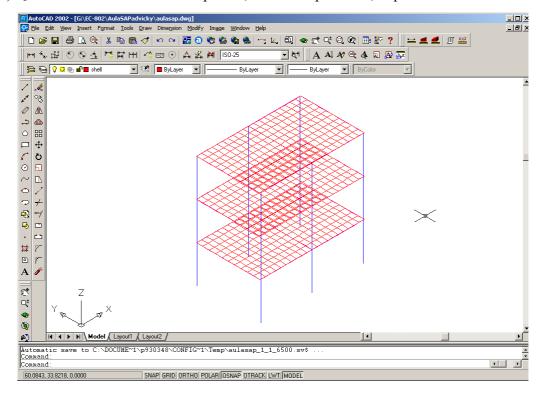
c) Em cada retângulo da malha, desenhar uma superfície:

Draw → Surfaces → 3D face → desenhar a superfície ("clicar" nos 4 pontos do retângulo e a superfície está pronta)



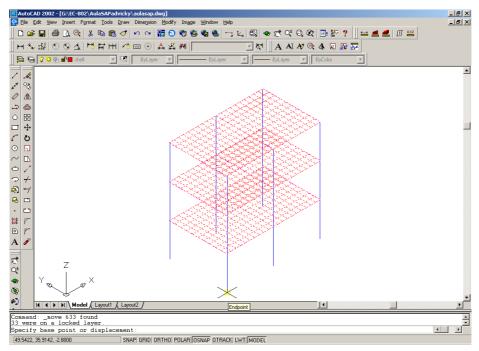
Obs: Fazer todas as superfícies no mesmo sentido (horário, neste caso), para que no SAP todas elas tenham os eixos locais iguais; sendo assim, ao aplicar as cargas nas lajes, não haverá cargas em sentidos opostos.

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

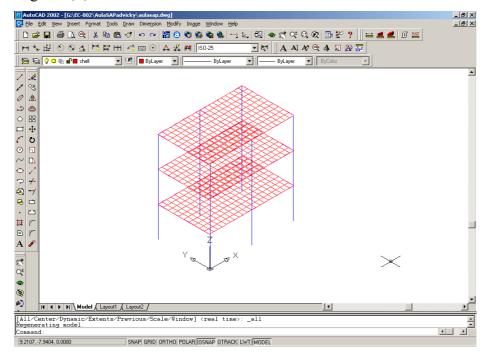


e) Mover toda a estrutura para a origem (0,0,0), para facilitar a verificação das coordenadas dos nós no SAP200.

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



Digitar  $0,0,0 \rightarrow ENTER$ 

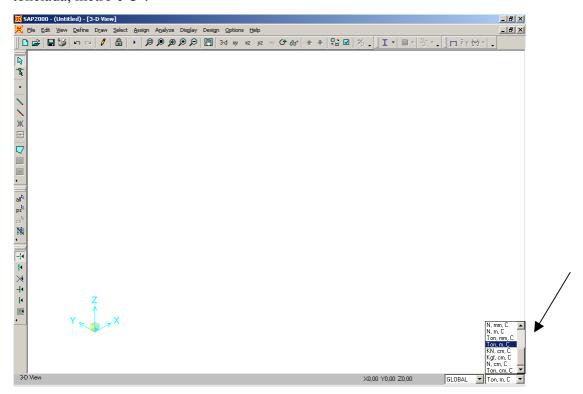


# II - No SAP

1- Importar os elementos do Autocad

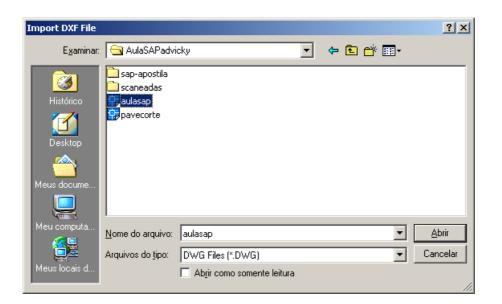
Obs: O desenho no Autocad pode ficar aberto, basta o arquivo estar salvo.

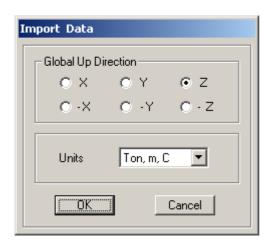
a) Abrir o SAP e no canto direito modificar a unidade, que preferivelmente deve ser tonelada, metro e C°.



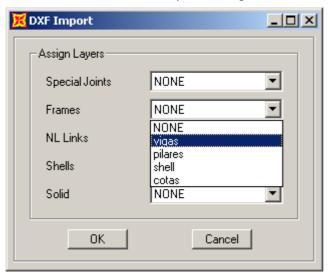
b) Importar as vigas

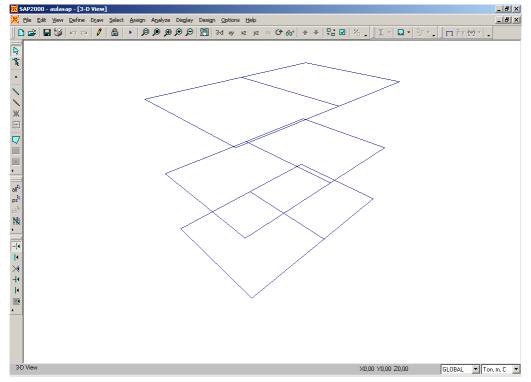
File → Import → Autocad . dxf / dwg File → selecionar o arquivo \*.dwg → Abrir





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

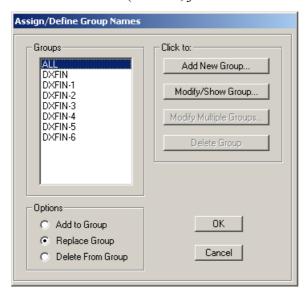




As barras estão todas selecionadas; criar um grupo para essas barras.

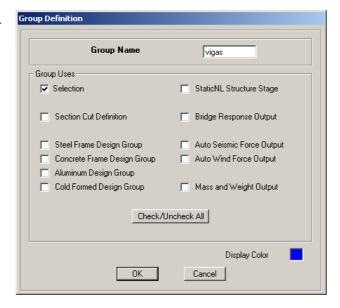
A finalidade dos grupos é facilitar a seleção dos elementos. Os grupos podem ser criados a qualquer momento, mesmo após a análise do modelo; sua criação depende das necessidades: apresentação de resultados, verificações, alterações, etc.

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



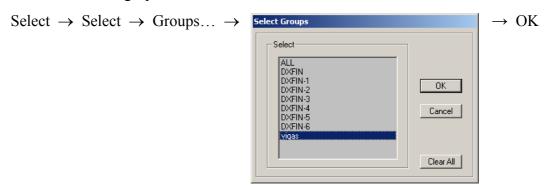
Nesta janela, o Grupo *ALL* não pode ser modificado, os demais, criados pelo próprio SAP, podem ser apagados.

Add New Group...

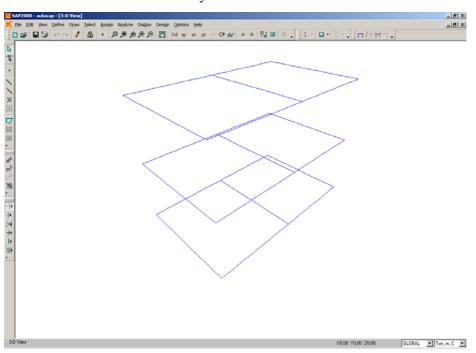


O nome do grupo escolhido foi "vigas". Como será um grupo com a finalidade de selecionar todas as vigas, apenas a opção *Selection* é selecionada.

Pare selecionar o grupo:



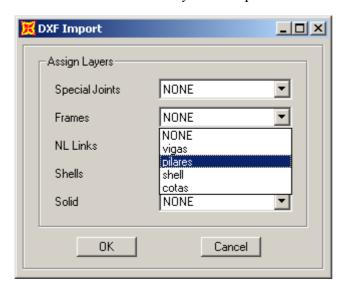
View → Show Selection Only

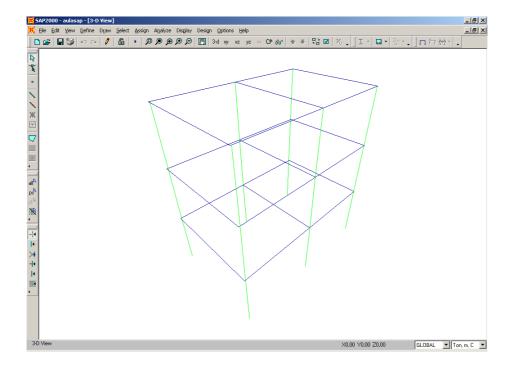


# c) Importar os pilares

Mesmo procedimento das vigas, mudando somente em:

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

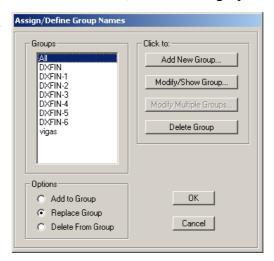




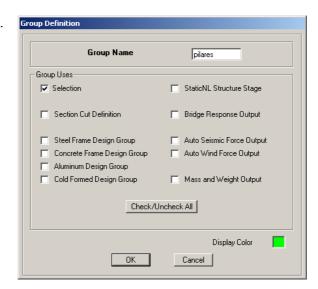
Ao importar os elementos, vigas e pilares, eles geralmente possuem a mesma cor. Posteriormente, será visto como alterar essas cores.

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

Assign → Assign to Group... Assign/Define Group Names



Add New Group...

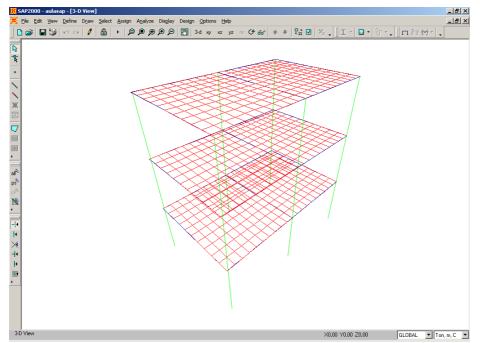


# d) Importar as lajes

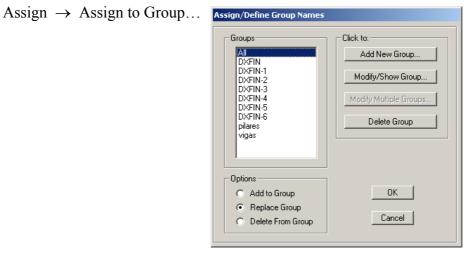
Mesmo procedimento das vigas, mudando somente em:

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

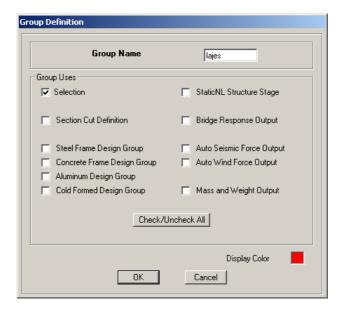




Ao importar as shells, elas ficam selecionadas; basta criar um grupo



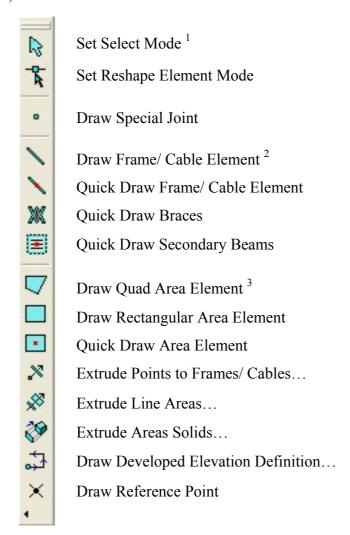
Add New Group...



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

#### 2- Comandos do SAP: Barra de Ferramentas

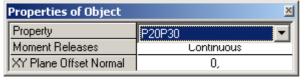
#### a) DRAW



#### **NOTAS:**

<sup>1</sup> 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.

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



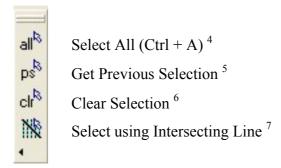
e deve-se escolher a seção que a barra deve ter. Utilizado somente se for desenhar no SAP.

<sup>3</sup> 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.

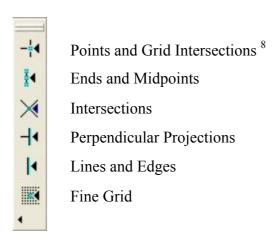
# b) SELECT



### **NOTAS:**

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

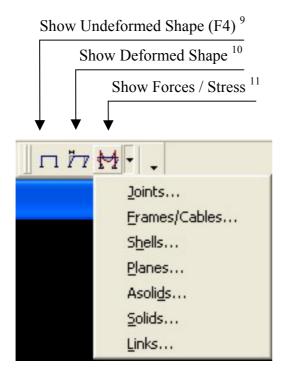
# c) SNAP



#### **NOTAS:**

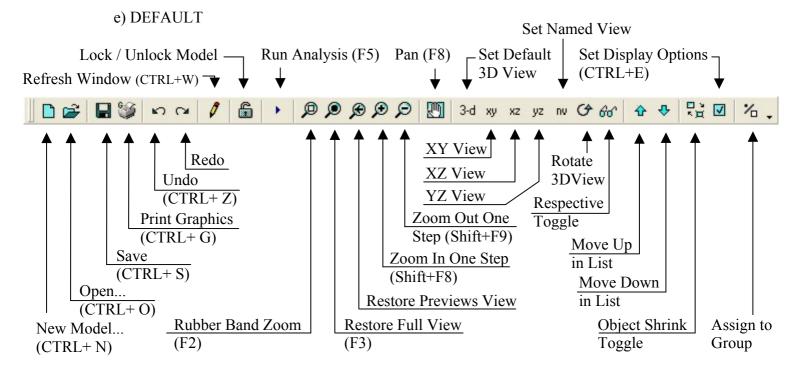
<sup>8</sup> Este ícone serve para que ao selecionar um elemento, ele dê preferência aos nós; geralmente já está selecionado.

# d) DISPLAY

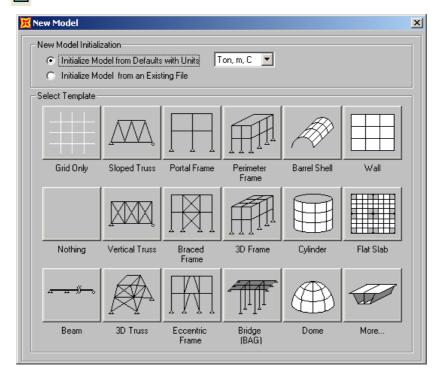


#### **NOTAS:**

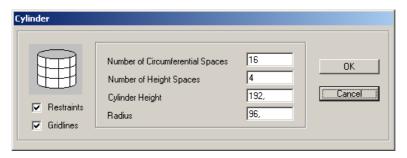
- Este ícone serve para que o SAP mostre a estrutura sem nenhuma deformação, como ela foi inicialmente desenhada.
- Este ícone serve para que o SAP mostre a estrutura sem nenhuma deformação, como ela foi inicialmente desenhada.
- <sup>11</sup> Este ícone serve para que o SAP mostre os esforços (diagramas,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



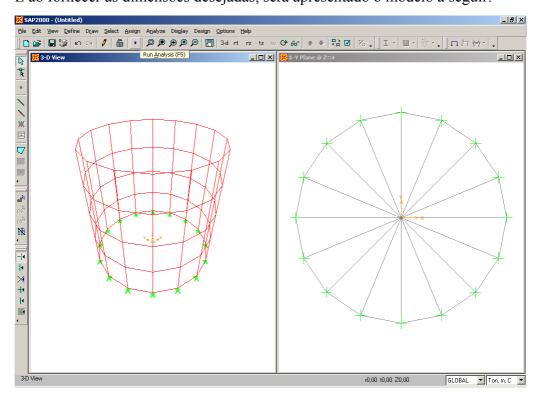
e.1 - Para iniciar um novo modelo diretamente no SAP



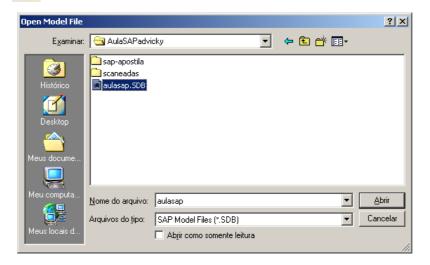
Pode-se iniciar um novo modelo selecionando uma das sugestões acima, por exemplo



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



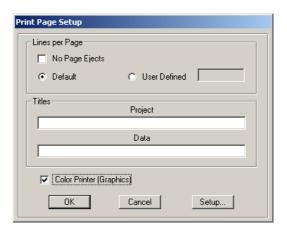
e.2 - Para abrir um modelo já existente no SAP, um arquivo \*.sdb



- 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...

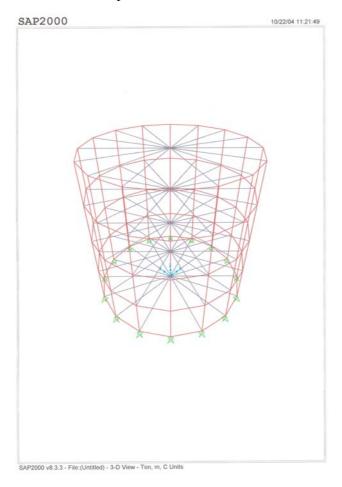




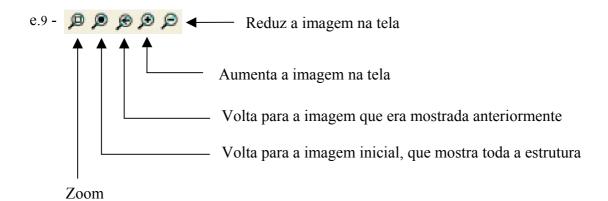


Escolher a impressora, o tamanho da folha e a orientação da impressão.

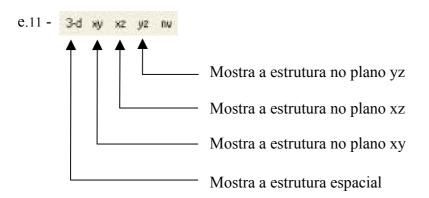
# Resultado da impressão:



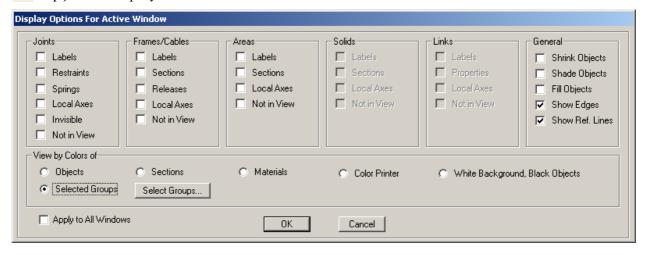
- e.5 Para desfazer ou refazer uma ação (desenhar, apagar, aplicar cargas, etc) no modelo. Não ficam disponíveis após o arquivo ser salvo.
- e.6 🥖 Atualiza o que é mostrado na tela.
- e.7 Quando selecionado, não permite que o modelo sofra alterações. É automaticamente selecionado após o modelo ser analisado.
- e.8 Para iniciar a análise do modelo.



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



- 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

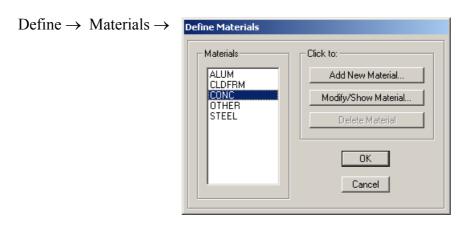
- Objects: mostra os elementos com as cores dos objetos.
- Sections: mostra os elementos com as cores das seções.
- Materials: mostra os elementos com as cores dos materiais. Não é indicado porque em geral todos os elementos são do mesmo material, concreto, e ficariam todos com a mesma cor.
- Color Printer: mostra os elementos com as cores que eles serão impressos.
- White Background, Black Objects: mostra os elementos em tons de cinza.
- Selected Goups: 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 freqüência. Falaremos detalhadamente de cada um deles posteriormente.

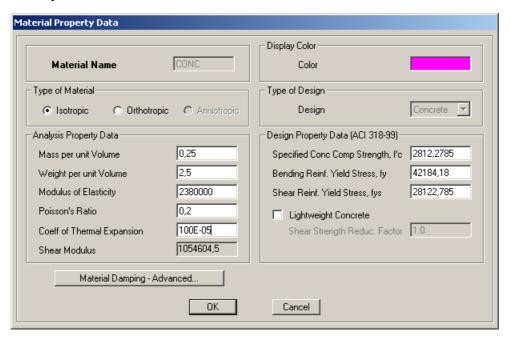
### 3- Definindo os materiais e as seções dos elementos

#### 3.1- Materiais

#### a) Concreto



### Modify / Show Material...



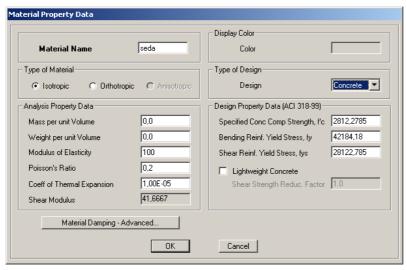
Os valores apresentados na janela anterior não são *default* do SAP, por isso devem ser modificados de acordo com os valores que utilizamos em nossos cálculos, como por exemplo,  $\gamma_{concr}=0.25\,t/m^3$  e o coeficiente de Poisson  $\nu=0.2$ . Geralmente utilizamos o concreto com  $f_{ck}=25\,\text{MPa}$ , 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



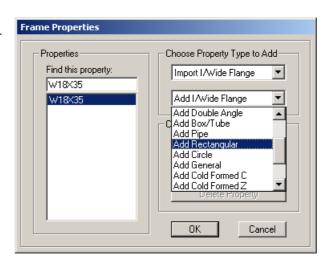
Os valores apresentados na janela acima são os adotados para que os elementos cujo material seja "seda" não interfiram no cálculo, ou seja, apenas transfiram cargas e não funcionem como elementos estruturais.

#### 3.2- Seções dos elementos

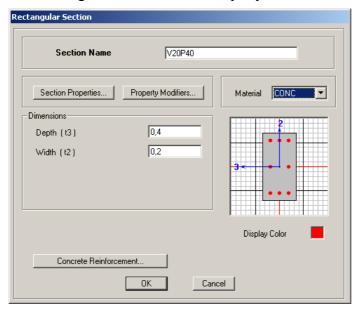
Obs : A janela *Frame Properties* indica várias seções de barras; estas seções podem ser apagadas, exceto uma única seção (não se consegue apagá-la), seção automaticamente fornecida pelo programa às barras no momento em que elas são importadas.

#### a) Seções das vigas

Define → Frame / Cable Sections...

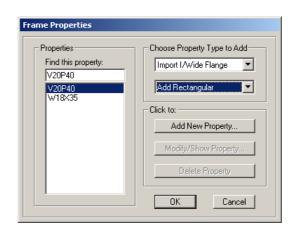


# Add Retangular → Add New Property

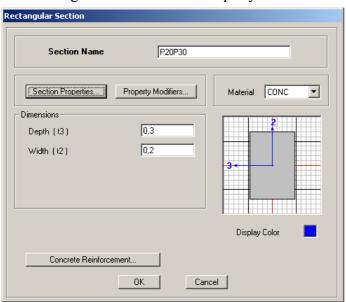


# b) Seções dos pilares

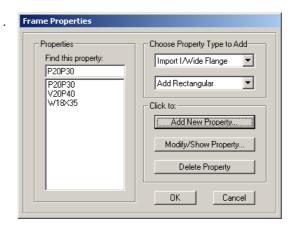
Define → Frame / Cable Sections...



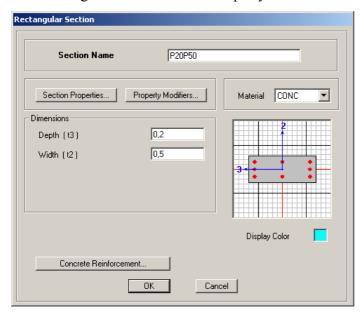
### Add Retangular → Add New Property



Define → Frame / Cable Sections... Frame Properties

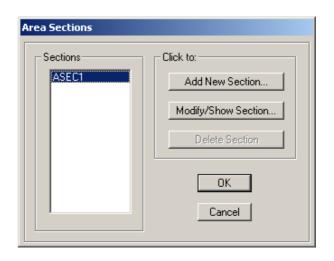


### Add Retangular → Add New Property

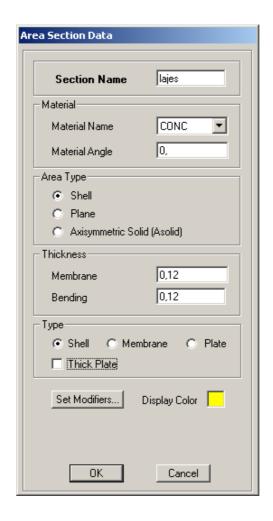


# c) Seções das lajes

Define → Area Sections...



Modify / Show Section

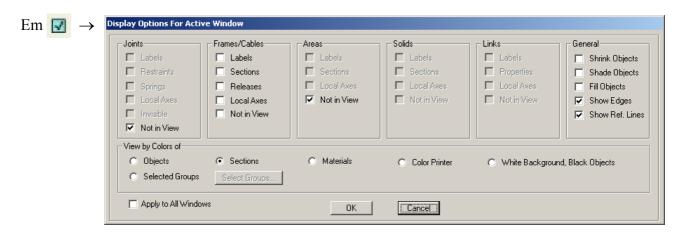


Em "Section Name", escolher um nome qualquer. Em "Material", selecionar o material CONC (concreto). Em "Area Type", selecionar "shell". Em "Thickness" (espessuras) colocar a espessura das lajes especificadas nas fôrmas (h = 12 cm) em metros, tanto em "Membrane" quanto em "Bending". Em "Type" selecionar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

#### 4- Fornecendo as seções aos elementos

### a) Vigas

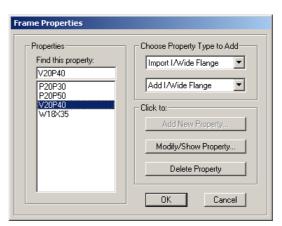
Para facilitar, deixar somente as barras visíveis no modelo:



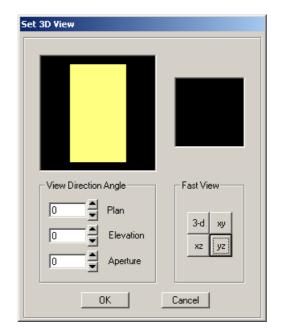
Na janela anterior, em "Joints" e "Áreas", selecionar "Not in View". Para que as cores do modelo fiquem de acordo com as seções dos elementos, selecione em "View by Color of" a opção "Sections".

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

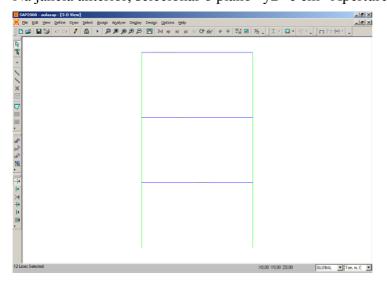
Assign  $\rightarrow$  Frame / Cable  $\rightarrow$  Sections

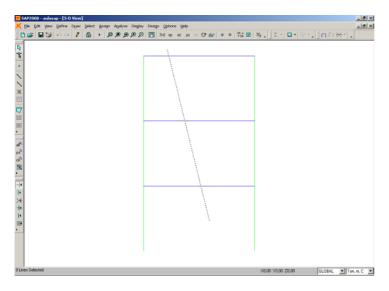


 $View \rightarrow Set 3D View...$ 



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

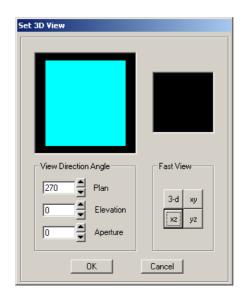




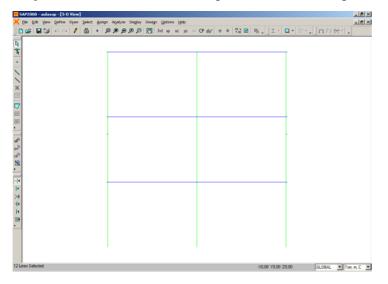
Dessa forma, todas as vigas transversais serão selecionadas.

Para as vigas longitudinais:

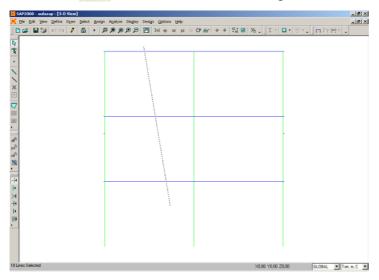
 $View \rightarrow Set 3D View...$ 



Na janela anterior, selecionar 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.

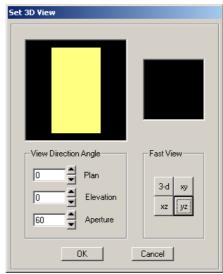
# b) Pilares

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

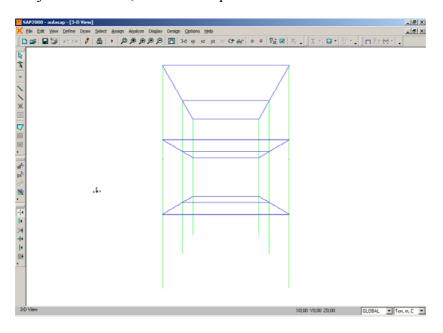
### b.1 – Pilares de 20/30

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

View → Set 3D View... Set 3D View

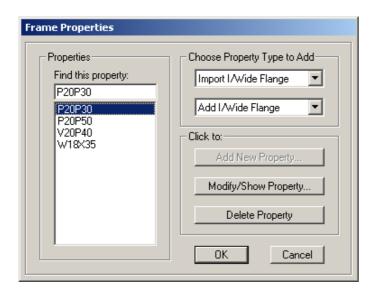


Na janela anterior, selecionar o plano "xz".



Selecionar os pilares desejados.

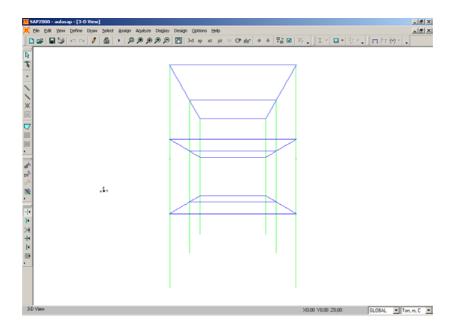
Assign  $\rightarrow$  Frame / Cable  $\rightarrow$  Sections



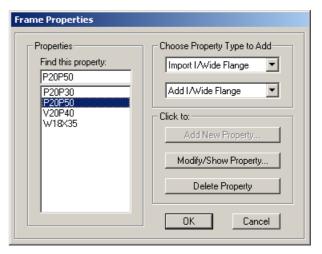
#### b.2 – Pilares de 20/50

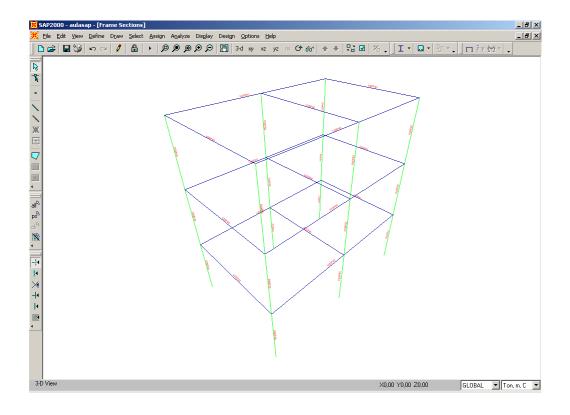
Selecione as barras que devem ter seção 20/50 (ver fôrmas)

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



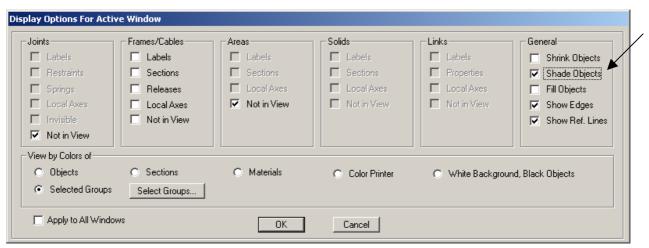
Assign → Frame / Cable → Sections Frame Properties



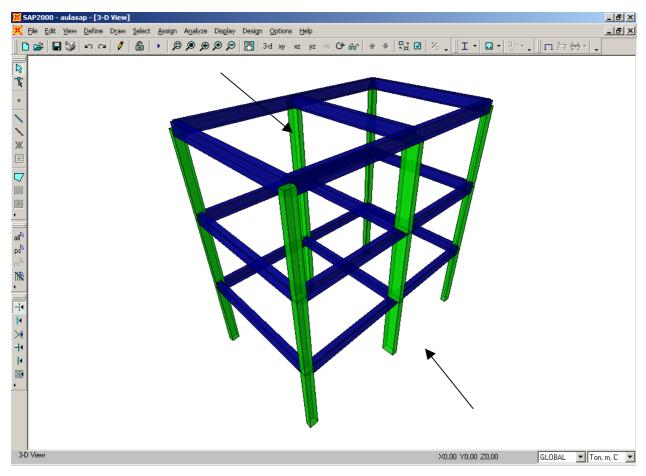


Após definir as seções das barras, devemos verificar se a seção está com a orientação correta, ou seja, se as dimensões do SAP são as especificadas no desenho das fôrmas.

View → Set Display Options

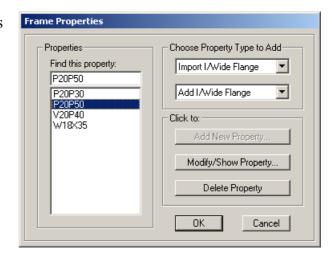


Em "General", selecionar "Shade Objects" para que apareçam as extrusões dos elementos.

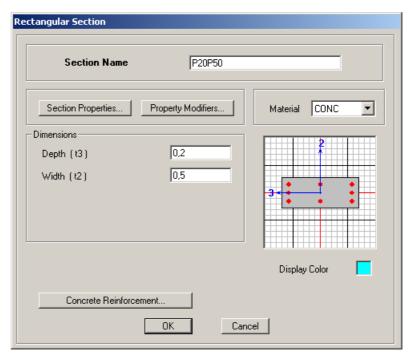


Podemos verificar que os pilares de 20/50 estão com a seção contrária ao especificado nas fôrmas, portanto temos que alterar a seção.

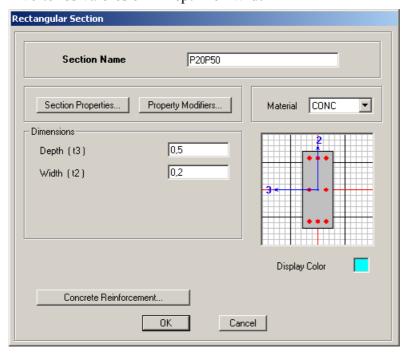
Define → Frame / Cable Sections

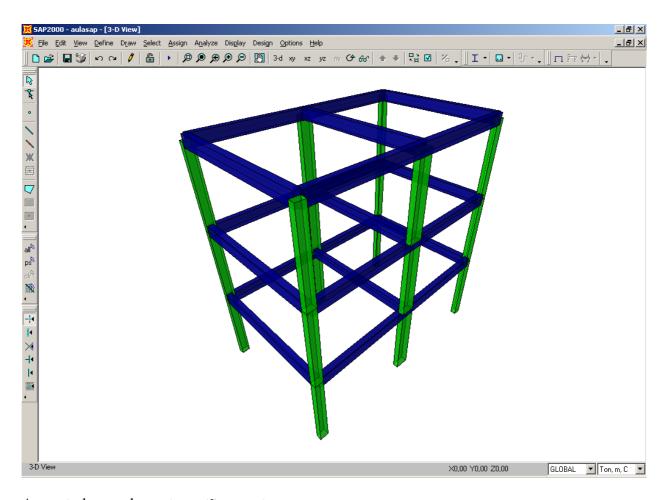


Modify / Show Property



Inverter os valores em "Depth" e "Width"



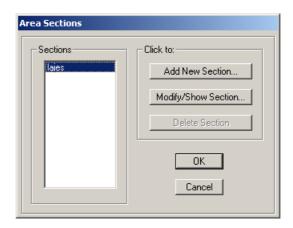


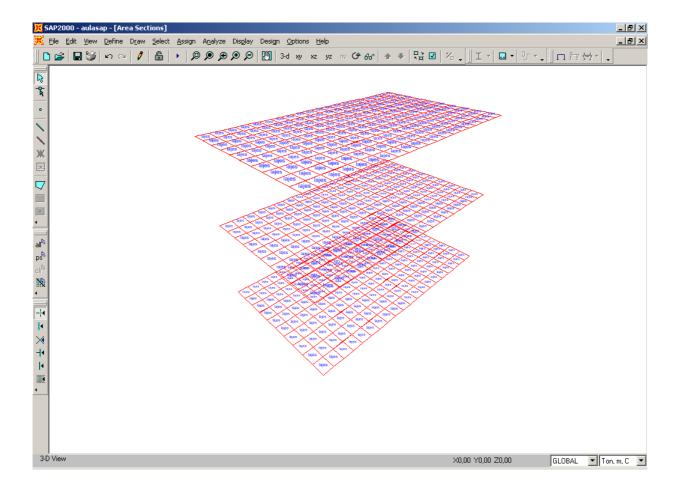
Agora todos os elementos estão corretos.

# c) Lajes

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

Assign  $\rightarrow$  Area  $\rightarrow$  Sections





# 5- Criar as "Lajes de seda" (artificio inventado pelo Prof. Flávio de O. Costa e pelo Eng. Edvaldo Costa)

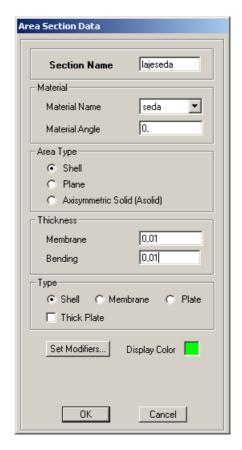
São lajes com espessura muito pequena, sem função estrutural, que servem apenas para distribuir a pressão do vento.

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  $\rightarrow$  Area sections  $\rightarrow$  Add New Section



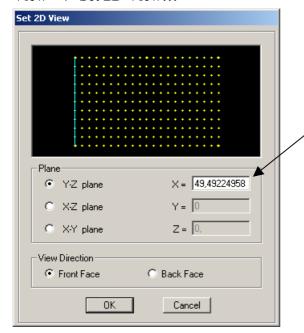
### b) Desenhar as lajes

Acionar de deixar os nós da estrutura visíveis

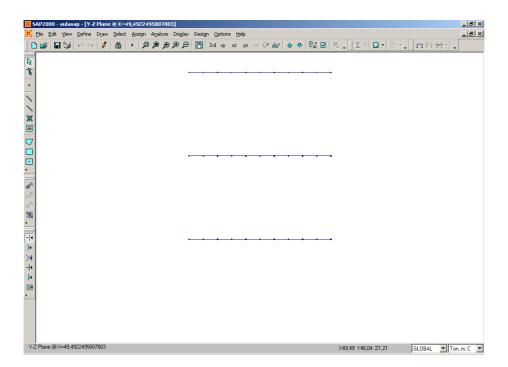


Para facilitar o desenho das lajes, ao invés de mostrar a estrutura espacialmente, é preferível mostrar os planos:

 $View \rightarrow Set 2D View...$ 



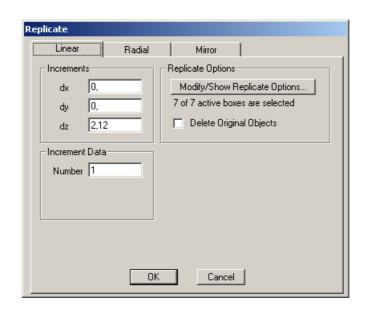
O valor de x vai depender da posição da estrutura no SAP; o importante é selecionar o plano correto.

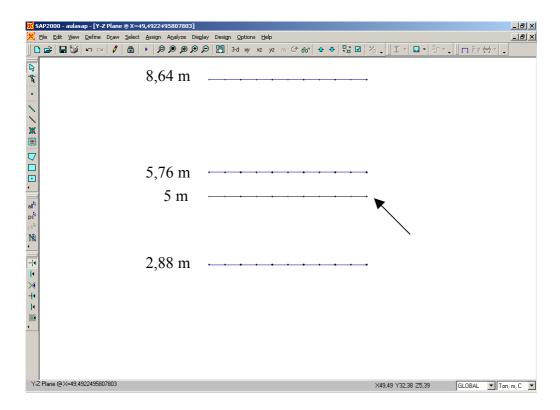


O valor da pressão do vento varia a cada 5 m de altura, portanto temos que desenhar vigas de apoio quando atingirmos 5 m, 10 m e assim por diante. Lembrar de apagar essas vigas ao término do desenho das *shells*.

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

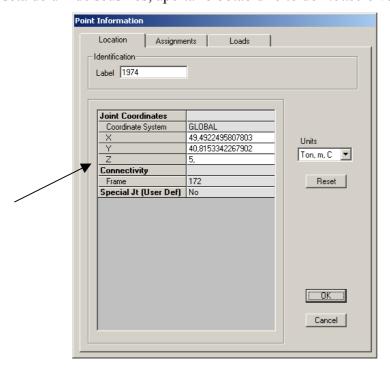
Edit → Replicate





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

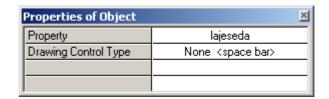
Para saber se a altura da viga de apoio está correta (suas coordenadas), basta aproximar a seta de um de seus nós, apertar o botão direito do *mouse* e verificar a coordenada z.

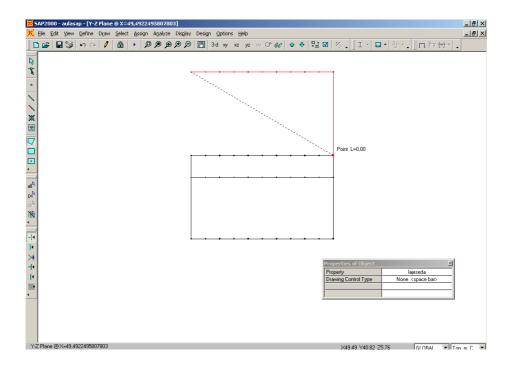


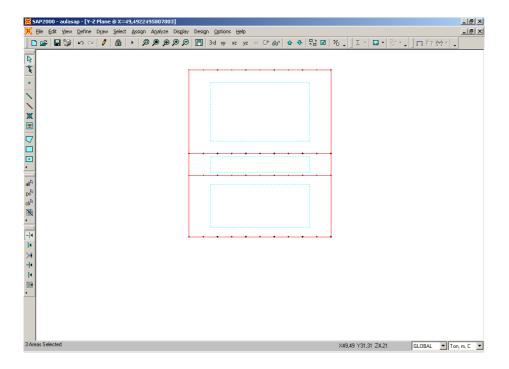
O último pavimento da estrutura está a 8,64 m < 10 m, portanto não será necessário desenhar mais vigas de apoio.

Desenhar as "lajes de seda":

Draw → Draw Quad Area



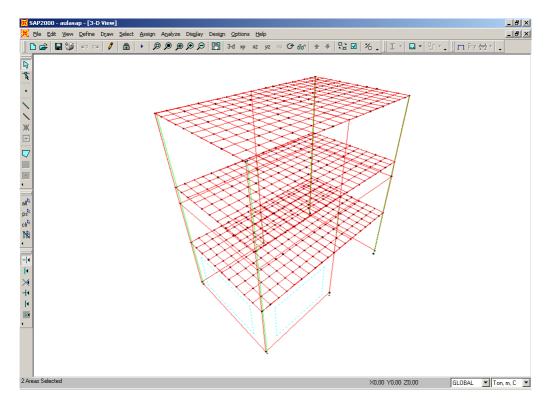




Repetir a operação para as quatro faces da estrutura.

No térreo, só haverá *shells* se houver paredes (fechamento), o que <u>não</u> 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).

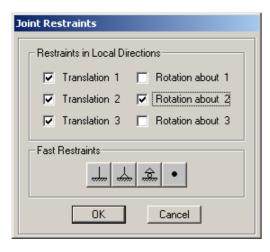


### 6- Restrições dos nós

### a) Selecionar os nós

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

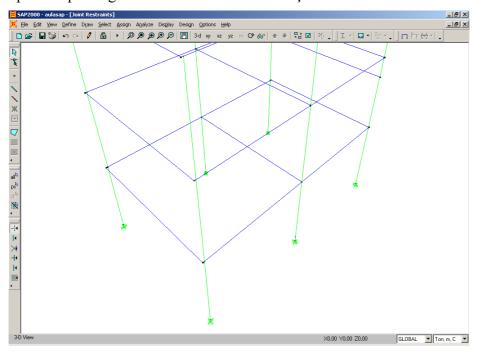
Assign  $\rightarrow$  Joint  $\rightarrow$  Restraints



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  $z \Rightarrow Rotation \ about \ 3$ 

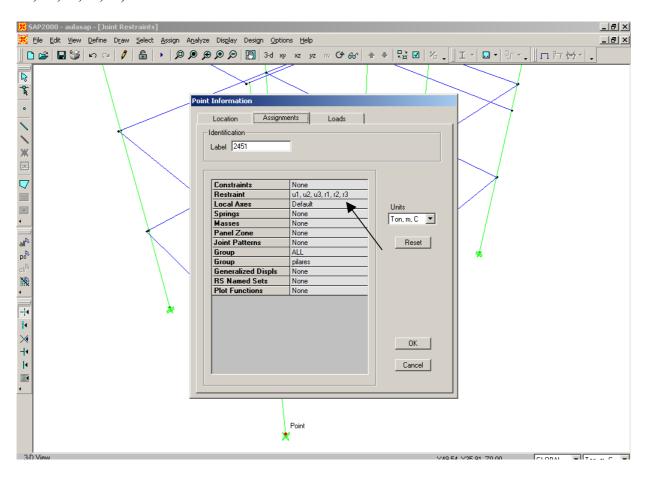
dengaste ⇒ todas as opções estão selecionadas
 de apoio fixo ⇒ selecionadas apenas as opções Translation 1, 2 e 3
 de apoio móvel ⇒ selecionada apenas a opção Translation 3
 nó livre ⇒ nenhuma opção selecionada

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 (u1, u2, u3, r1, r2, r3).

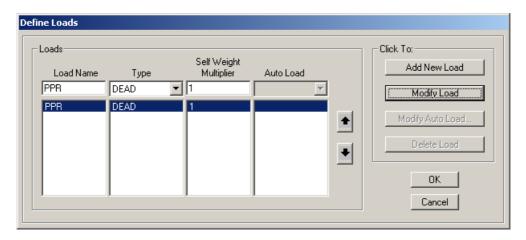


### 7- Cargas aplicadas nas vigas

### 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

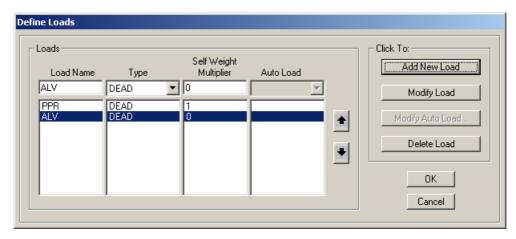


### 7.2- Alvenaria

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

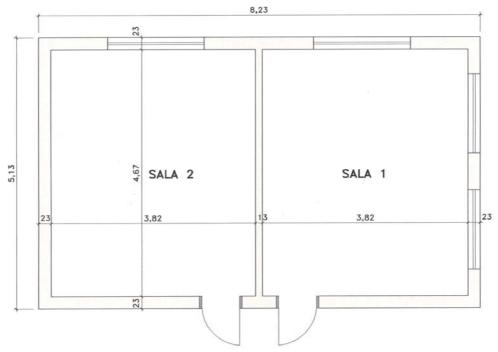
a) Definição da carga (1º e 2º pavimentos)

Define  $\rightarrow$  Load Cases  $\rightarrow$  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.

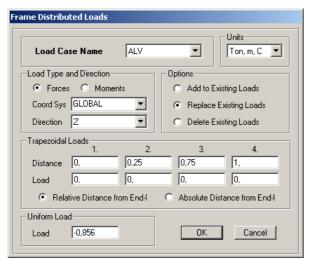
Paredes de 23 cm: alv =  $0.23 \times 2.48 \times 1.5 = 0.85^{\frac{6}{1}}$  t/m

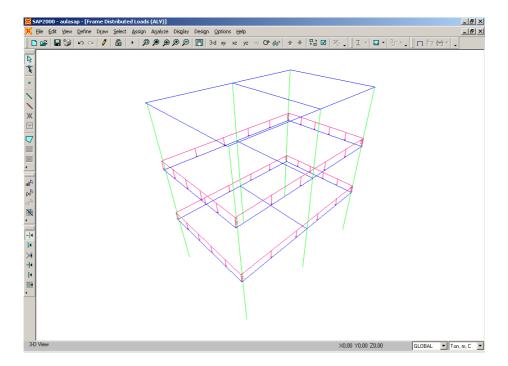
Paredes de 13 cm: alv =  $0,13 \times 2,48 \times 1,5 = 0,48^{\frac{4}{5}}$  t/m

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

Selecionar as vigas sob as paredes de 23 cm.

Assign → Frame / Cable Loads → Distributed...

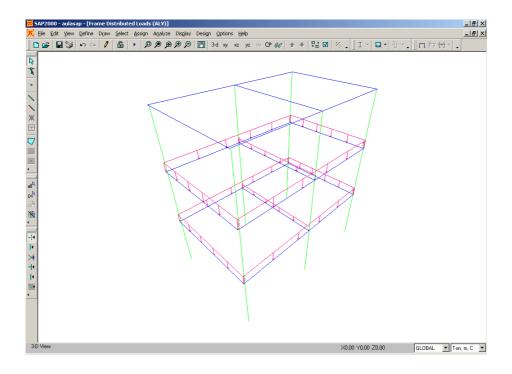




Selecionar as vigas sob as paredes de 13 cm.

Assign  $\rightarrow$  Frame / Cable Loads  $\rightarrow$  Distributed...



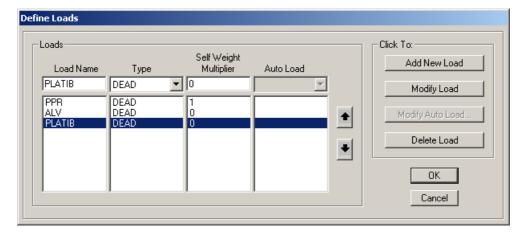


### 7.3 - Platibanda

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  $\rightarrow$  Load Cases  $\rightarrow$  Add New Load

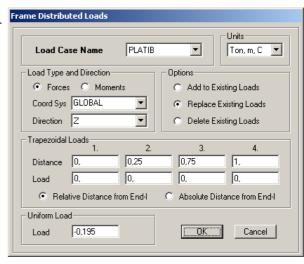


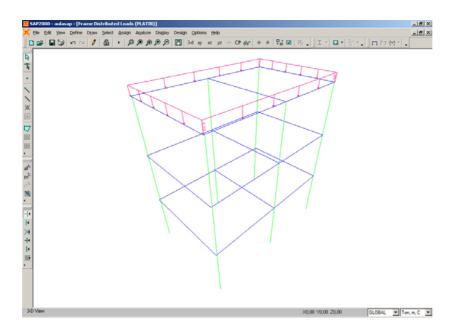
b) Cálculo da carga (cobertura)

platib = 
$$0.13 \times 1.00 \times 1.5 = 0.19^{5}$$
 t/m

c) Aplicação da carga (cobertura)Selecionar as vigas do perímetro.

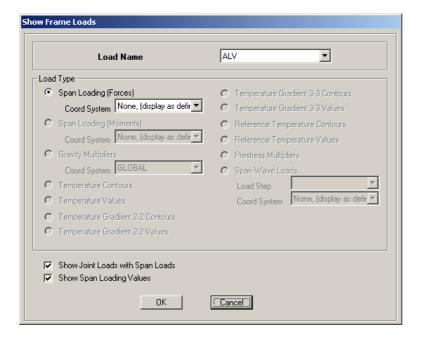
Assign  $\rightarrow$  Frame / Cable Loads  $\rightarrow$  Distributed...

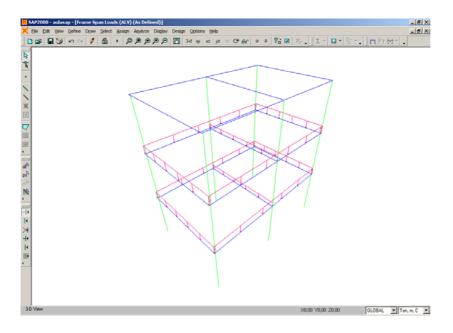




Para mostrar qualquer carga aplicada nas vigas:

Display  $\rightarrow$  Load Assigns  $\rightarrow$  Frame / Cable...





E para as demais cargas, repetir o procedimento.

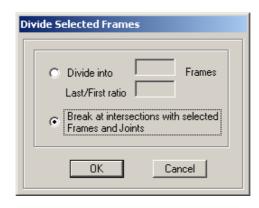
### 8- Divisão das barras

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 tranfiram os esforços para as vigas, devemos dividir as barras nos pontos de encontro.

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

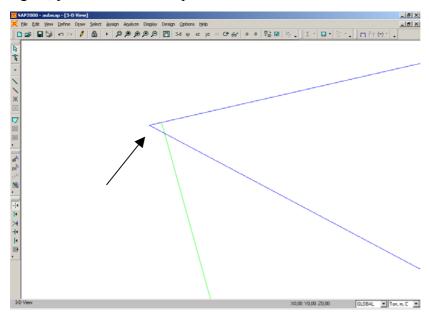
Edit → Divide Frames



Está feita a divisão.

# 9- Elementos rígidos

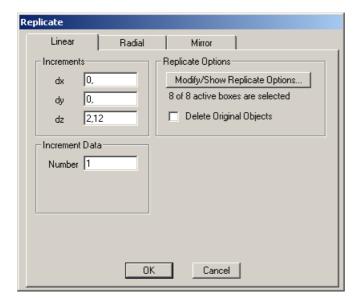
Os eixos dos pilares de canto estão com um deslocamento de 5 cm. Esse trecho deve ser rígido, pois está dentro do pilar.

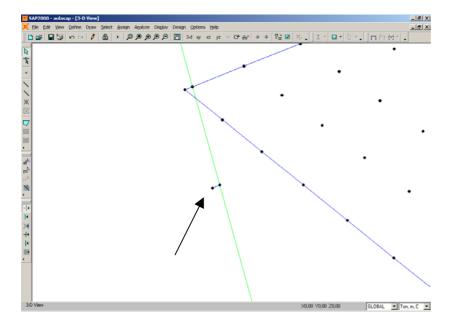


Antes de transformá-los em elementos rígidos, devemos copiar esses trechos de 5 cm para os nós que estão a 5 m de altura (nós das lajes de seda), para que as lajes consigam transmitir os esforços (vento) para a estrutura.

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

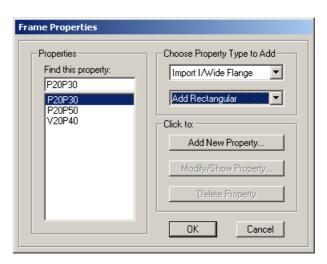
Edit → Replicate...



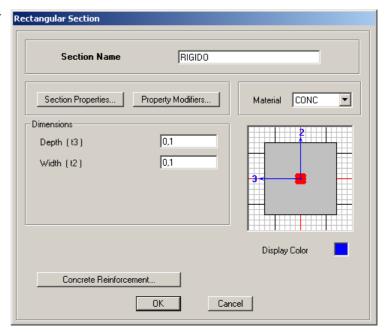


Criar uma seção para os elementos rígidos:

Define → Frame / Cable Sections...

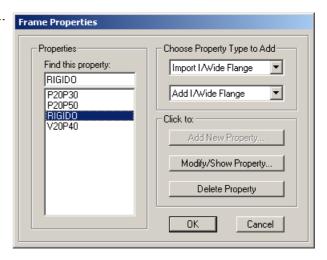


Add Retangular → Add New Property



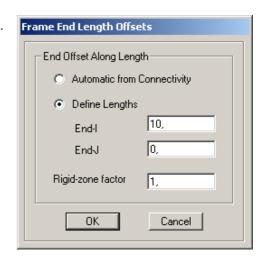
Selecionar todos os trechos de 5 cm.

Assign  $\rightarrow$  Frame / Cable  $\rightarrow$  Sections...



Selecione todos os trechos novamente  $\rightarrow ps$ , para torná-los rígidos.

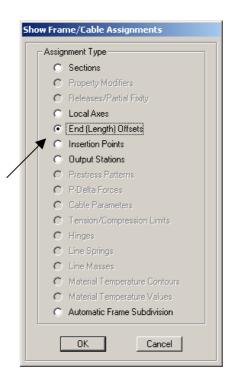
Assign  $\rightarrow$  Frame / Cable  $\rightarrow$  End (Length) Offsets...

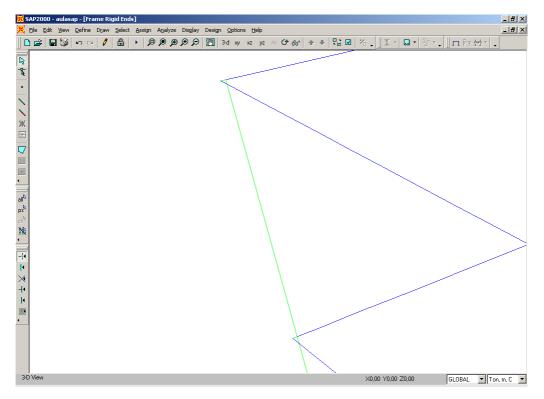


O comprimento pode ser qualquer um, desde que maior do que 5 cm. O fator de rigidez é 1,0.

Para mostrar os trechos rígidos:

Display  $\rightarrow$  Misc Assigns  $\rightarrow$  Frame / Cable



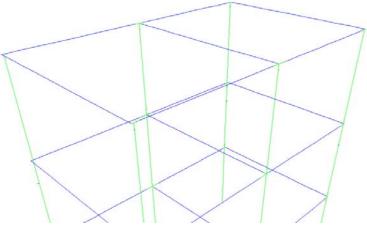


Os trechos rígidos ficam com uma cor diferente das barras (a mesma cor do texto).

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

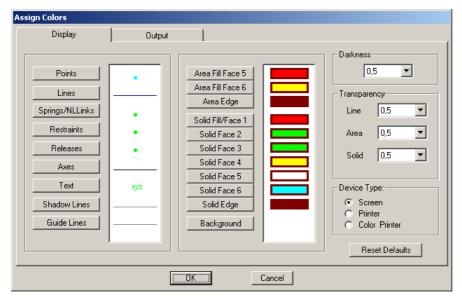
Assign  $\rightarrow$  Frame / Cable  $\rightarrow$  End (Length) Offsets...





10- Alteração das cores do modelo

Options  $\rightarrow$  Colors  $\rightarrow$  Display...



Para alterar a cor do texto, por exemplo, selecionar

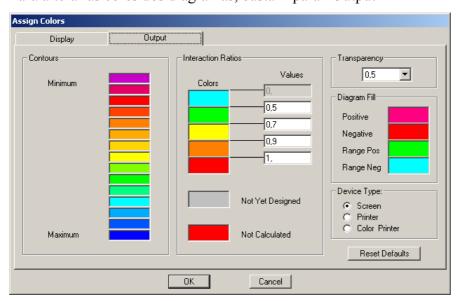
Text

Abrirá a janela "Cor"



Selecionar a cor desejada  $\rightarrow$  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  $\rightarrow$  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

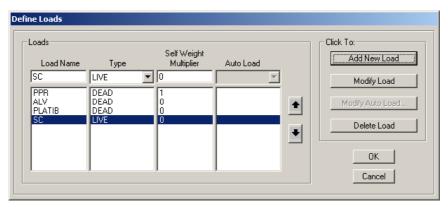
### a) Sobrecarga (sc)

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 ( $1^{\circ}$  e  $2^{\circ}$ ) é sc = 0,20 t/m<sup>2</sup> (Escritórios, salas de uso geral).

### a.1 - Definição da carga

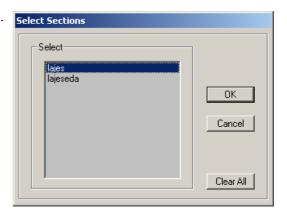
Define → Load Cases...



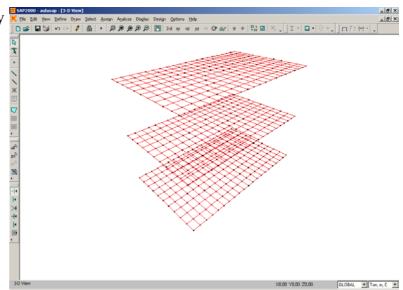
# a.2 - Aplicação da carga

Selecionar as shells:

Select  $\rightarrow$  Select  $\rightarrow$  Area Sections... Select Sections

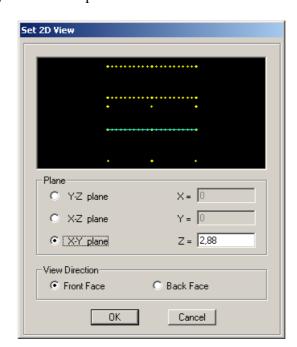


View → Show Selection Only



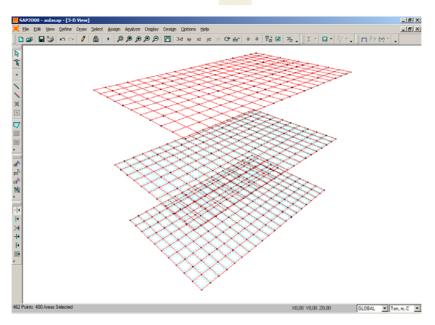
Selecionar apenas as lajes do 1º e 2º pavimentos.

 $View \rightarrow Set 2D View$ 



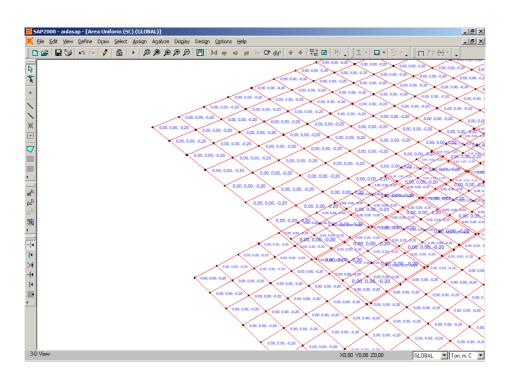
Em x-y, z = 2,88. A planta do pavimento será mostrada. Selecionar todas as *shells*. Repetir a operação para as *shells* em z = 5,76.

Mostrar a estrutura em 3D  $\rightarrow$  3-d



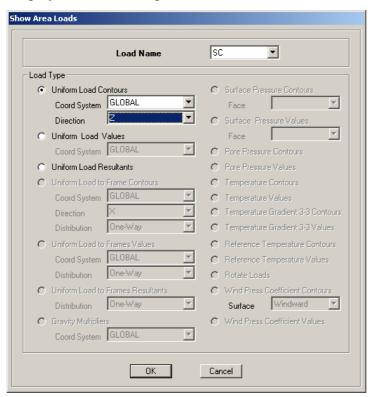
Assign → Area Loads → Uniform (Shell)... Area Uniform Loads

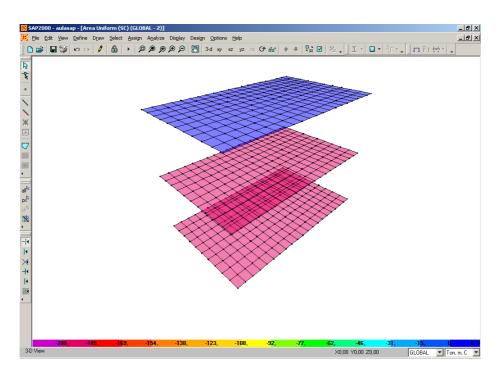




Para verificar se todas as *shells* da malha estão com os seus eixos locais na mesma direção:

Display  $\rightarrow$  Load Assigns  $\rightarrow$  Area...





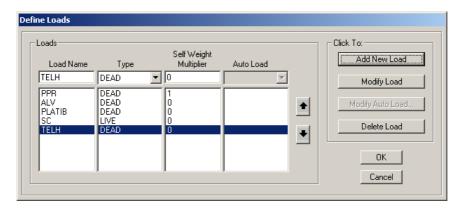
A cor azul indica que a sobrecarga é nula, e a cor rosa indica a sobrecarga de  $0,20\,t/m^2$  .

### b) Telhado (telh)

O peso do telhado é distribuído na laje de cobertura e vale  $telh = 0.07 t/m^2$  (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

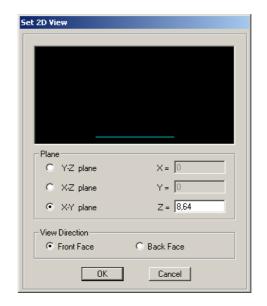
Define → Load Cases...



# b.2 - Aplicação da carga

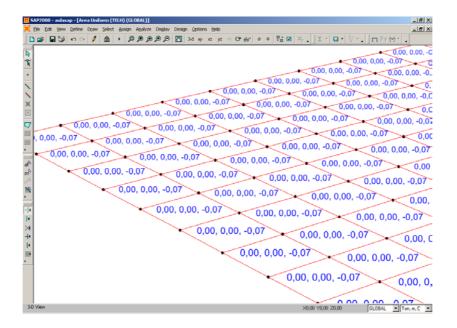
Selecionar as shells da cobertura

View → Set 2D View...



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





#### c) Vento

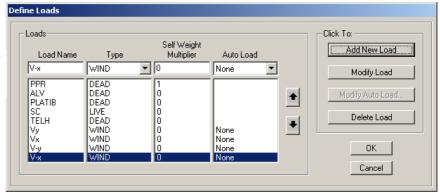
O vento é aplicado nas lajes de seda. Deve-se calcular o valor da pressão do vento, de acordo com a Norma, mas como este exemplo serve apenas para ilustrar os comandos do SAP2000, utilizaremos os valores do Projeto Modelo de 4 pavimentos (EC 802), que não são valores corretos, ou seja, de acordo com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

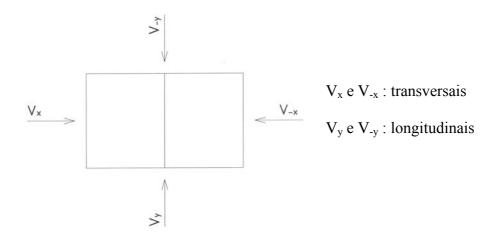
#### c.1 - Pressões de vento na estrutura

### c.2 - Definição da carga

Define → Load Cases Define Loads

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

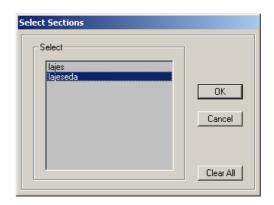




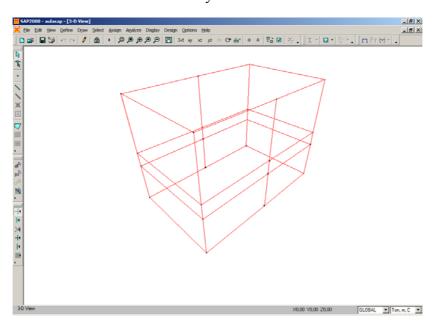
# c.3 - Aplicação da carga

Selecionar as lajes de seda:

Select  $\rightarrow$  Select  $\rightarrow$  Area Sections



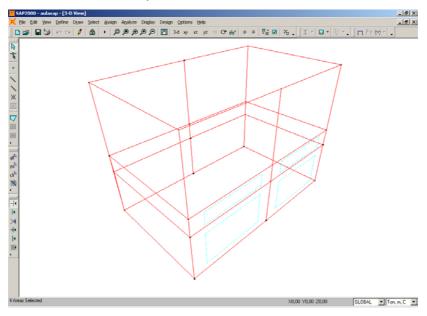
View → Show Selection Only



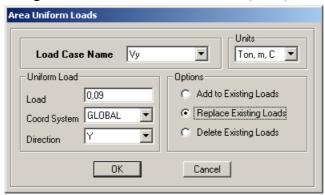
# Ventos longitudinais:

 $\bullet V_y$ 

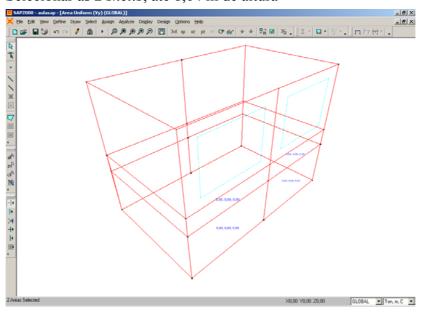
Selecionar as 4 shells, até 5 m de altura



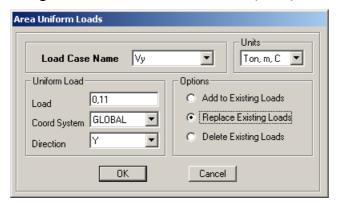
Assign → Area Loads → Uniform (Shell)...

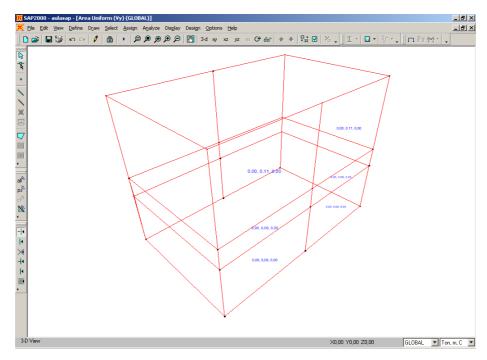


### Selecionar as 2 shells, até 8,64 m de altura

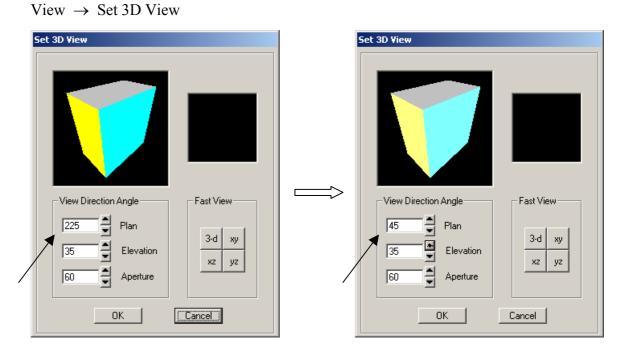


Assign  $\rightarrow$  Area Loads  $\rightarrow$  Uniform (Shell)...

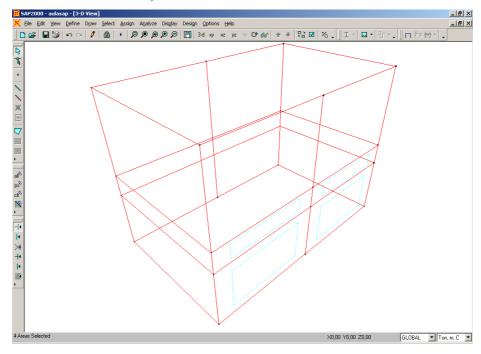




# 



# Selecionar as 4 shells, até 5 m de altura

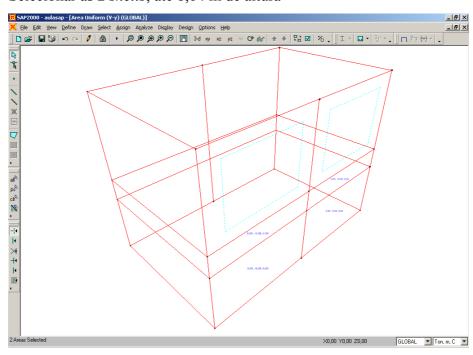


# Assign $\rightarrow$ Area Loads $\rightarrow$ Uniform (Shell)...



Obs: carga negativa, devido aos eixos globais.

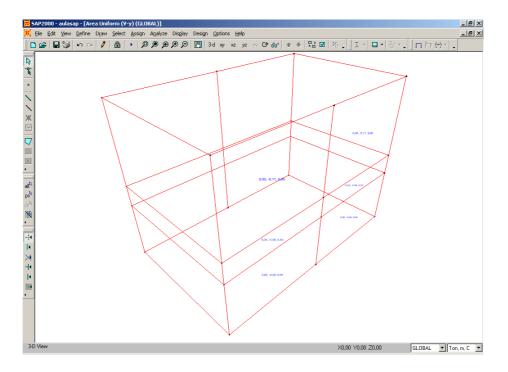
# Selecionar as 2 shells, até 8,64 m de altura



Assign  $\rightarrow$  Area Loads  $\rightarrow$  Uniform (Shell)...



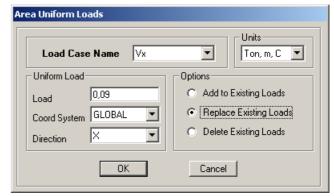
Obs: carga negativa, devido aos eixos globais.



Voltar a estrutura à posição inicial → 3-d

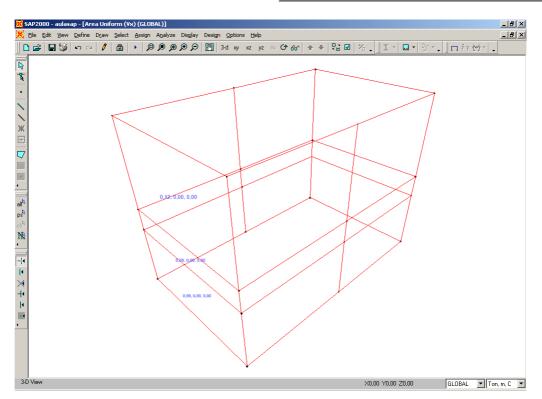
 $\bullet V_x$ 

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



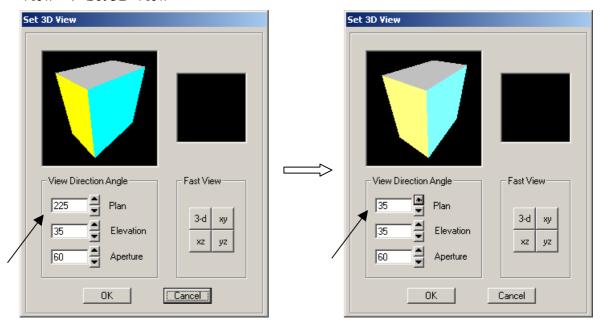
Selecionar as shells, até 8,64 m de altura



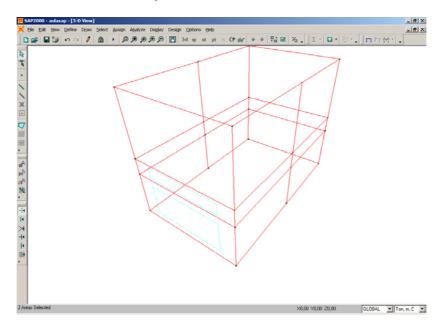


# 

View → Set 3D View



# Selecionar as 2 shells, até 5 m de altura

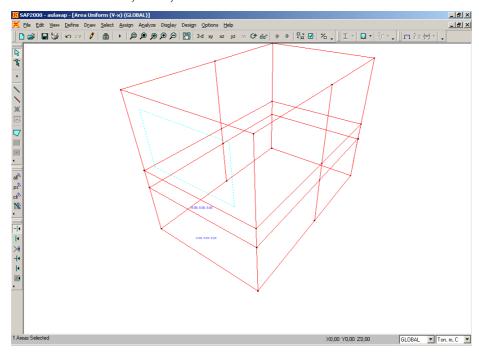


Assign  $\rightarrow$  Area Loads  $\rightarrow$  Uniform (Shell)...

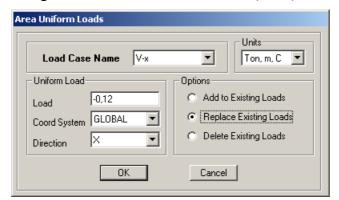


Obs: carga negativa, devido aos eixos globais.

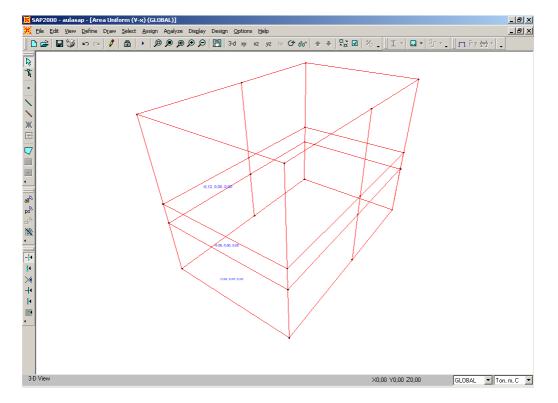
# Selecionar a shells, até 8,64 m de altura



Assign  $\rightarrow$  Area Loads  $\rightarrow$  Uniform (Shell)...



Obs: carga negativa, devido aos eixos globais.



Voltar a estrutura à posição inicial → 3-d

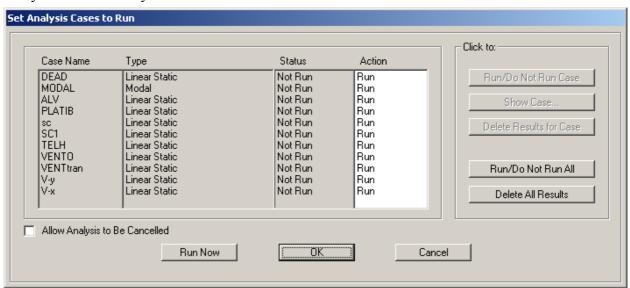
Para que as cargas aplicadas não sejam mais mostradas  $\rightarrow$   $\square$ 

#### 12- Analisar o modelo

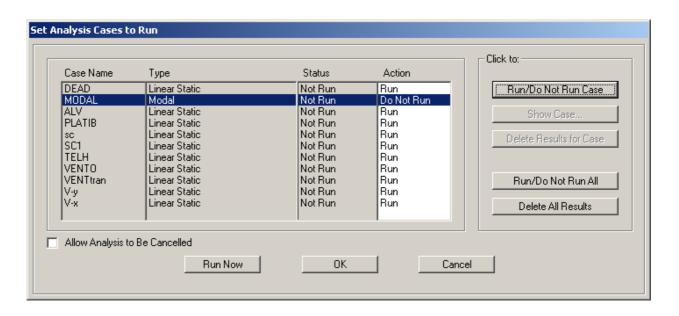
Recomendável verificar todas as cargas, seções, restrições de nós, etc, antes de calcular o modelo.

Para executar o programa SAP2000:

Analyze  $\rightarrow$  Set Analysis Cases to Run...



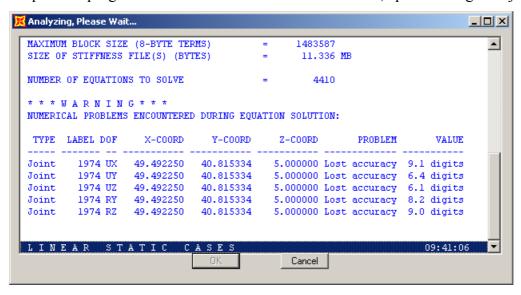
O quadro acima indica todas as cargas aplicadas na estrutura. Pode-se decidir calcular o modelo com todas elas ou excluir alguma. No exemplo, todas serão utilizadas, exceto a carga "Modal".



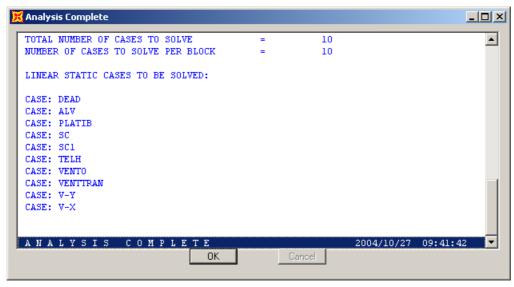
Analyze  $\rightarrow$  Run Analysis  $\rightarrow$  Run Now

Ou acionar  $\rightarrow \rightarrow Run Now$ 

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 <u>combinação</u> 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 <u>antes ou após</u> o modelo ter sido analisado; o ideal são as combinações serem feitas após a análise, pois diminui o número de equações do modelo e consequentemente, o tempo de análise.

### 13.1- As combinações

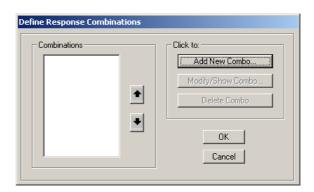
$$\begin{split} &1^{\frac{a}{4}}-\frac{1,4}{1,4}G_{m\acute{a}x}=PPR+SC+ALV+PLATIB+TELH\\ &2^{\frac{a}{4}}-\frac{1,0}{1,4}g_{m\acute{i}n}=0,714\times(PPR+ALV+PLATIB+TELH)\\ &3^{\frac{a}{4}}-G_{m\acute{a}x}+\frac{1,2}{1,4}V_{x}=G_{m\acute{a}x}+0,86V_{x}\\ &4^{\frac{a}{4}}-G_{m\acute{a}x}+\frac{1,2}{1,4}V_{-x}=G_{m\acute{a}x}+0,86V_{-x}\\ &5^{\frac{a}{4}}-G_{m\acute{a}x}+\frac{1,2}{1,4}V_{y}=G_{m\acute{a}x}+0,86V_{y}\\ &6^{\frac{a}{4}}-G_{m\acute{a}x}+\frac{1,2}{1,4}V_{-y}=G_{m\acute{a}x}+0,86V_{-y}\\ &7^{\frac{a}{4}}-\frac{1,0}{1,4}g_{m\acute{n}}+\frac{1,2}{1,4}V_{x}=0,714g_{m\acute{n}n}+0,86V_{x}\\ &8^{\frac{a}{4}}-\frac{1,0}{1,4}g_{m\acute{n}n}+\frac{1,2}{1,4}V_{-x}=0,714g_{m\acute{n}n}+0,86V_{-x}\\ &9^{\frac{a}{4}}-\frac{1,0}{1,4}g_{m\acute{n}n}+\frac{1,2}{1,4}V_{y}=0,714g_{m\acute{n}n}+0,86V_{-y}\\ &10^{\frac{a}{4}}-\frac{1,0}{1,4}g_{m\acute{n}n}+\frac{1,2}{1,4}V_{-y}=0,714g_{m\acute{n}n}+0,86V_{-y} \end{split}$$

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

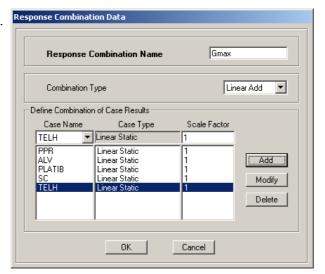
# 13.2- Definição das combinações

a) G<sub>máx</sub>

Define  $\rightarrow$  Combinations...

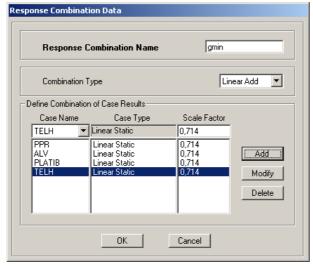


Add New Combo...



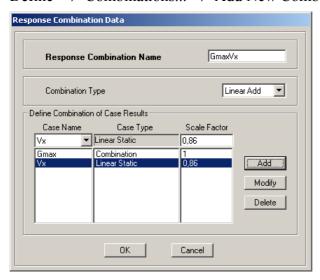
b)  $g_{min}$ 

Define  $\rightarrow$  Combinations...  $\rightarrow$  Add New Combo...

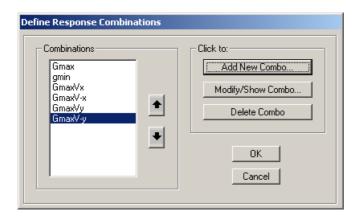


# c) $G_{\text{máx}} + 0.86 V_x$

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

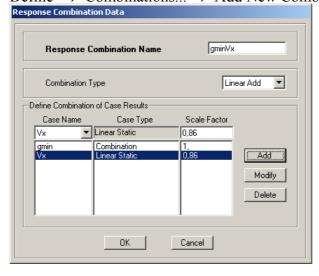


Para as demais combinações de vento com  $G_{m\acute{a}x}$  o que muda são os ventos, que ao invés de  $V_x$ , serão  $V_{-x}$ ,  $V_y$  e  $V_{-y}$ .

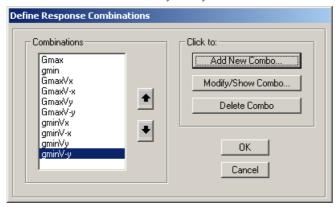


# d) $0.714 g_{min} + 0.86 V_x$

Define  $\rightarrow$  Combinations...  $\rightarrow$  Add New Combo...

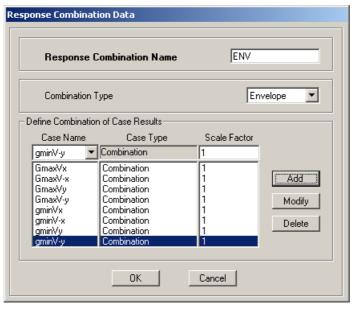


"g<sub>mín</sub>" está com coeficiente 1, pois na sua composição inicial as cargas já estão com o coeficiente 0,714. Para as demais combinações de vento com  $g_{\text{mín}}$  o que muda são os ventos, que ao invés de  $V_x$ , serão  $V_{\text{-x}}$ ,  $V_y$  e  $V_{\text{-y}}$ .



# e) Envoltória

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

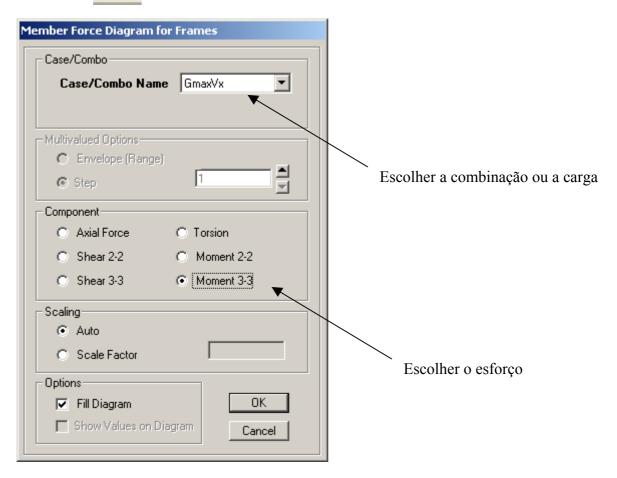


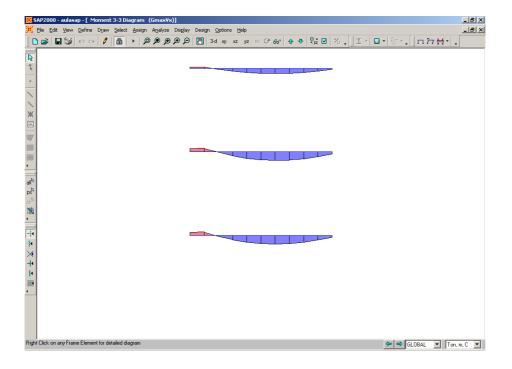
# 14- Diagramas e reações

a) Vigas

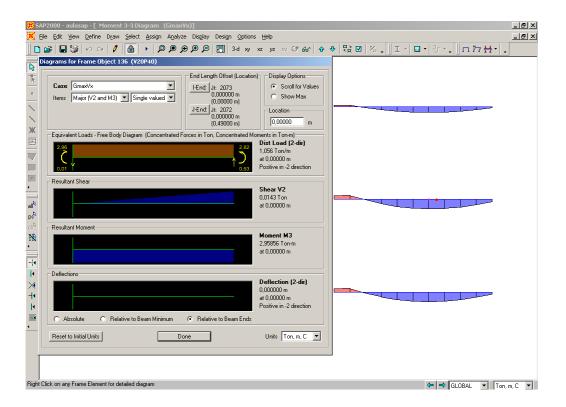
Selecionar as vigas desejadas.

Acionar  $\rightarrow \qquad \rightarrow \qquad \rightarrow \qquad$ Frame / Cables...





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*:

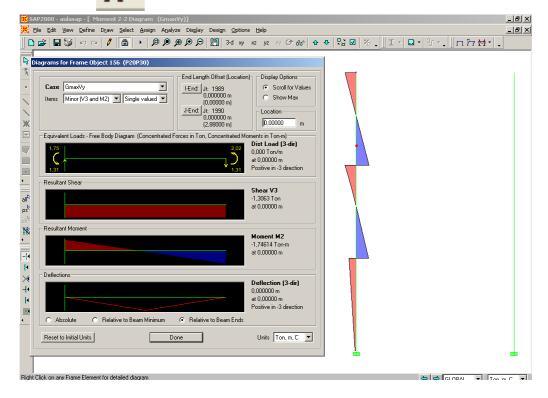


Done  $\rightarrow$  Selecionar outro trecho de barra  $\rightarrow$  repetir procedimento.

### b) Pilares

Selecionar os pilares desejados.

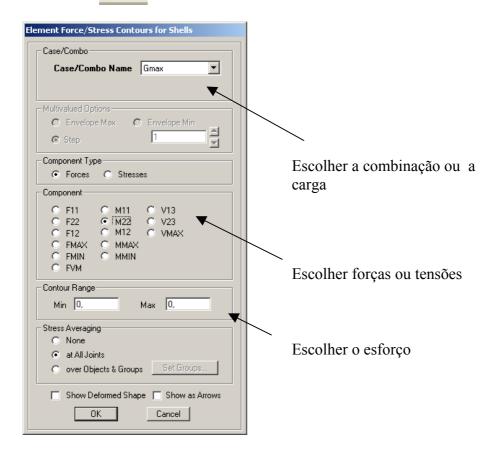
Acionar  $\rightarrow$   $\longrightarrow$  Frame / Cables...  $\rightarrow$  repetir procedimento das vigas



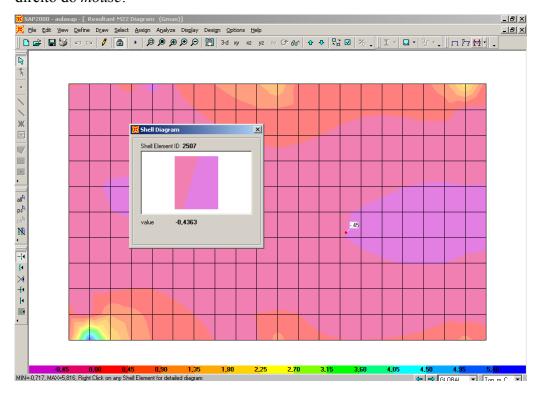
### c) Lajes

Selecionar as shells desejadas.





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.



