

2. Exemplo Prático: Calcular uma nave metálica

2.1. Introdução

O objectivo desta parte do manual é a aprendizagem e manuseamento do programa, realizando o cálculo de uma nave metálica.

Os propósitos de **Metal 3D** são os seguintes:

- O cálculo e dimensionamento dos perfis de todos os pórticos de uma nave.
- O cálculo e dimensionamento de todas as sapatas, placas de amarração com os seus pernos e rigidificadores.
- Geração em listagens dos dados do cálculo.
- Geração dos desenhos do cálculo.
- O cálculo das madres laterais e na cobertura. Para este último pode consultar o **Exemplo Prático** do manual **Gerador de Pórticos**.

elementos de revestimento. Adoptar-se-á o valor de 0.08 kN/m para estes últimos elementos.

2.4. Geometria dos Pórticos

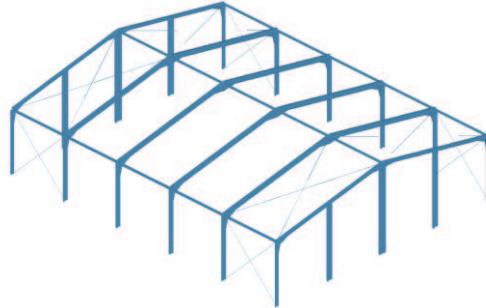


Fig. 2.1. Vista geral da nave

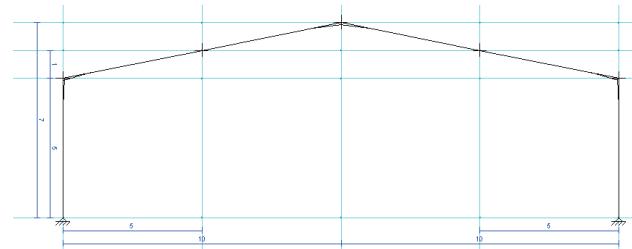


Fig. 2.2 Vista cotada de um pórtico tipo

2.2. Dados Prévios

A nave escolhida para o exemplo é formada por 6 pórticos de duas águas.

Os dados geométricos para os pórticos intermédios são os seguintes:

- Altura pilar esquerdo: 5 metros
- Altura pilar direito: 5 metros
- Altura cumeeira: 7 metros
- Semi-vão esquerdo: 10 metros
- Vão total: 20 metros

2.3. Dados de Cargas

Para gerar as cargas de vento segundo o **RSA**, supõe-se que a nave se vai construir na Zona A, a rugosidade do solo é do tipo II e quatro fachadas com permeabilidade semelhante.

Quanto aos dados para gerar a carga de neve, considerou-se uma altitude topográfica de 200 m.

Para as cargas da acção de sobrecarga utilizaremos um valor de 0.3 kN/m².

Para o peso próprio dos elementos de revestimento, da cobertura, utilizaremos o peso de 0.12 kN/m².

Visto o pórtico não ter sido definido no Gerador de Pórticos, é necessário somar o peso das madres/vigas ao peso dos

2.5. Introdução de dados

O guia seguinte mostra de forma abreviada os passos a seguir para calcular a nave.

1. Active o programa no ambiente de trabalho do Windows, ou no menu Iniciar do Windows.
2. Na janela **Seleção de Ficheiro** prima **Novo** para criar um ficheiro.
3. Introduza o nome e descrição do projecto (neste caso, 'Nave01' e 'Exemplo para o Manual').
4. Crie uma vista nova 2D ortogonal aos eixos x, y, z premindo menu **Vista > Nova > 2D Orto**. Selecione linhas de captura ZY.
5. Desenhe a vista esquemática do pórtico principal premindo menu **Barra > Nova > Desenho referente ao pórtico**.
6. Realize o dimensionamento do esquema do pórtico principal seleccionando menu **Plano > Cotas > Distância entre linhas > Cotas genéricas** com os valores 10, 10, 5, 2 metros.

7. Agrupe os elementos iguais utilizando as opções menu **Barra > Agrupa > Pilares e Vigas**.
8. Descreva os perfis no menu **Barra > Descrever Perfil > Metálico > Aço > Tipo IPE**.
9. Coloque as cartelas nos perfis. Para cada barra deve entrar no menu **Barra > Descr. Perfil**, etc..
10. Descreva os nós. Para cada nó deve entrar no menu **Nó > Descreve**. Os nós são encastrados e os apoios articulados.
11. Defina as acções simples entrando no menu **Carga > N.º hipóteses**. Consideram-se 7 acções: permanente, sobrecarga, vento 1, vento 2, vento 3, vento 4, neve.
12. Gere o peso próprio das barras na acção permanente (Gera Peso Próprio na direcção Z global).
13. Introduza as cargas correspondentes. Para cada acção simples, deve entrar no menu **Carga > Hipótese Vista > Nova**. Introduz-se a carga segundo o quadro de cargas, salvo a acção de vento lateral. Consulte o tipo de carga no quadro de cargas.
14. Introduza os coeficientes de encurvadura para cada barra no menu **Barra > Encurvadura**. Deve fazê-lo para cada barra e para cada plano local xy, xz e segundo o quadro de dados.
15. Introduza os coeficientes de momentos e distância dos travamentos para o bambeamento para cada barra e para cada banzo segundo o quadro de dados no menu **Barra > Bambeamento**.
16. Introduza a limitação de flechas para cada viga, no plano local xz e segundo o quadro de dados. Active para isso menu **Barra > Flecha Limite > Máxima Relativa no plano xz**.
17. Active a vista 3D no menu **Janela > 3D**.
18. Gere todos os pórticos da estrutura no menu **Plano > Geração > Gerar Planos**. Seleccione dois eixos contidos no desenho do primeiro pórtico, introduza 5 pórticos e 5 metros.
19. Agrupe os pórticos iniciais e finais no menu **Plano > Agrupa**. Seleccione YZ para cada um dos pórticos, desagrupe e volte a agrupar.
20. Crie um plano 2D Ortogonal que passe por um dos pórticos intermédios no menu **Plano > Nova > 2D Orto**.
21. Acrescente nós novos ao pórtico inicial para o adaptar ao seu desenho real. Para isso deve utilizar menu **Nó > Novo** e acrescentar 3 nós na linha inferior.
22. Cote os nós introduzidos no menu **Plano > Cotas > Cotas Genéricas**, com os valores 5;5;5;5 metros.
23. Acrescente os pilares intermédios no menu **Barra > Nova**. Os pilares introduzem-se com a opção **Orto** activada de baixo para cima.
24. Reduza as cargas de todas as acções simples para metade no menu **Carga > Modificar**, para cada acção simples.
25. Descreva as barras novas para cada pilar novo no menu **Barra > Descr. Perfil**.
26. Descreva os nós novos. Para cada nó novo deve entrar no menu **Nó > Descreve**. Os apoios articulados e os nós superiores serão articulados com livre deslocamento no plano ZY.
27. Introduza os coeficientes de encurvadura para cada barra nova e para cada plano local xy, xz, segundo o quadro de dados no menu **Barra > Encurvadura**.
28. Introduza os coeficientes de momentos e as distâncias de travamentos para o bambeamento de cada barra nova e de cada banzo segundo o quadro de dados no menu **Barra > Bambeamento**.
29. Introduza a limitação de flechas para cada viga no plano local xz, segundo o quadro de dados no menu **Barra > Flecha Limite > Flecha Máxima Relativa no plano xz**.
30. Desagrupe em menu **Plano > Agrupa > ZY** os planos que contêm os pórticos iniciais e finais para introduzir as cargas comodamente.
31. Introduza as cargas correspondentes para a acção de vento segundo o quadro de cargas. Para a acção simples entre no menu **Carga > Hipótese Vista > Nova**.
32. Introduza o tipo de aço para todas as barras.
33. Agrupe as barras para optimizar os resultados no menu **Barra > Agrupa**.
34. Calcule a obra no menu **Cálculo > Calcular**.
35. Comprove as barras no menu **Cálculo > Comprova Barra**.
36. Optimize o dimensionamento para cada barra no menu **Cálculo > Redimensionar**.
37. Edite e visualize os resultados da placa de amarração e de sapatas no ecrã com menu **Fundação**.
38. Obtenção de resultados: Para imprimir listagens entre no menu **Ficheiro > Listagens**; para desenhar seleccione menu **Ficheiro > Desenhos > Composição de Desenhos**.

A seguir pode ver os quadros de cargas e de dados de cálculo (tabelas 2.1, 2.2 e 2.3), que lhe facilitarão a introdução de dados.

Acção Simples	Carga Total/m ²	Pórticos Centrais Largura da Faixa: 5 m		Pórticos Inicial e Final Largura da Faixa: 2.5 m
		Carga Total/m	Carga Total/m	
		5 m	2.5 m	
Peso Próprio	Peso cobertura (0.12 KN/m ²) +Peso madres (0.08 KN/m) Afastadas de 1.7 m	0.68 KN/m	0.38 KN/m	
Sobrecarga	0.3 KN/m ²	1.5 KN/m	0.75 KN/m	
V1	Zona A Rugosidade Tipo II 4 fachadas com permeabilidade semelhante h = 7m	ZY XZ Viga 1 = 3.85 KN/m Viga 2 = 0.425 KN/m	ZY XZ Viga 1 = 1.06 KN/m Viga 2 = 0.21 KN/m	ZY XZ Viga 1 = 2.13 KN/m Viga 2 = 0.21 KN/m
V2	Zona A Rugosidade Tipo II 4 fachadas com permeabilidade semelhante h = 7m	ZY XZ Viga 1 = 0.425 KN/m Viga 2 = 3.85 KN/m	ZY XZ Viga 1 = 0.21 KN/m Viga 2 = 1.06 KN/m	ZY XZ Viga 1 = 2.13 KN/m Viga 2 = 0.21 KN/m
V3	Zona A Rugosidade Tipo II 4 fachadas com permeabilidade semelhante h = 7m	XZ ZY Viga 1 = 2.125 KN/m Viga 2 = 2.125 KN/m	XZ ZY Viga 1 = 1.06 KN/m Viga 2 = 1.06 KN/m	XZ ZY Viga 1 = 2.13 KN/m Viga 2 = 0.21 KN/m
V4	Zona A Rugosidade Tipo II 4 fachadas com permeabilidade semelhante h = 7m	XZ ZY Viga 1 = 2.125 KN/m Viga 2 = 2.125 KN/m	XZ ZY Viga 1 = 1.06 KN/m Viga 2 = 1.06 KN/m	XZ ZY Viga 1 = 2.13 KN/m Viga 2 = 0.21 KN/m
Neve	Altitude topográfica=200m $\mu = 0.8$	1.5 KN/m	0.75 KN/m	

Tabela 2.1. Cargas e dados de cálculo

Elem. Barra	Pilar esqu.	Pilar direito	Viga esqu.	Viga direita	Pilar esqu.	Pilar direito	Pilar central	P.int. direito	Vigas esqu.	P.int. Esqu.	Vigas direita
Pórtico	Central	Central	Central	Central	Inicial ou Final						
Comprimento Barra	5	5	10	10	5	5	7	6	10	6	10
Tipo Perfil	IPE reforçado	IPE reforçado	IPE	IPE	IPE reforçado	IPE	IPE reforçado				
Coef. Encurv. xz	2,38	2,38	1,16	1,16	0,25	0,25	0,17	0,20	1,16	0,20	1,16
Coef. Encurv. xy	0,25	0,25	0,17	0,17	0,25	0,25	1	1	0,33	1	0,33
Coef. Momento Banzo Superior	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
Distância Trav. Banzo Superior	L	1,2	1,7	1,7	L	1,2	L	L	1,7	L	1,7
Coef. Momento Banzo Inferior	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
Distância Trav. Banzo Inferior	1,2	L	L	L	1,2	L	L	L	L	L	L
Limitação flecha xz	sem	sem	L/250	sem	sem	sem	sem	sem	L/250	sem	L/250

Tabela 2.2. Dados de cálculo relativos a barras

Todas as barras estarão colocadas de forma que os eixos locais xz sejam coincidentes com o eixo global ZY

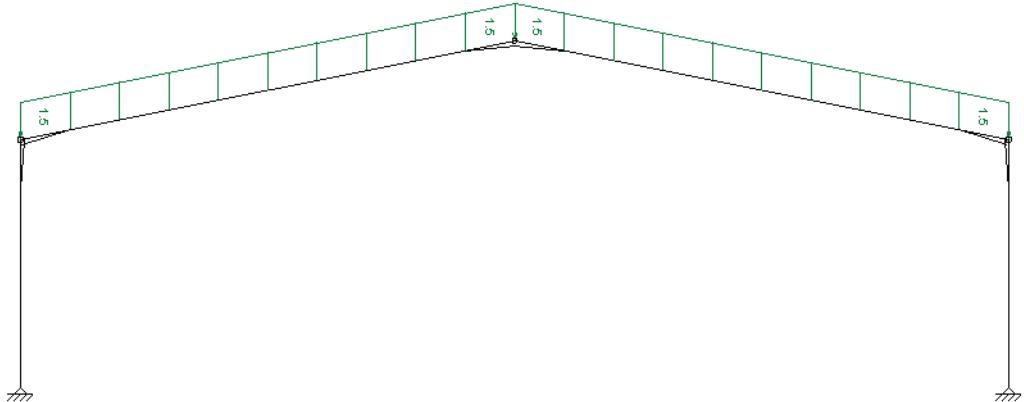


Fig. 2.3 – Hipótese de sobrecarga

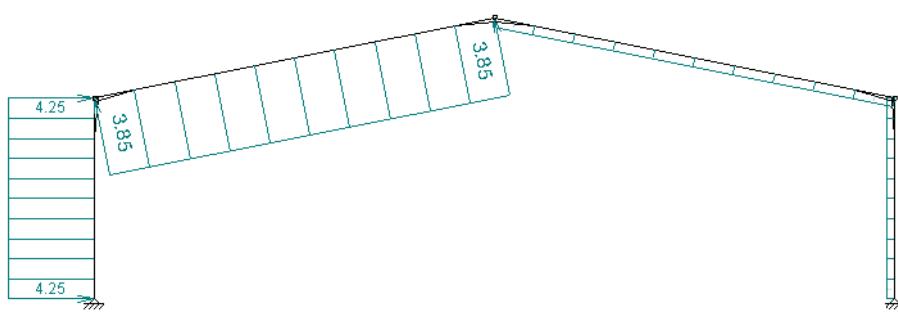


Fig. 2.4 – Hipótese de vento 1

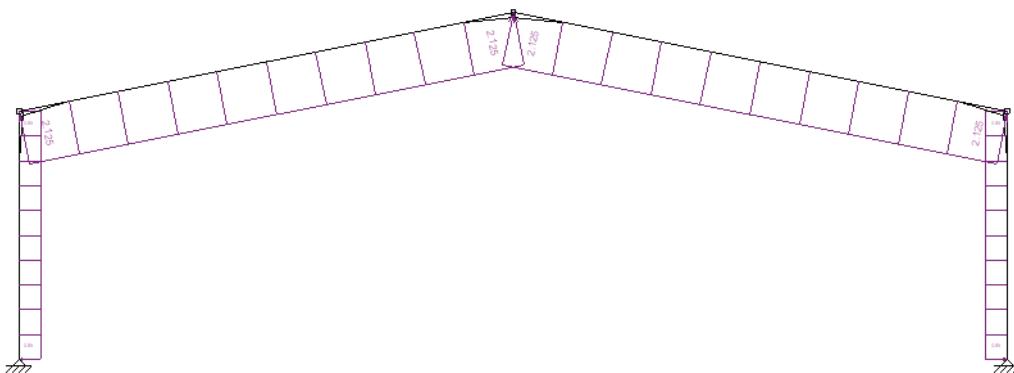


Fig. 2.5 – Hipótese de vento 3

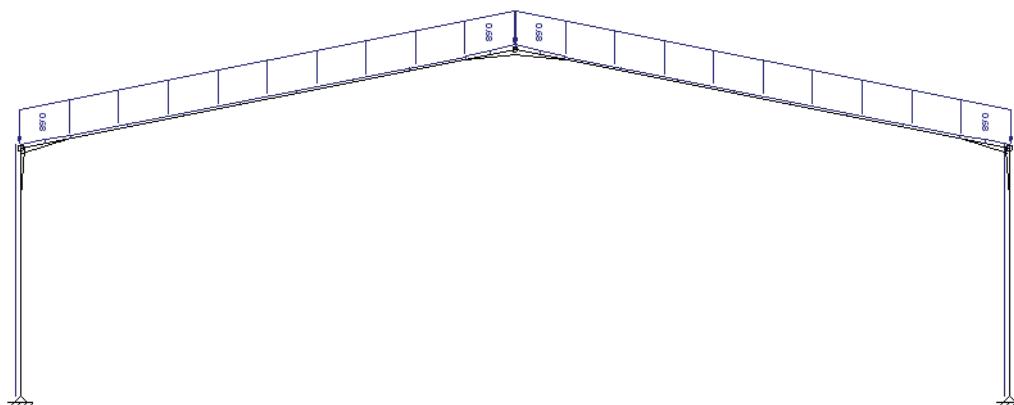


Fig. 2.6 – Hipótese de permanente

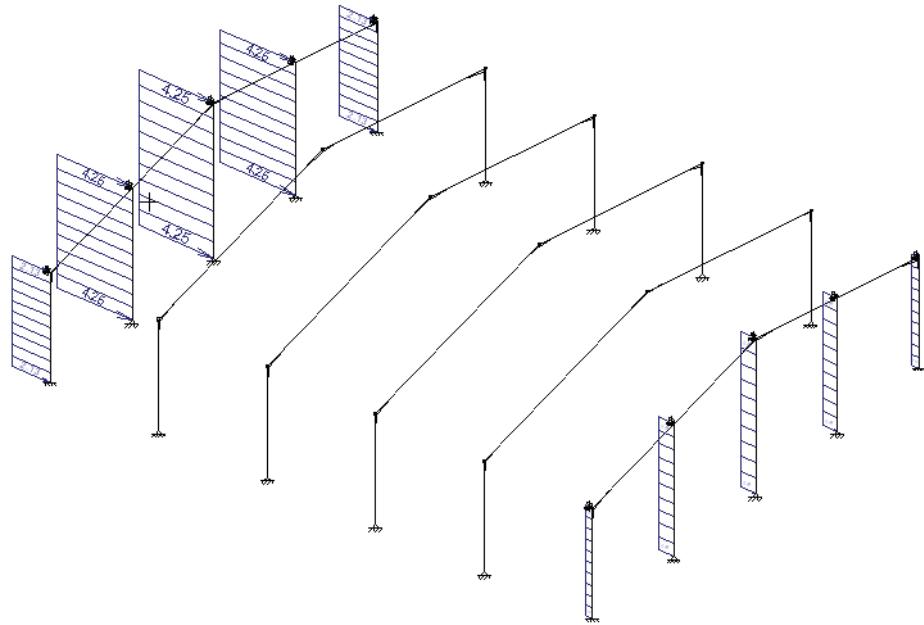


Fig. 2.7 – Hipótese de vento frontal

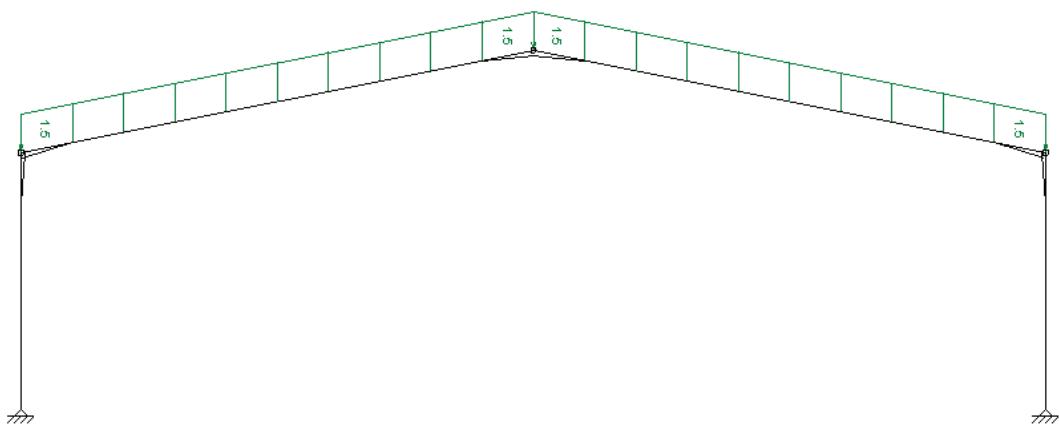


Fig. 2.8 – Hipótese de neve

2.6. Desenvolvimento do exemplo

Active o programa **Metal** e abrir-se-á a janela da Fig. 2.9.

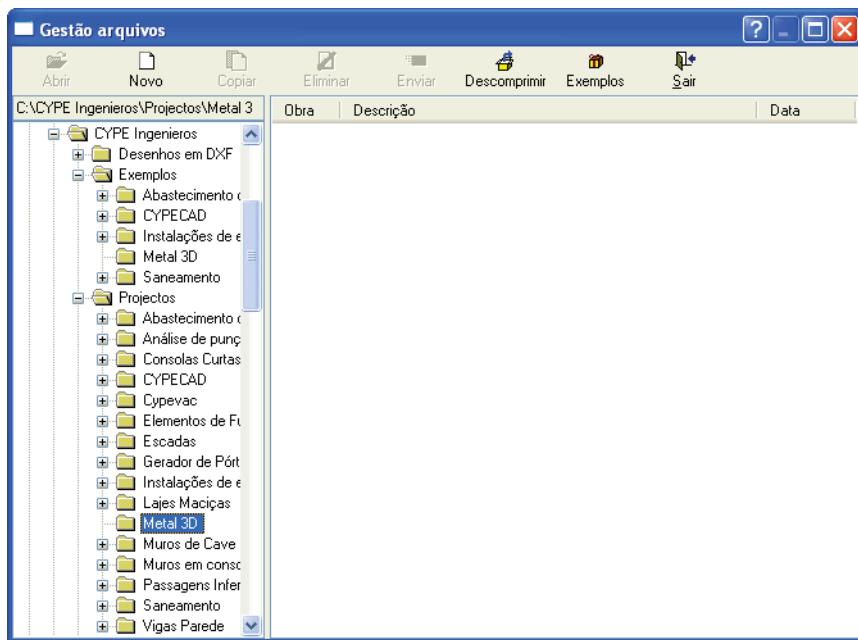


Fig. 2.9

Na janela **Gestão arquivos**, prima **Novo** para criar um ficheiro para a nave do exemplo. A seguir aparecerá uma janela como esta (Fig. 2.10).

Indique como nome 'Exemplo1' e na descrição escreva 'Exemplo para o manual'. Ao finalizar faça clique sobre **Aceitar**.

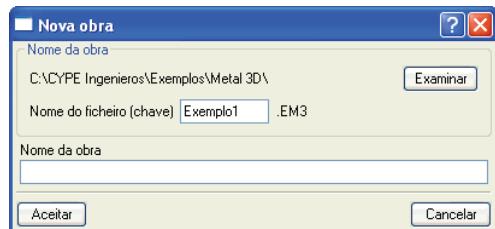


Fig. 2.10

A seguir aparecerá a vista global do programa. Na área de trabalho pode-se observar perfeitamente os eixos globais.

Agora deve criar uma vista 2D Orto aos eixos globais ZY para desenhar o pórtico inicial.

Seleccione o menu **Vista > Nova**. Abrir-se-á uma janela com três possibilidades. Escolha **Vista 2D de um Plano Ortogonal ao Eixo X, Y ou Z**. Prima **Aceitar** e prima  sobre o eixo Z e, a seguir, sobre o eixo Y ou vice-versa.

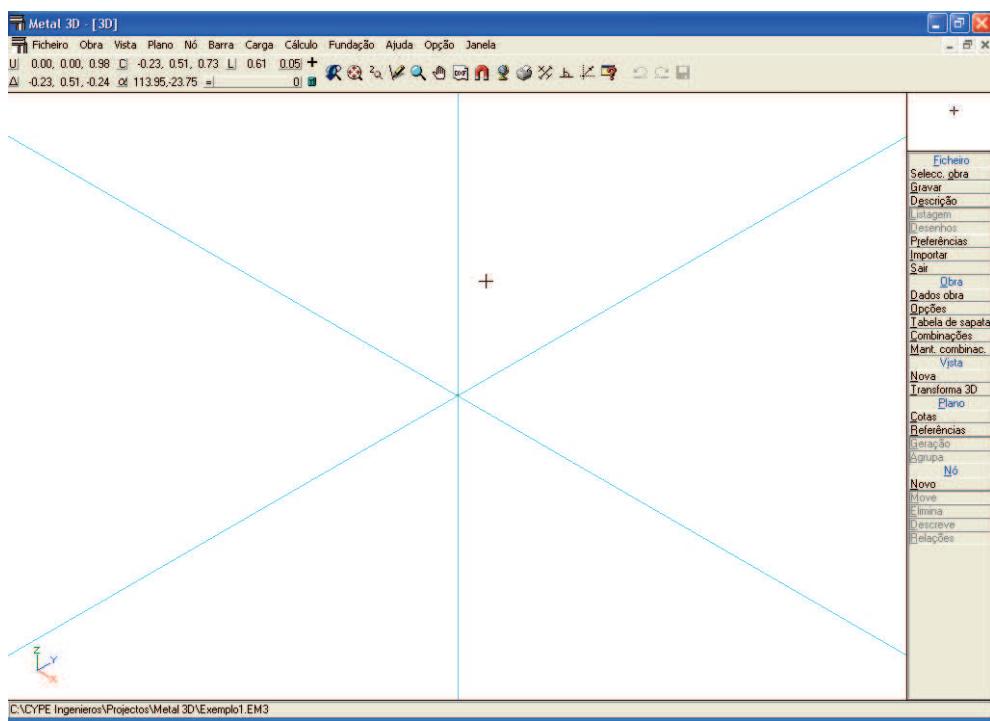


Fig. 2.11

Observe que os eixos seleccionados mudam de cor. Abrir-se-á uma janela à qual deve dar um título. No nosso caso indique 'Pórtico inicial'.

Agora tem uma vista plana desse pórtico frontal. Dentro do menu **Barra**, prima **Nova**.

Desenhe a geometria do pórtico. Seguindo estes passos conseguirá materializar o pórtico da Fig. 2.12.

- Prima sobre a origem de coordenadas, levante a barra verticalmente até outro ponto qualquer e faça clique. Com este passo introduziu o pilar esquerdo.
- Prima sobre um ponto, que será a cumeeira e continue a premir até que fique desenhado um pórtico com duas águas. Depois de introduzir estas quatro barras e para finalizar, prima .

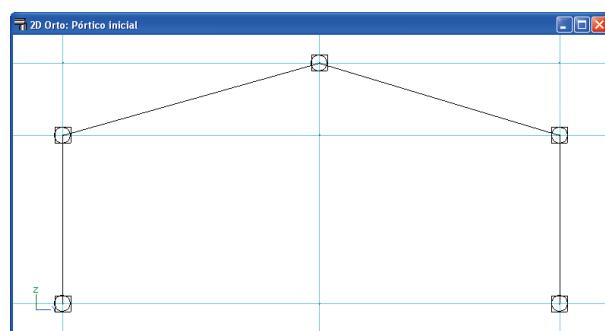


Fig. 2.12

Agora passará à cotagem do esquema do pórtico. Dentro do menu **Plano** seleccione **Cotas**.

Introduza o valor 10 como distância entre linhas; seleccione **Cotas Genéricas**. Agora prima sobre o primeiro pilar e, a seguir, sobre a linha de referência que passar pelo ponto de cumeeira.

Repita a operação para o pilar direito.

Para cotar a altura prima  e introduza o dado correspondente. A seguir marque as linhas de capturas coerentes à cota.

Repita os passos anteriores até obter um resultado igual ao da seguinte figura.

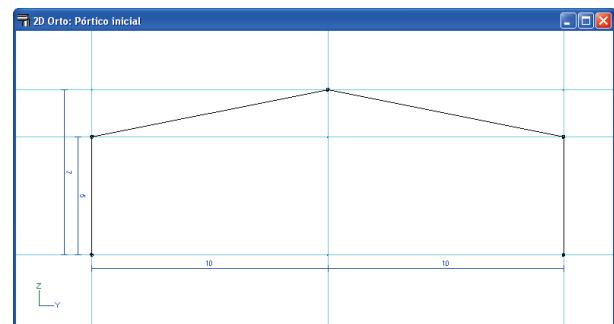


Fig. 2.13

Agora agrupe as barras que desejar que fiquem com o mesmo perfil. Para isso, dentro do menu **Barra** seleccione **Agrupa**. Prima sobre o primeiro pilar e, a

seguir, sobre o segundo. Para terminar a selecção prima .

No diálogo que se abre prima **Agrupa**. Repita os passos com as duas vigas. Obterá um resultado parecido com a Fig. 2.14.

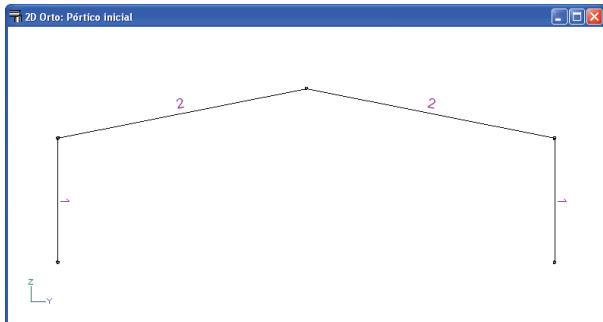


Fig. 2.14

No menu **Barra** seleccione **Descr. Perfil**. Seleccione todas as barras, fazendo uma selecção por rectângulo e prima .

Aparecerá o diálogo da seguinte figura.

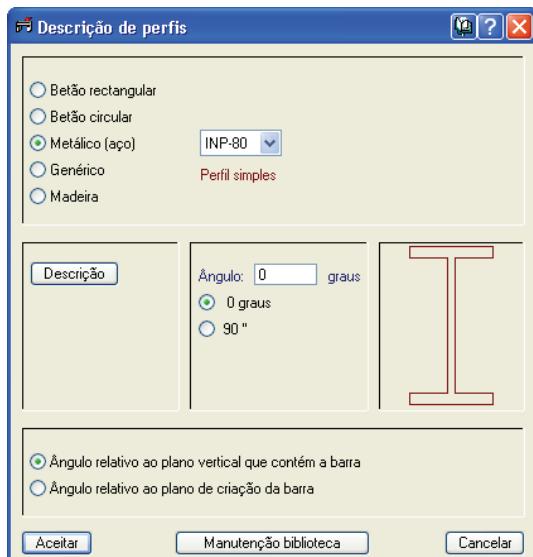


Fig. 2.15

Seleccione o tipo de perfil **Metálico (aço)**.

Se já estiver descrito e quiser modificá-lo, prima **Descrição**, da Fig. 2.15. Abrir-se-á um diálogo para que escolha o tipo de perfil (Fig. 2.16), que neste caso deve ser para todas as barras '**IPE laminado**'.

selecione no **menu Barra**, a opção **Agrupa**, marque um dos pilares e prima  e desagrupe.

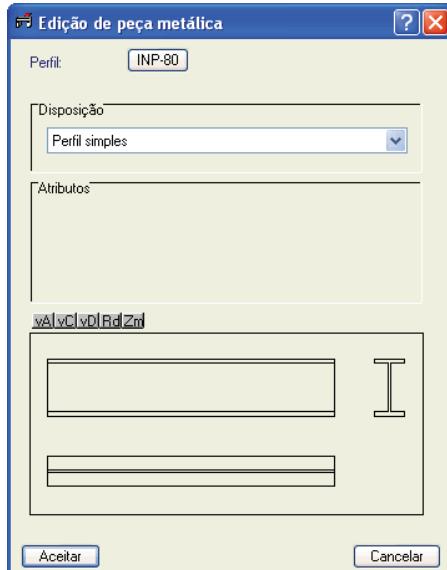


Fig. 2.16

Clique sobre o botão correspondente a **INP-80** para mudar o tipo de perfil. Abrir-se-á o seguinte diálogo (Fig. 2.17).



Fig. 2.17

Coloque as cartelas. Para tal, seleccione '**Perfil simples**' no campo '**Disposição**'. Abrir-se-á uma janela onde deve escolher a opção '**Simples com Cartelas**'.

Devido às cartelas se colocarem em relação aos eixos locais das barras é importante desagrupar os dois pilares para poder colocar as cartelas de forma adequada. Para esta operação

Em 'Atributos' prima o botão **Sem cartelas** e seleccione a cartela correspondente. Esta dependerá da barra que estiver a descrever nesse momento.

Para as outras barras deve repetir a operação. Observe na seguinte tabela a informação da descrição de cada perfil e das cartelas que tem de colocar.

Prima **Aceitar** e abrir-se-á de novo o diálogo da Fig. 2.16, mas com o **INP-80** seleccionado.

O passo seguinte consiste em descrever os nós internos como nós rígidos. Para isso, prima dentro do menu **Nó** a opção **Descreve**.

Elemento	Tipo Perfil	Tipo Material	Dados Perfis	Séries Perfis	Perfil Seleccionado.	Tipo Seleccionado	Unidade	Comp.
Pilar esquerdo	Metálico (aço)	Laminado	Séries Obra	IPE	IPE 80	Cartela final inferior	mm	1500
Pilar direito	Metálico (aço)	Laminado	Séries Obra	IPE	IPE 80	Cartela final superior	mm	1500
Viga esquerda	Metálico (aço)	Laminado	Séries Obra	IPE	IPE 80	Cartela inicial superior	mm	1500
Viga direita	Metálico (aço)	Laminado	Séries Obra	IPE	IPE 80	Cartela inicial inferior	mm	1500

Tabela 2.3. Referência para o diálogo Descrição de Perfil

Seleccione as duas cabeças de pilar e a cumeeira e prima  . Abrir-se-á o diálogo **Impedimentos e Ligações**. Selecione o nó rígido e prima **Aceitar** (Fig. 2.18). Agora pode seleccionar os dois nós de fundação. Prima  . Prima sobre o botão **Apoio Externo** (Fig. 2.19).

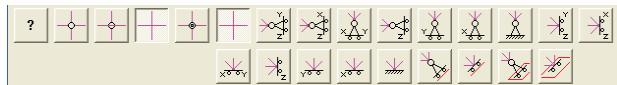


Fig. 2.18

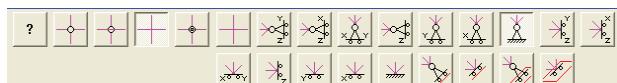


Fig. 2.19

Para terminar prima **Aceitar** em todas as janelas abertas.

Embora sendo o primeiro pórtico, vão-se introduzir as cargas do pórtico central, uma vez que mais tarde se gerarão os outros desenhos a partir deste para, posteriormente, modificar as cargas introduzidas reduzindo os valores para metade. Não se introduzem neste pórtico as cargas do vento lateral.

A seguir definirá o número de acções simples.

Para isso prima menu **Carga > N.º Hipóteses > Gerar peso próprio**.

A seguir prima  e acrescente uma acção de 'Sobrecarga', 4 de 'Vento' e uma de 'Neve'. Altere o nome das acções simples para que os seus nomes resultem mais claros (Fig. 2.20). Prima **Terminar**.

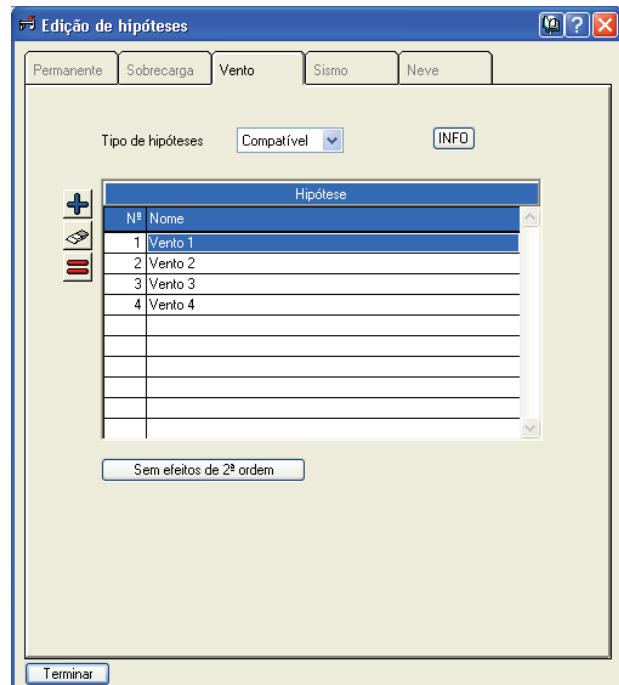


Fig. 2.20

No menu **Carga** seleccione **Hipótese Vista**. Abrir-se-á um diálogo no qual deve premir **Todas** e seleccionar 'Permanente' (Fig. 2.21).

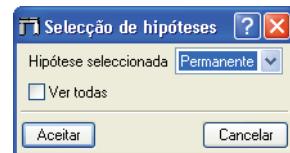


Fig. 2.21

No menu **Carga** seleccione **Nova**. Selecione as duas vigas e prima  . Introduza o valor da carga permanente e o sinal da carga segundo o eixo Z (Fig. 2.22).

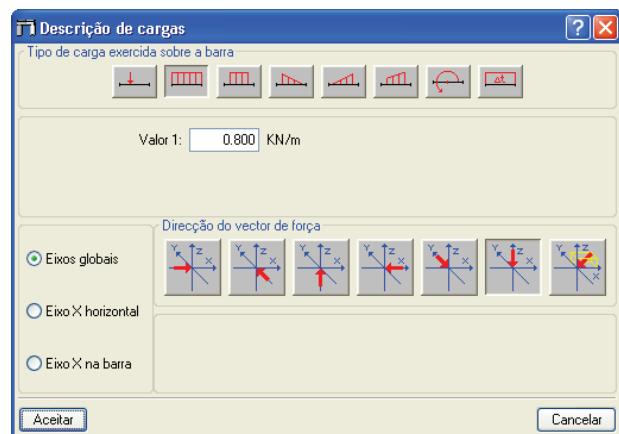


Fig. 2.22

Prima agora **Hipótese Vista** e seleccione '**Sobrecarga**'. Prima **Aceitar** e continue com a operação tal como se descreveu para a acção de '**Peso Próprio**', mas alterando o valor das cargas.

Repita os mesmos passos para a introdução da acção de '**Neve**' e '**Vento**'. Tenha em conta que a direcção da carga nas vigas para as acções de vento introduz-se segundo os eixos locais da barra.

Os valores das cargas encontram-se no quadro de cargas (tabela 2.1).

Ao terminar a introdução de cargas de todas as acções, pode-se verificar de forma global todas as acções sobrepostas.

Para isso, execute a sequência menu **Carga > Hipótese Vista > Ver Todas > Aceitar**. Ver-se-á a Fig. 2.23 com todas as cargas.

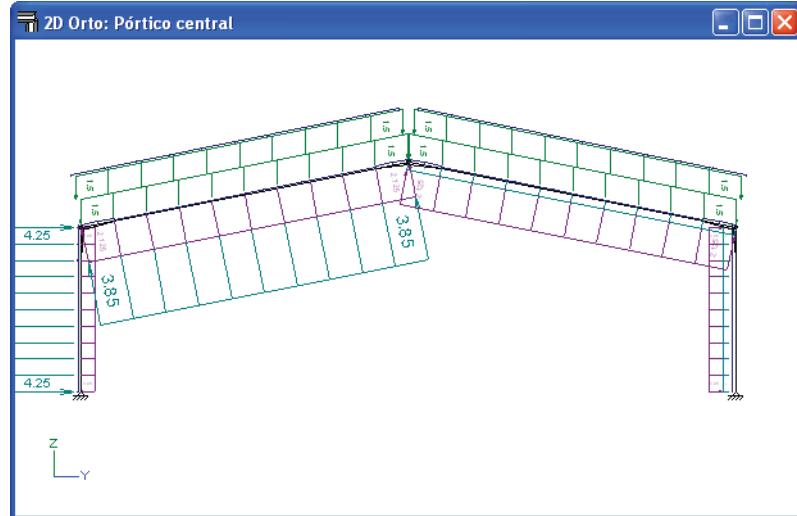


Fig. 2.23

Agora passará à definição dos coeficientes de encurvadura seleccionando **menu Barra >Encurvadura**.

Abrir-se-á o diálogo da figura seguinte (Fig. 2.24).

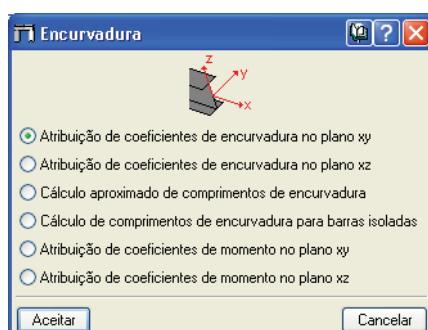


Fig. 2.24

Os coeficientes desta secção são os do pórtico central e estão definidos no quadro de dados das barras. Apenas se indica aqui o processo geral para a introdução de dados. Para cada barra deve indicar este coeficiente.

A seguir vai definir a encurvadura global dos perfis segundo o seu eixo de menor inércia.

Seleccione a primeira opção e prima **Aceitar**. Mostrar-se-á imediatamente o pórtico com as barras, nas quais se observa que têm todos o coeficiente unidade (1), que é o que aparece sempre por defeito.

Seleccione uma barra, prima e aparecerá a seguinte janela (Fig. 2.25). Introduza o coeficiente e prima **Aceitar**. Prima e seleccione a **Encurvadura segundo o eixo de maior inércia do perfil**.

Seleccione os perfis e prima para lhes atribuir o coeficiente que terá colocado previamente.

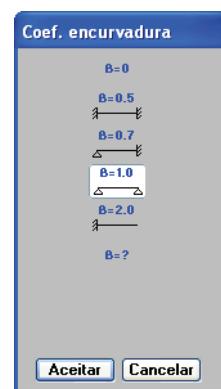


Fig. 2.25

A seguir seleccione menu **Barra > Bambeamento**. Abrir-se-á a seguinte janela.

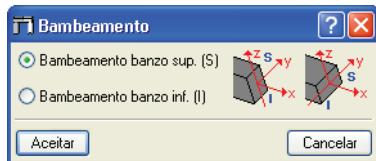


Fig. 2.26

Com a primeira opção activada prima **Aceitar** e seleccione o segundo pilar e as duas vigas.

Prima , seleccione a opção **Outro** e introduza um comprimento de 1.2 m (separação entre madres) juntamente com um coeficiente de momento de 1.49 (Fig. 2.27).

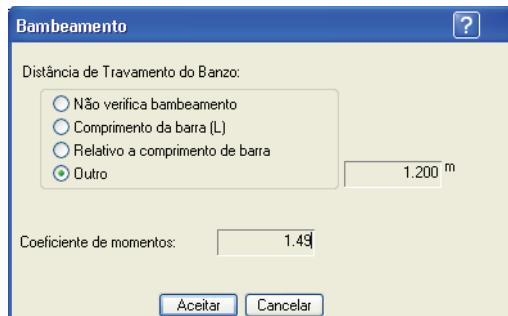


Fig. 2.27

Prima **Aceitar** e, a seguir, . Selecione agora a segunda opção (Fig. 2.28).



Fig. 2.28

Seleccione o primeiro pilar e prima . Da mesma forma que no caso anterior, atribua o valor 1.2 com um coeficiente de momento igual a 1.49.

É importante conhecer a orientação dos eixos locais dos perfis para poder indicar com êxito os dois parâmetros para a verificação do bambeamento. Na vista 3D pode-se ver próximo de cada barra os seus eixos locais para compreender a que corresponde o banzo superior e inferior.

Outra vez mais, os parâmetros para o nosso exemplo estão definidos no quadro de dados para cada elemento.

Agora limitará a flecha das vigas. Prima no menu **Barra** a opção **Flecha Limite**. Selecione **Máxima Relativa** no **Plano XZ**.



Fig. 2.29

Prima **Aceitar**. Selecione as duas vigas e prima . No diálogo que se abre seleccione **Limitada**. Introduza o valor '41 mm' no campo inferior.



Fig. 2.30

Prima **Aceitar**.

Para poder gerar comodamente os pórticos que faltam é necessário activar a vista 3D da estrutura. Para isso no menu **Janela** active a opção **3D**. Prima **Janela completa**.

A seguir vai gerar 5 planos paralelos ao plano do pórtico inicial.

Para isso, deve voltar a premir a opção **Geração** do menu **Plano**. Deixe a opção que aparece por defeito que é **Gera Planos**.

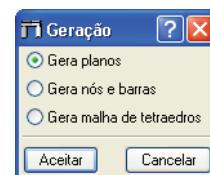


Fig. 2.31

A seguir seleccione duas das rectas que definem o primeiro pórtico introduzido.

Abrir-se-á uma janela que pedirá o número de planos que deseja gerar e a separação entre estes. Também deve

indicar se deseja que estejam agrupados com o primeiro pórtico definido.



Fig. 2.32

Gerar-se-ão 5 pórticos a 5 metros de separação entre eles e com a opção **Agrupar planos gerados** activada.

Geraram-se 5 pórticos iguais ao primeiro com todos os parâmetros dos elementos anteriormente introduzidos exactamente iguais.

Portanto, para adaptar a geração ao nosso exemplo deve fazer certas modificações nos pórticos iniciais e finais.

Pode observar na figura seguinte os resultados.

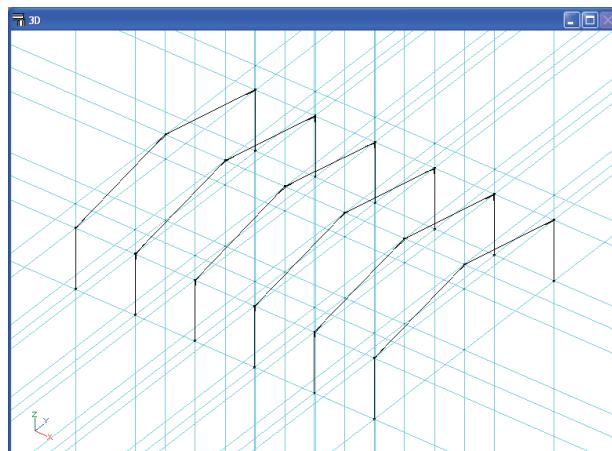


Fig. 2.33

Actualmente os 6 pórticos estão agrupados. Portanto, qualquer modificação sobre qualquer pórtico reflecte-se nos outros.

Impõe-se um agrupamento mais controlado. Para isso, no menu **Plano** selecciona-se a opção **Agrupa**. Deixe activada a opção por defeito como se pode ver na figura seguinte (Fig. 2.34).



Fig. 2.34

Prima **Aceitar**. Agora deve seleccionar só o primeiro pórtico, prima e depois **Desagrupa**. Repita esta

última operação para desagrupar também o último pórtico.

Para finalizar este passo deve agrupar o pórtico inicial e o final, seleccionando-os, premindo e depois **Agrupa**.

O resultado destas operações pode-se observar na figura seguinte.

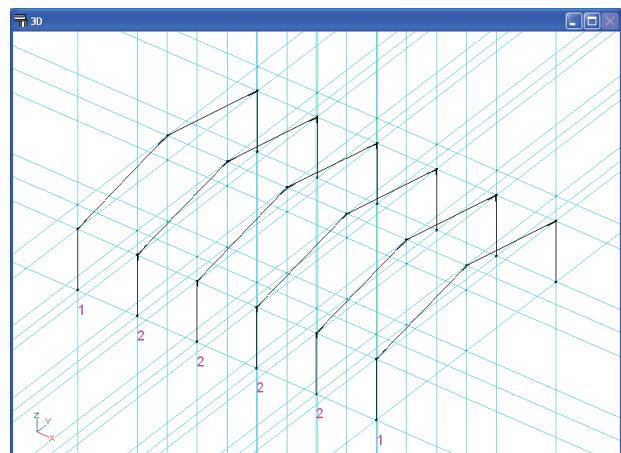


Fig. 2.35

Agora passará à criação de um plano 2D que passa por um dos planos centrais.

Seleccione a opção **Nova** do Menu **Vista**. Escolha uma vista 2D de um plano ortogonal ao eixo X, Y ou Z.

Marque sobre duas rectas que definam um dos planos centrais recém gerados e chame-lhe '**Pórtico Central**' (Fig. 2.36).

No menu **Janela** active o plano com título '**Pórtico inicial**' e maximize a janela.

Acrescente 3 nós novos na linha de captura horizontal inferior.

Esta operação realiza-se com a opção **Novo** do menu **Nó** e premindo nos pontos onde estão os nós.

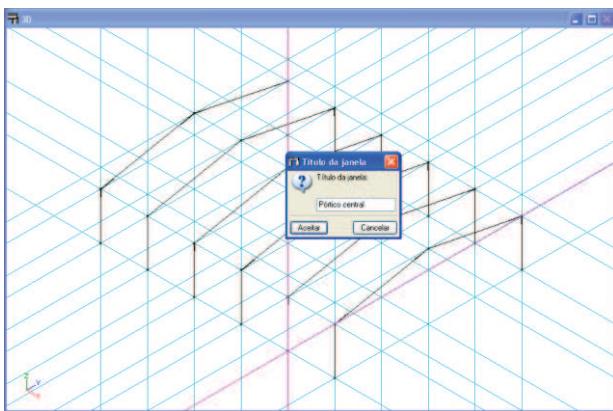


Fig. 2.36

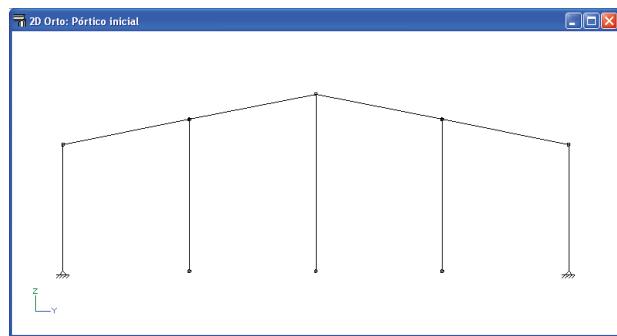


Fig. 2.39

Devido ao pórtico inicial e final terem uma largura de faixa igual a 2.5, metade de 5 metros, reduzem-se todas as cargas para metade, para as ajustar aos valores do quadro das cargas.

Para isso no menu **Cargas > Hipótese Vista**, seleccione em primeiro lugar a acção de 'Peso Próprio'. A seguir, em **Cargas**, prima a opção **Modificar**. Selecione uma das cargas.

Abre-se um diálogo que permite modificar o valor da carga para metade (Fig. 2.40).

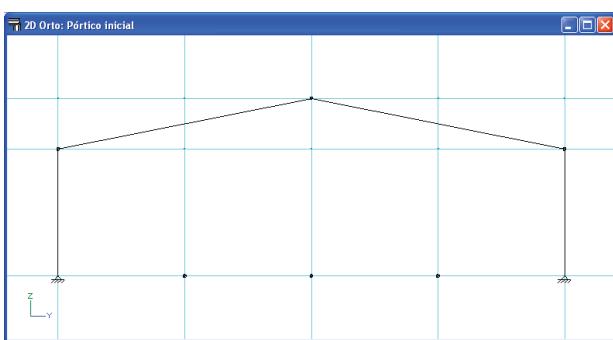


Fig. 2.37

Para cotar os novos nós introduzidos utilize menu **Plano > Cotas > Cotas Genéricas** introduz-se o valor 5 e seleccione as linhas de captura verticais tal como se explicou antes.

Pode-se ver o resultado na Fig. 2.38.

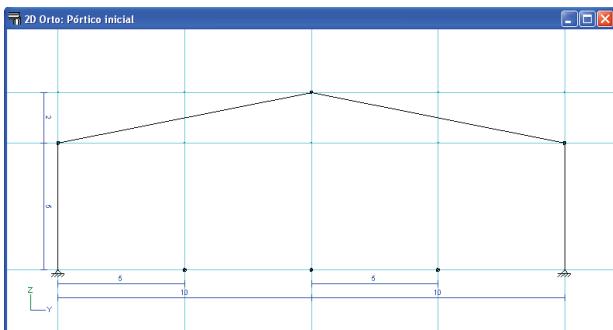


Fig. 2.38

Agora vai criar os pilares intermédios. Active **Opção > Ortogonal** e a seguir prima menu **Barra > Nova**. Desenham-se 3 barras cujos pontos iniciais são os nós novos introduzidos; os pontos finais são as intersecções verticais com as vigas principais.



Fig. 2.40

Deve-se repetir esta operação para cada uma das cargas de todas as hipóteses simples.

No menu **Barra** seleccione **Descr. Perfil**. Selecione todas as barras novas, fazendo uma selecção por elementos premidos e prima . Abrir-se-á um diálogo no qual deve seleccionar como tipo de perfil a opção **Metálico (aço)**. Abrir-se-á outro diálogo para seleccionar o tipo de perfil. Neste caso para todas as barras a selecção será 'IPE laminado' de 80.

Recordar que os eixos de maior inércia estão contidos no plano do pórtico.

Há 4 grupos de nós: nós iniciais dos pilares intermédios, nós extremos superiores, nós finais dos pilares intermédios, nó final do pilar central.

Nós iniciais dos pilares intermédios. No menu **Nós** seleccione **Descreve** e, a seguir seleccione os 3 nós inferiores intermédios premindo  sobre cada um

deles. Terminada a seleção dos nós prima . Abrir-se-á o diálogo **Descrição de Nós**. Selecione 'Apoio articulado'. Prima **Aceitar** em todos os diálogos que estão abertos para continuar.

Nós finais dos pilares intermédios. Selecione os 2 nós superiores intermédios e a seguir prima . Selecione **Apoio com livre deslocamento no plano ZY** de forma que os pilares se articulem com as vigas.

Nós finais do pilar central. Selecione o nó central superior e a seguir prima . Selecione **Apoio com livre deslocamento no plano ZY** de forma que o pilar se articule com as vigas (Fig. 2.41).



Fig. 2.41

A janela **Impedimentos e Ligações** pode-se mover para observar as barras associadas às letras 'A', 'B' e 'C'.

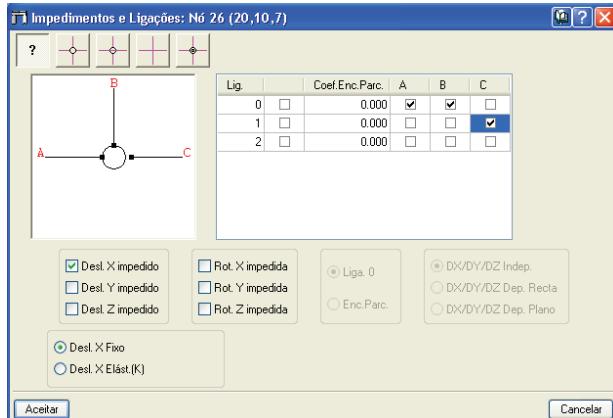


Fig. 2.42

Nós extremos superiores. Selecione os nós extremos superiores e a seguir prima . Selecione **Apoio com livre deslocamento no plano ZY**.

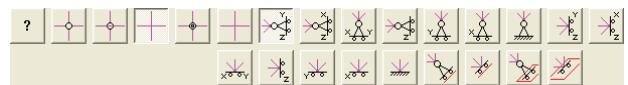


Fig. 2.43

Utilizando o processo já explicado, introduzem-se agora os coeficientes de encurvadura que estão no quadro de dados dos elementos para obter no plano xy local a seguinte figura (Fig. 2.44).

Introduzem-se também os coeficientes de encurvadura que estão no quadro de dados dos elementos para obter no plano xz local a figura 2.45.

A seguir e dentro do menu **Barra**, seleccione **Bambeamento**. Utilizando o processo já explicado, introduzem-se os coeficientes de momentos e distância de travamento dos banzos que estão no quadro de dados dos elementos para obter para o banzo superior a seguinte figura (Fig. 2.46).

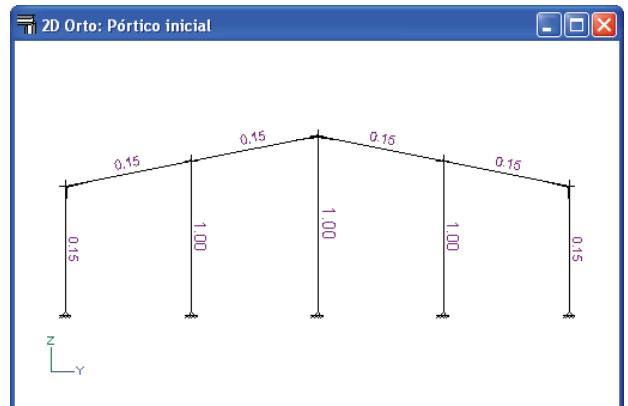


Fig. 2.44

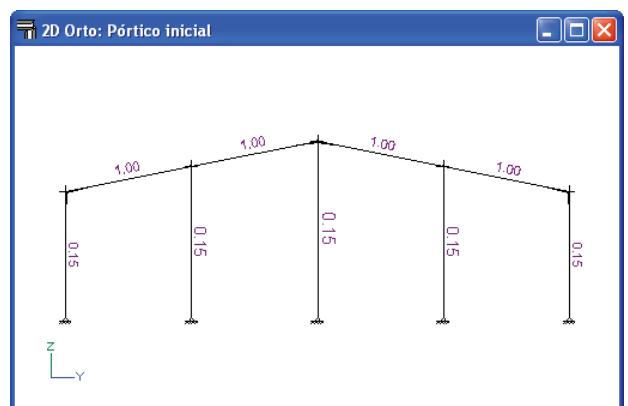


Fig. 2.45

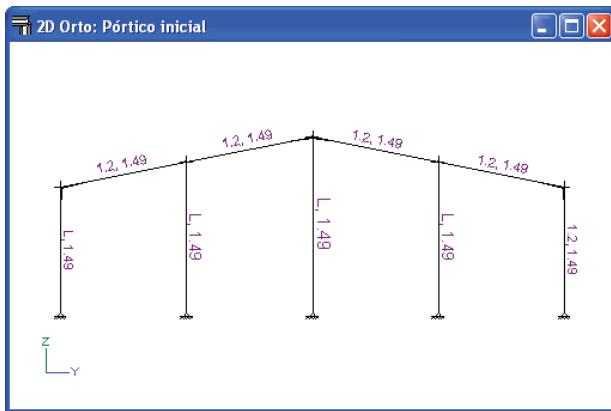


Fig. 2.46

Introduza os coeficientes de momentos e distância de travamento dos banzos inferiores segundo a tabela 2.2.

O passo seguinte é limitar a flecha das vigas.

Prima no menu **Barra** a opção **Flecha Limite**. Selecione **Máxima Relativa no Plano XZ** e prima **Aceitar**. Selecione as duas vigas que estão sem limites de flecha e prima . No diálogo que se abre introduza o valor '41 mm' e prima **Aceitar**.

Para facilitar a introdução de cargas da acção de vento no plano XZ e no plano ZY é necessário desagrupar estes planos, uma vez que num existe a pressão e noutro existe a sucção do vento lateral.

Para iniciar as operações, no menu **Janela** seleccione a vista 3D de toda a estrutura. A seguir prima menu **Plano > Agrupa**. Active **Planos Paralelos a YZ**, seleccione o primeiro pórtico e prima para desagrupar.

O passo seguinte é a introdução de cargas para a acção simples de Vento no plano XZ, isto é, perpendicularmente ao plano do pórtico.

No menu **Carga** seleccione **Hipótese Vista**. Abrir-se-á um diálogo no qual deve desactivar **Todas** e seleccionar **Vento 1, Vento 2, Vento 3 e Vento 4**, respectivamente.

No menu **Carga** prima **Nova**. Selecione cada uma das barras, tanto do pórtico inicial como final, para introduzir a carga que corresponde segundo a tabela 2.1.

Pode-se observar o resultado desta operação na figura seguinte, para o **Vento 1** (Fig. 2.47).

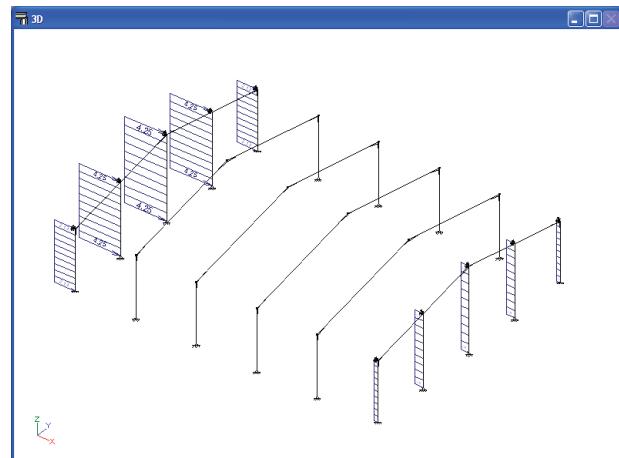


Fig. 2.47

Agora proceda ao agrupamento de barras do pórtico inicial e final. Visto que o exemplo é simétrico, é lógico agrupar as barras para obter o mesmo dimensionamento para os perfis.

Para isso, no menu **Barra**, seleccione **Agrupa**, marque duas barras da mesma posição no pórtico inicial e final e prima para agrupar.

Repita a operação até agrupar 2 a 2 todos os elementos dos pórticos iniciais e finais. Ao finalizar esta operação obterá o seguinte (Fig. 2.48).

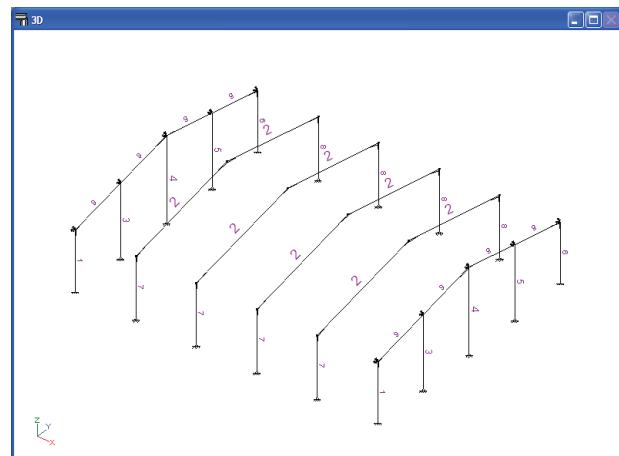


Fig. 2.48

O passo seguinte é a descrição do tipo de material utilizado no cálculo.

Se não se realizar nenhuma acção sobre este menu, o programa assume o aço '**Fe 360**' como aço por defeito. Se desejar, pode mudar para '**Fe 430**' com a opção **Descr. Material** do **Menu Barra**, seleccionando para isso todas as barras e premindo para seleccionar este aço no diálogo que se abre.



Fig. 2.49

A estrutura já está introduzida, mas antes de executar menu **Cálculo > Calcula**, deve gravar a obra com a opção **Gravar** do **Menu Ficheiro**.

O primeiro cálculo realizar-se-á com a norma seleccionada em **Opção > Configuração > Internacional > Norma**. Posteriormente, se desejar, poderá mudar as normas de cálculo.

Uma vez calculada a obra, deve premir sobre a opção **Comprova Barra** do menu **Cálculo**.

As barras que aparecerem a **vermelho** serão as que não cumprem por algum motivo. Seleccione-as. Em cor **verde** ver-se-ão todas as que cumprem para o último cálculo realizado.

A seguir deve optimizar o dimensionamento para a solução final.

Existem duas opções para chegar ao final.

1. Seleccionar as primeiras barras verdes, calcular, voltar a verificar barra e assim sucessivamente até que ao verificar barra não apareça nenhuma em vermelho.
2. Seleccionar a opção **Redimensionamento** do menu **Cálculo** e seleccionar **Óptimo** e activar a casa **Desde o primeiro perfil da série**.



Fig. 2.50

Os resultados das placas de amarração visualizam-se activando menu **Fundação > Placas de Amarração**.

Prima **Editar** e prima sobre a sapata desejada. Abrir-se-á uma janela para editar os parâmetros de cálculo e ver os

resultados do dimensionamento da placa de amarração (Fig. 2.51).

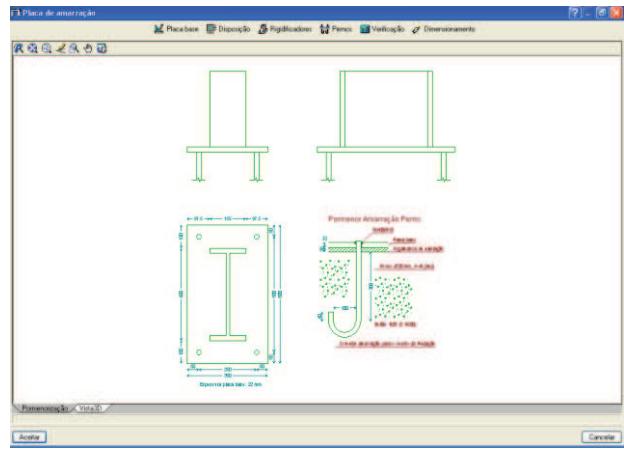


Fig. 2.51

Neste diálogo o programa apresenta a solução proposta tanto da placa base, como de pernos e de rigidificadores.

Pode fazer modificações no desenho utilizando as opções de cálculo. O programa verificará este novo desenho com a opção **Verificar**.

Terminado o cálculo e o dimensionamento da estrutura, pode obter os resultados por escrito com a opção **Listagens** e de forma gráfica, com a opção **Desenhos**, no menu **Ficheiro**.

Para qualquer vista gerada no processo e conservada, pode-se pedir o desenho em formato DXF, impressora ou em metaficheiro.

Para finalizar este exemplo, delineamos os passos para poder calcular os contraventamentos horizontais da nave.

É lógico pensar que o tipo de nó que se gera para os contraventamentos horizontais não está definido no programa, visto que na realidade as barras estão contidas em dois planos que não se intersectam.

Por outro lado, este tipo de elementos apenas trabalha à tracção, evitando dimensioná-los à compressão. O programa também não realiza este tipo de cálculo.

O número máximo de acções simples de vento contempladas nas combinações de defeitos, está limitado a quatro no programa.

Por isso, é necessário delinear o cálculo dos contraventamentos horizontais num ficheiro paralelo, de tal forma que só se analisa uma franja de travamento, introduzindo as barras que apenas trabalham à tracção.

No nosso caso temos duas franjas de travamento, pelo que a carga transversal será metade (Fig. 2.52).

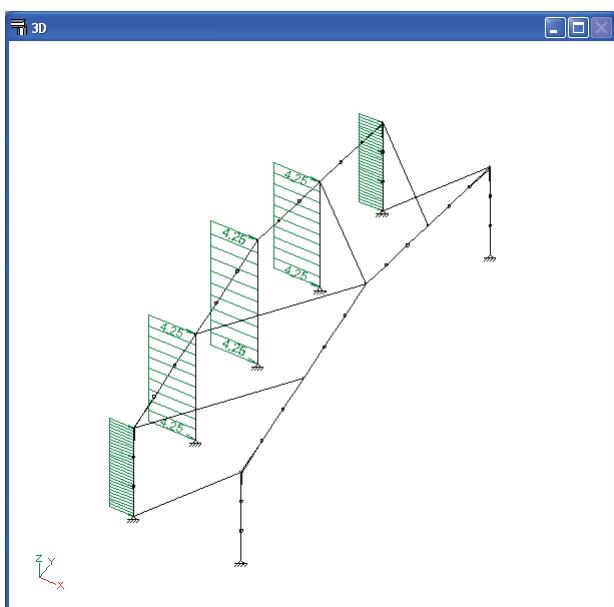


Fig. 2.52

A seguir expomos de forma abreviada os passos necessários para criar rapidamente o ficheiro que permite analisar os contraventamentos horizontais.

1. Duplique o ficheiro inicial modificando o nome. Isto faz-se no menu **Ficheiro > Selecção de obra > Copiar**.
2. Desagrupa os planos paralelos com a opção **Agrupa** do menu **Plano**.
3. Apague todos os nós, excepto os dos dois primeiros pórticos no menu **Nó > Elimina**.
4. Crie um plano que contenha o segundo pórtico com o menu **Vista > Nova**.
5. Gere nós que simulem pontos de união com as madres. Isto faz-se no menu **Plano > Geração > Geração nós e barras**. Gere nas madres 6 nós e no pilar 3 nós.
6. Introduza nós novos no pórtico 1. Para isso, seleccione a vista e com a opção **Novo** do menu **Nó**, acrescentam-se nós na intersecção das linhas de capturas.
7. Ligue um a um os deslocamentos em x dos nós das madres no menu **Nó > Relação**.
8. Acrescente apenas as barras que trabalharem à tracção no menu **Barra > Nova**.
9. Descreva as barras novas como varões maciços. Seleccione menu **Barra > Descr. Perfil**.
10. Descreva os nós de tal forma que se encastrem todas as barras no nó, excepto as barras de contraventamentos que se articulam.

11. Elimine todas as acções simples no menu **Carga > N.º hipóteses**.
12. Apague todas as cargas da acção de peso próprio no menu **Carga > Eliminar**.
13. Desactive a opção **Geração Automática do peso próprio** dos elementos no menu **Carga > N.º de hipóteses > Gera P.Próprio**.
14. Introduza a carga correspondente ao vento transversal no menu **Carga > Nova**.
15. Calcule a obra no menu **Cálculo > Calcular**.
16. Redimensione os elementos no menu **Cálculo > Comprova barra**.

3. Exemplo Prático: Calcular uma nave metálica com o auxílio do Gerador de Pórticos

3.1. Introdução

O objectivo deste manual é facilitar a aprendizagem e utilização do programa **Metal 3D** e **Gerador de Pórticos**, desde a introdução de dados, análise e preparação de ficheiros de resultados.

3.2. Nave Industrial

3.2.1. Apresentação da estrutura

A nave desenvolve-se num comprimento de 50 m e tem um vão de 25 m.

A estrutura principal da nave é constituída por pórticos planos, tipo pórtico rígido.

A estrutura secundária é constituída pelas madres da cobertura e madres das fachadas, pelos pilares e vigas de apoio das chapas de topo da nave e pelos elementos de contraventamento.

Materiais utilizados :

B20

Fe 360

A400

3.2.2. Procedimentos de cálculo

Para realizar o cálculo desta estrutura, utiliza-se o módulo **Gerador de Pórticos** e o módulo **Metal 3D**.

No primeiro serão dimensionadas as madres da cobertura e as madres das fachadas. São também geradas automaticamente as cargas actuantes nos pórticos principais, resultantes da acção permanente e das acções variáveis de sobrecarga e de vento, ao mesmo tempo que é gerada a geometria dos pórticos principais.

Toda esta informação é transferida automaticamente para o **Metal 3D**, podendo de seguida passar-se ao dimensionamento dos pórticos principais.

A estrutura secundária, à excepção dos elementos de contraventamento pode ou não ser introduzida conjuntamente com os pórticos principais. Optou-se neste trabalho por considerá-la em separado, para se obter um cálculo mais rápido.

3.2.3. Utilização do módulo Gerador de Pórticos

Seleccione no Ambiente de trabalho a opção **CYPE. Software para Engenharia e Construção**,

Depois seleccione o grupo **Metal** e posteriormente **Gerador de Pórticos**, clique em **Arquivo>Novo**, e aparecerá a janela **Nova obra**, onde deve escrever o nome do novo ficheiro (Fig. 2.1).

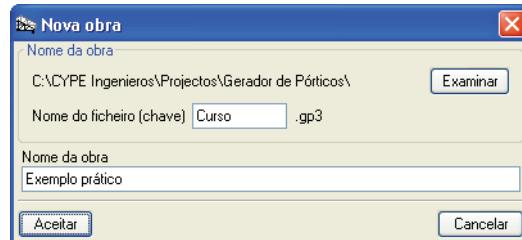


Fig. 2.1

Verá que automaticamente surgirá o diálogo **Dados de Obra**. Comece por indicar a separação entre pórticos e cargas dos tapamentos (Fig. 2.2).

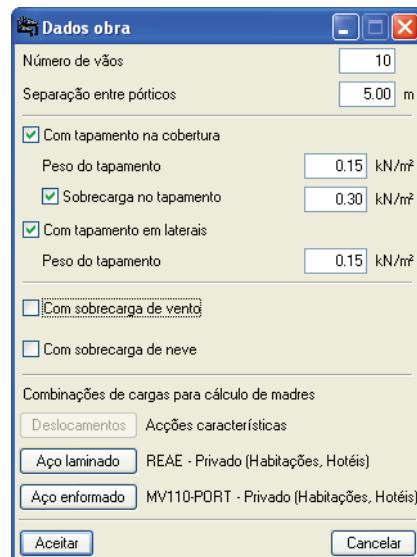


Fig. 2.2

Depois de introduzir a separação entre pórticos e as cargas dos tapamentos, pode passar para a introdução da acção do vento (Fig. 2.3)

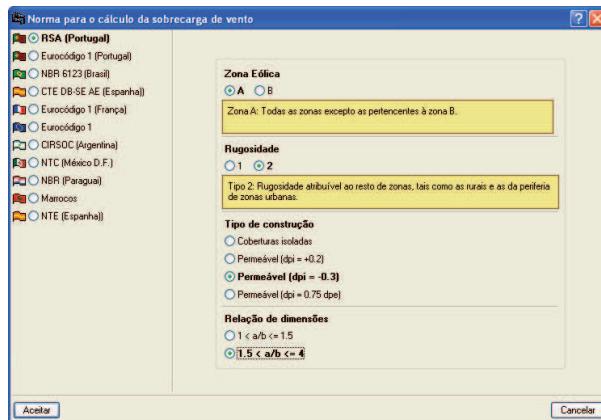


Fig. 2.3

Termine este diálogo definindo o grupo de combinações, neste caso **Coberturas** (Fig. 2.4).

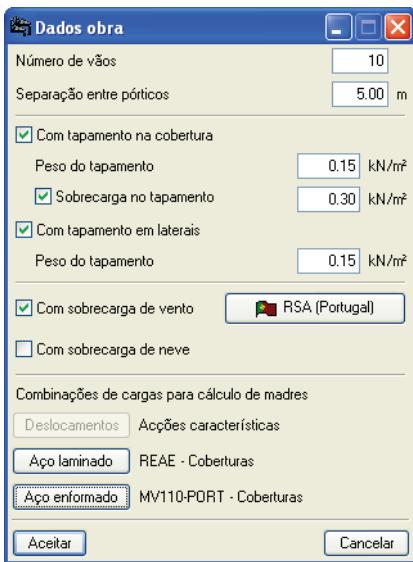


Fig. 2.4

O passo seguinte é definir a geometria do pórtico principal.

O programa pergunta se deseja introduzir um pórtico novo, prima em Sim e seleccione posteriormente um pórtico de duas águas.

Considere as dimensões da Fig. 2.5.

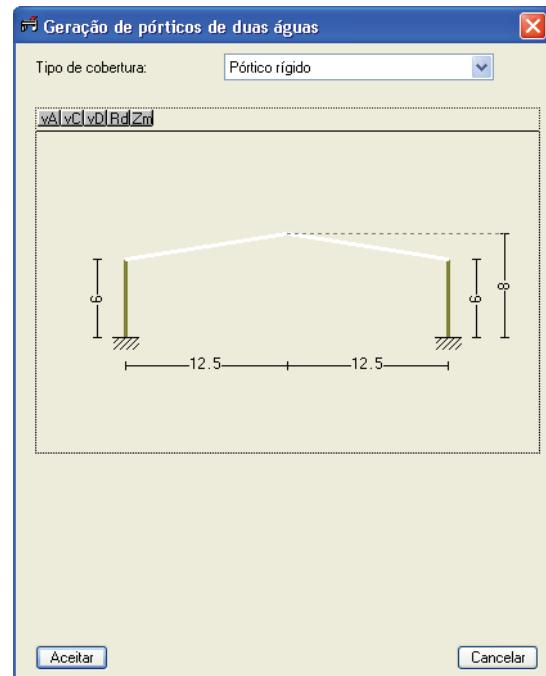


Fig. 2.5

Como se referenciou anteriormente, considera-se pórtico rígido, no entanto, se pretender considerar asnas basta carregar em Tipo de Cobertura e escolher o modelo (Fig. 2.6).

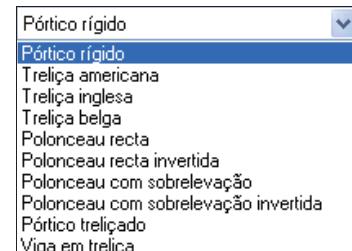


Fig. 2.6

De seguida dimensionam-se as madres da cobertura.

Clique em (Edição de madres na cobertura e lateralmente), posteriormente pressione **Madres nas coberturas** (Fig. 2.7).



Fig. 2.7

Considere para perfil, um ZF 100x2 com separação de 2,0 m e para o tipo de fixação a **Fixação rígida**. Para optimização do perfil (separação e aço) deve premir **Dimensionar** da linha **Tipo de Perfil** (Fig. 2.8).

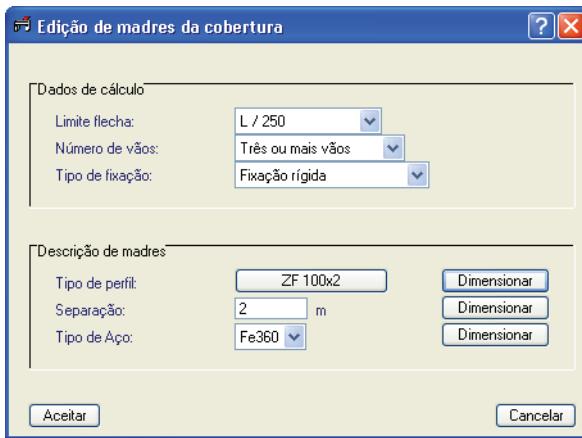


Fig. 2.8

Verá que o programa indica quais os perfis que cumprem ou não e as verificações impostas (Fig. 2.9).

Faça duplo clique sobre o perfil **ZF 160x2**, de forma a seleccioná-lo e prima **Aceitar**.



Fig. 2.9

Para mudar o **Tipo de Perfil** de INP 80 (que está por defeito quando inicia a janela de **edição de madres da cobertura**), para ZF 100x2 deve proceder da seguinte forma:

Depois de premir e posteriormente em **Madres nas coberturas**, aparecerá o menu da Fig. 2.10, deverá premir em INP 80.

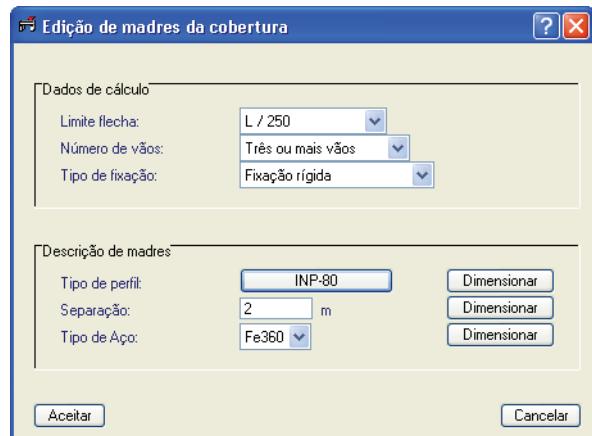


Fig. 2.10

Aparecerá o menu da Fig. 2.11 (Edição de peça metálica), pressione em INP 80.

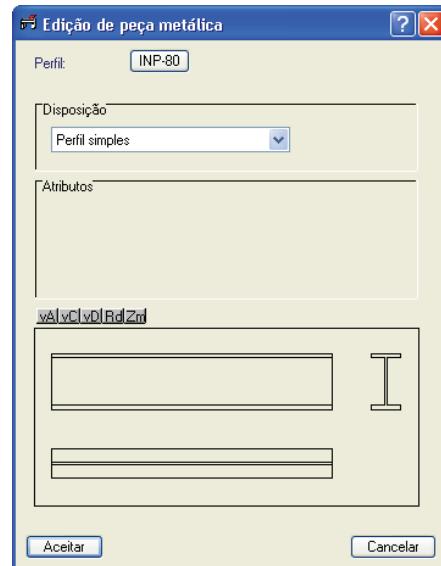


Fig. 2.11

Por fim surge o menu **Descrição de Perfil** onde deve alterar a **Série de perfis** de INP (Laminado) para ZF (Enformado) (Fig. 2.12).

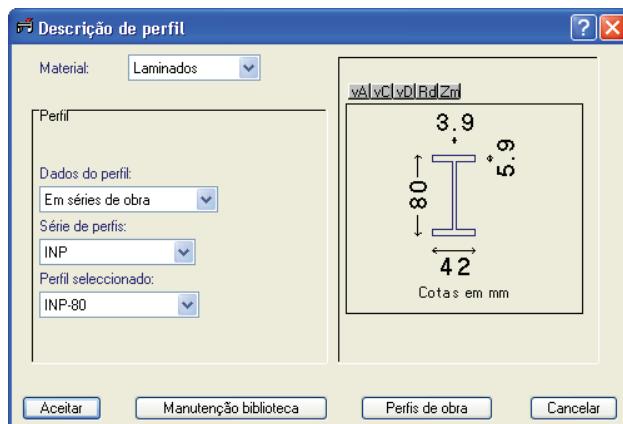


Fig. 2.12

Como é necessário utilizar um perfil enformado ZF, deve premir a opção **Perfis de Obra** isto porque não existe o perfil ZF, é necessário importar da biblioteca, surge a janela da Fig. 2.13 (Biblioteca de Perfis).

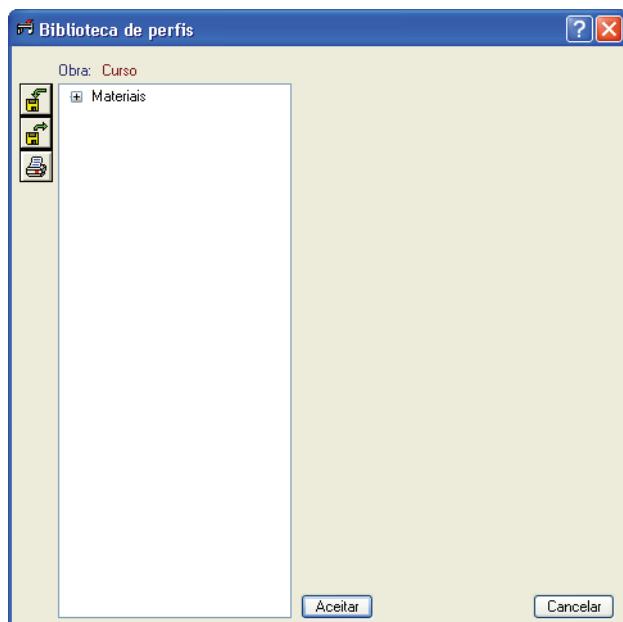


Fig. 2.13

Depois pressione em (Importar Séries) para aceder à janela de Importar Séries de Perfis (Fig. 2.14)

Seleccione em **Biblioteca** a tabela de materiais Ensidesa.

Para importar os perfis pressione e aceite todas as opções até visualizar a janela de Descrição de perfil. Coloque como material **Enformados** e seleccione como Tipo de perfil **ZF** (Fig. 2.15).



Fig. 2.14

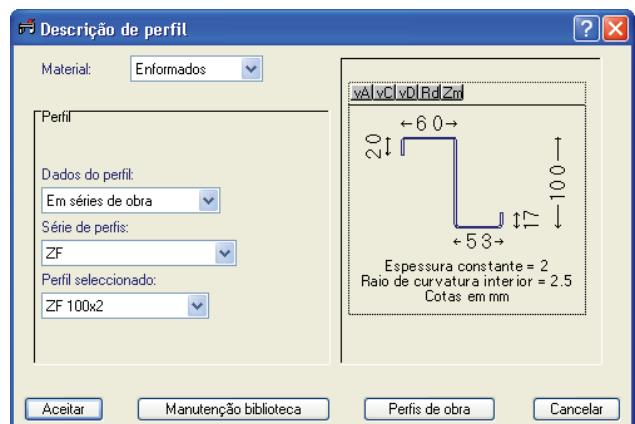


Fig. 2.15

Da mesma forma defina os dados para o dimensionamento das **Madres laterais**. Considere para perfil, um ZF 160x2 com separação de 1,5 m e para o tipo de fixação a **Fixação rígida**.

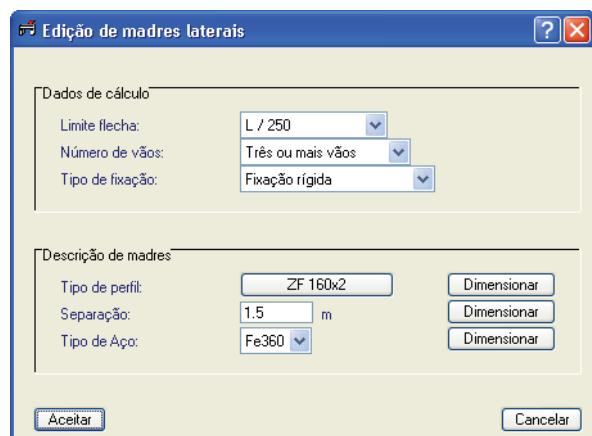


Fig. 2.16

Neste momento pode retirar listagens e desenhos relativos às madres e geometria do pórtico.

Se a partir de agora for necessário dimensionar os pórticos principais, será necessário iniciar o Metal 3D, para isso pressione , executada esta acção surgem as janelas com o resultado do dimensionamento das madres Fig. 2.17 e Fig. 2.18.

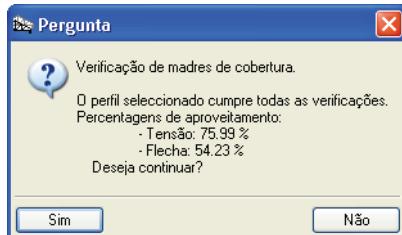


Fig. 2.17

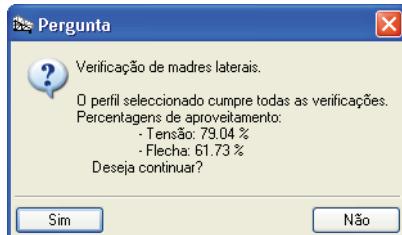


Fig. 2.18

Após aceitar estas duas perguntas surgirá a janela **Opções de exportação para Metal 3D** (Fig. 2.19).

Opte na **Configuração de apoios** por Pórticos biarticulados, no **Tipo de geração** por Geração pórticos 3D, nas **Opções de agrupamento** por Agrupar todos, nas **Opções de encurvadura** colocar Encurvadura em pórticos de nós móveis e para finalizar o **Número de Vãos** igual a 10.

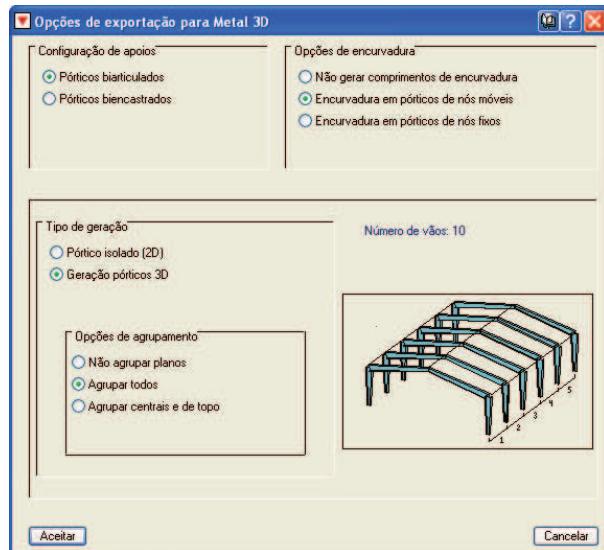


Fig. 2.19

Prima **Aceitar** para confirmar as opções escolhidas.

Surge um aviso, relativo à geração das cargas do vento. Este aviso é importante quando se gera pórticos múltiplos, já que o programa considera a geração das cargas do vento como pórticos isolados; prima **Aceitar** para continuar.

Na janela informativa que surge de imediato prima **Aceitar** (Fig. 2.20).

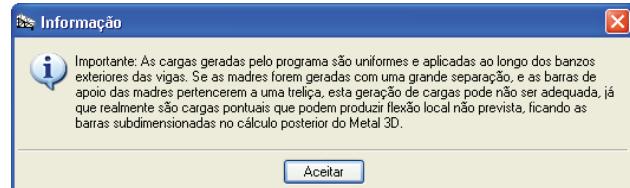


Fig. 2.20

Esta aplicação termina com a gravação dos dados introduzidos no **Gerador de Pórticos**, o Programa pedirá para confirmar se deseja realizar a exportação de dados para **Metal 3D** (Fig. 2.21) e se deseja guardar os dados da obra actual (Fig. 2.22).

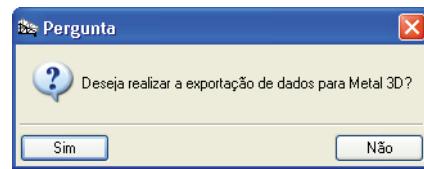


Fig. 2.21

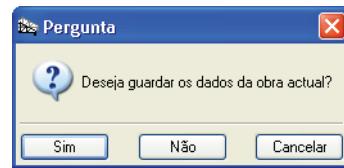


Fig. 2.22

Ao premir em sim nas duas perguntas, automaticamente o programa passa para a aplicação **Metal 3D** (Fig. 2.23).

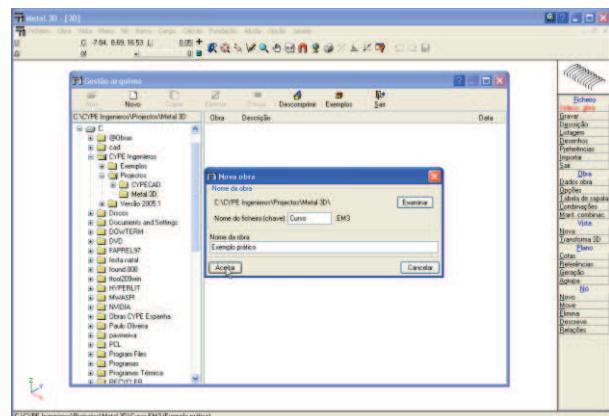


Fig. 2.23

Premindo a opção **Novo** da Fig. 2.23 inicia-se uma nova obra com todos os dados necessários para o dimensionamento dos pórticos principais, que previamente foram introduzidos no **Gerador de Pórticos** (Fig. 2.24).

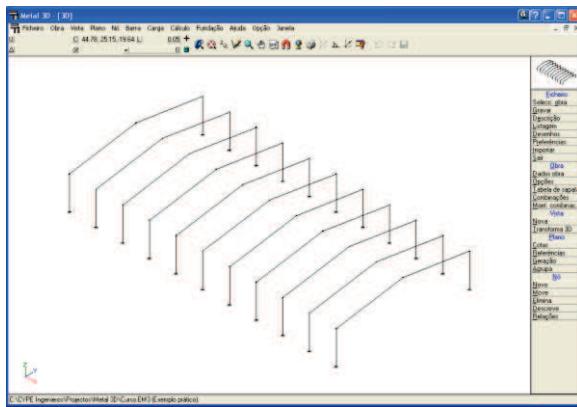


Fig. 2.24

3.2.4. Utilização do Módulo Metal 3D

3.2.4.1. Dimensionamento dos Pórticos Principais

Uma vez no **Metal 3D**, pode observar os pórticos. Selecione **Carga** e **Hipótese Vista** e activar **Ver todas**, repare que lhe aparecem no ecrã as cargas geradas automaticamente pelo **Gerador de Pórticos**, se seleccionar em **Barra**, **Encurvadura** e premir **Aceitar** nas duas janelas que aparecem poderá ver que também lhe aparecem definidos os coeficientes de encurvadura, que neste caso, para o plano xy (Fig. 2.25). De igual forma se seleccionar **Bambeamento**, pode ver a distância de travamento dos banzos.

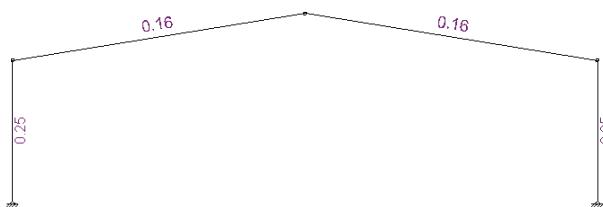


Fig. 2.25

Apesar de todos estes dados terem sido gerados através do **Gerador de Pórticos**, convém aqui referir que toda a sua introdução poderia ter sido feita a partir do **Metal 3D**, é claro que isso implicaria introduzir:

- Todos os pórticos
- Todas as madres
- Todas as vigas
- As cargas actuantes em cada madre e em cada viga, resultantes de cada acção.

Este processo seria extremamente moroso, pelo que o **Gerador de Pórticos** facilita todo este trabalho.

Para os casos de naves industriais com pisos intermédios, poder-se-ia nesta fase introduzir barras, definindo assim a estrutura necessária.

Passa-se agora ao dimensionamento propriamente dito dos pórticos principais.

Tendo este tipo de estrutura um comportamento fundamentalmente de pórtico plano, opta-se por dimensionar os pórticos principais isoladamente.

Assim comece por seleccionar **Barra>Descr. Perfil**, seguidamente seleccione no pórtico frontal os dois pilares e carregue no botão direito do rato.

Na Fig. 2.26 clique na célula **Metálico (aço)**.



Fig. 2.26

Na Fig. 2.27 clique em **INP 80**.

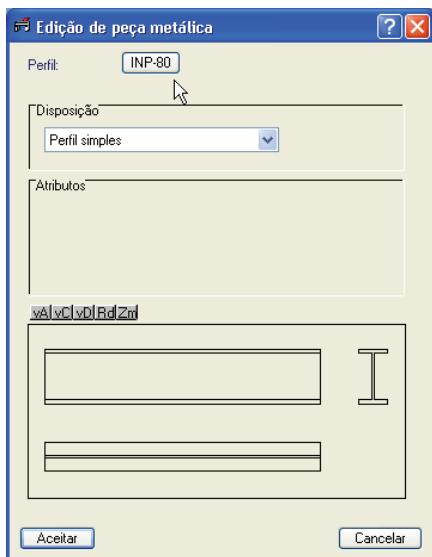


Fig. 2.27

Na janela da Fig. 2.28 escolha a **Série de perfis IPE** e pode deixar estar por defeito o **Perfil selecionado** como IPE 80.



Fig. 2.28

Prima em Aceitar várias vezes até visualizar a sua obra.

Repare que como estes pórticos estão agrupados, automaticamente é atribuída a mesma secção aos restantes pórticos.

Prima agora sobre as duas vigas do pórtico frontal e carregue no botão direito do rato. Como o último perfil seleccionado foi o IPE 80, bastaria premir em **Aceitar** para terminar, mas como se pretende colocar quadros de reforços na ligação viga-pilar e viga-viga, prima sobre **Descrição**.

Em **Disposição**, escolhemos a linha **Simples com cartelas**, como se indica na Fig. 2.29.

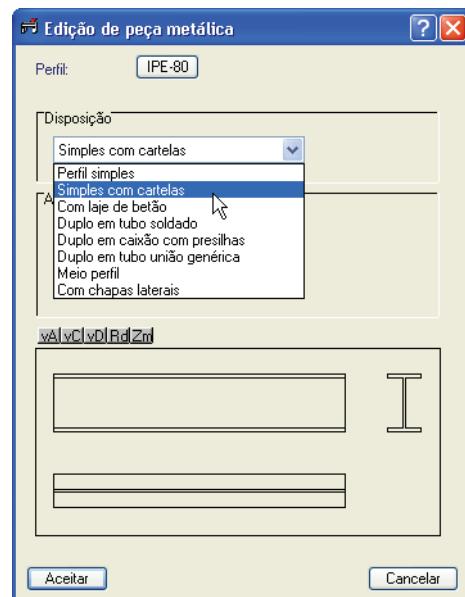


Fig. 2.29

Após seleccionar **Simples com cartelas**, surge um botão **Sem Cartelas** prima sobre o mesmo e abrir-se-á a janela **Cartelas**.

Seleccione a **Cartela inicial inferior** com o comprimento de 2,0 m e a **Cartela final inferior** com o comprimento de 1,0 m (Fig. 2.30).



Fig. 2.30

Prima sempre em **Aceitar** até voltar a visualizar a sua estrutura (Fig. 2.32).

A localização dos reforços depende da disposição das barras. Na Fig. 2.31 é descrito com as iniciais **i** (início), **f** (fim) de barra e **sup** (superior), **inf** (inferior) da barra.

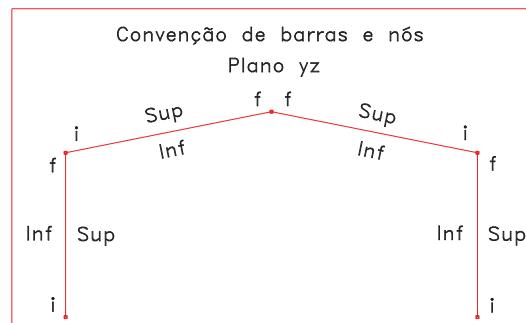


Fig. 2.31

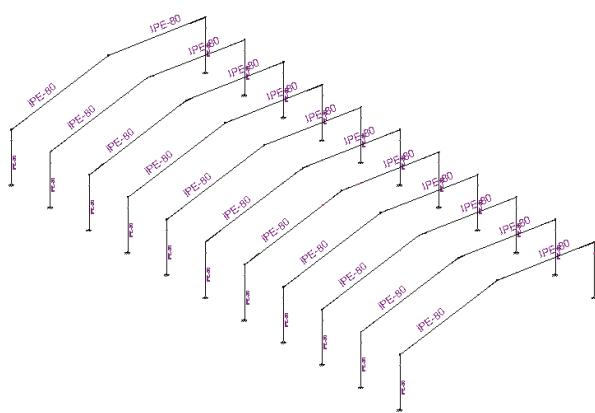


Fig. 2.32

Seleccione agora **Barra** e **Encurvadura**, verá que tanto para a direcção do plano dos pórticos como para a direcção perpendicular estão definidos os coeficientes de encurvadura das barras, tal como se tinha referido anteriormente.

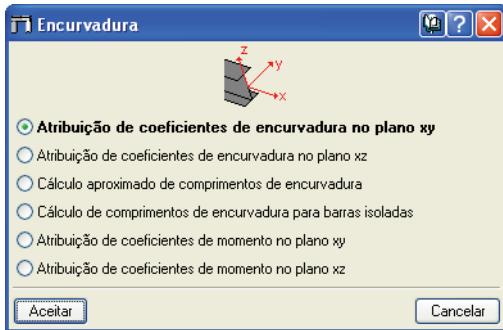


Fig. 2.33

De seguida seleccione a opção **Bambeamento**, com o objectivo de definir as distâncias de travamento dos banzos, repare que as que foi possível definir, o programa já as definiu (Fig. 2.34), deve agora ter em especial atenção os banzos, aos quais o programa atribui o valor L . Deve decidir se realmente o banzo não tem qualquer travamento ou se, pelo contrário, pensa colocar travamentos e, se assim for, qual a distância entre eles.

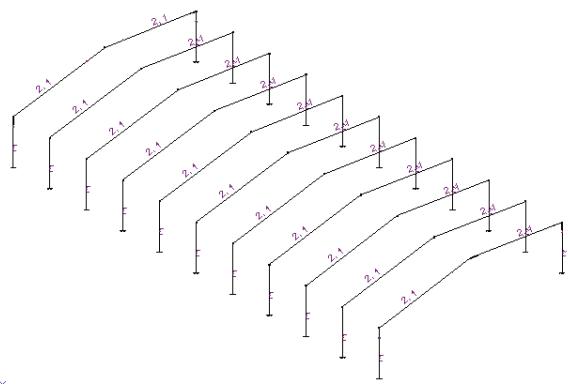


Fig. 2.34

Neste caso, vamos admitir que nos pilares o banzo do interior dos pórticos (banzo superior para o pilar esquerdo e inferior para o pilar direito), não tem qualquer tipo de travamento e que o banzo inferior das vigas está travado de 4,0 m em 4,0 m.

Prima em **Bambeamento banzo inferior**, clique sobre as duas vigas de um determinado pórtico e prima no botão direito do rato, preencha de acordo com a Fig. 2.35.

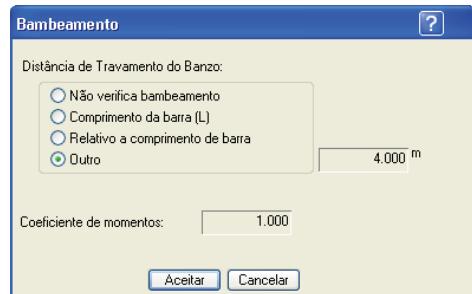


Fig. 2.35

No que diz respeito aos Coeficientes de Momentos, pode consultar em formato pdf o manual de Metal 3D – Memória de Cálculo - onde se mostra uma tabela com estes valores, de acordo com o desenho do diagrama de momentos flectores. Deixe, neste exemplo, ficar o valor 1, que é a situação mais desfavorável.

Antes de efectuar o cálculo, prima em **Obra>Estados limite** e altere o tipo de utilização para **Coberturas**.

Neste momento pode passar ao dimensionamento. Seleccione **Cálculo** e **Calcula**.

Aguarde alguns instantes. Terminado o cálculo, surge uma mensagem a indicar que numa determinada barra existe um deslocamento muito grande, trata-se de um aviso. Clique novamente sobre **Cálculo** e seleccione **Comprova Barra**.

A utilização desta opção permite verificar os resultados de cálculo, neste caso todas as barras aparecem a vermelho, significa que as barras não resistem. Se seleccionar uma das vigas do pórtico frontal surge a janela da Fig. 2.36.

Nome	Peso (Kg/m)	Texto de verificação
IPE-80	9.95	Não verif. esbeltez
IPE-100	13.40	
IPE-120	17.24	Perfil incorrecto
IPE-140	21.48	Perfil incorrecto
IPE-160	26.24	Perfil incorrecto
IPE-180	31.30	Perfil incorrecto
IPE-200	37.09	Perfil incorrecto
IPE-220	43.50	Perfil incorrecto
IPE-240	50.65	Perfil incorrecto
IPE-270	59.77	correcto
IPE-300	70.36	correcto

Significado dos ícones

- Elemento que não verifica alguma verificação.
- Elemento que verifica todas as comprovações.

Aceitar Cancelar

Fig. 2.36

Nesta janela o programa indica o perfil IPE 80 precedido de , significando que a barra não resiste por não verificar a esbelteza. Neste caso a solução será clicar duas vezes sobre o perfil IPE 270, que no caso trata-se do perfil correcto.

Passe agora para os pilares, comprove-os. Neste caso só o perfil IPE 360 é suficiente, opte então por este perfil para os pilares.

Nome	Peso (Kg/m)	Texto de verificação
IPE-200	22.37	Perfil incorrecto
IPE-220	26.22	Perfil incorrecto
IPE-240	30.69	Perfil incorrecto
IPE-270	36.03	Perfil incorrecto
IPE-300	42.23	Perfil incorrecto
IPE-330	49.14	Perfil incorrecto
IPE-360	56.68	correcto
IPE-400	66.33	correcto
IPE-450	77.56	correcto
IPE-500	91.06	correcto
IPE-550	105.19	correcto

Significado dos ícones

- Elemento que não verifica alguma verificação.
- Elemento que verifica todas as comprovações.

Aceitar Cancelar

Fig. 2.37

Finalmente calcule de novo, repare que ao escolher um perfil mais pesado pode originar que o perfil deixe de resistir devido ao aumento do peso próprio.

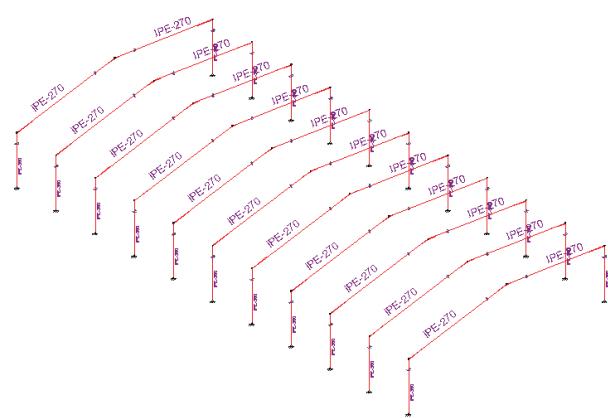


Fig. 2.38

Sendo assim, terá que comprovar as barras novamente e seleccionar os perfis correctos voltando a calcular novamente, até que não surja mais nenhuma barra a vermelho.

O resultado final do dimensionamento é o da Fig.2.39.

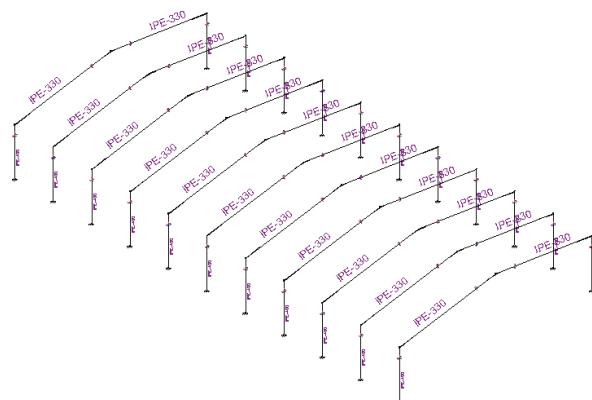


Fig. 2.39

Pórtico

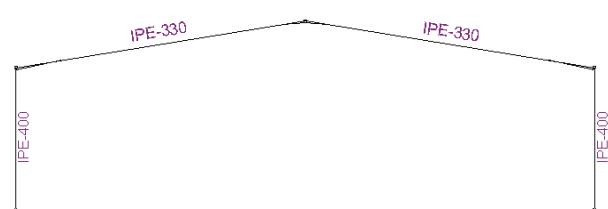


Fig. 2.40

Para poder ver mais facilmente cada um dos pórticos pode tirar partido da opção **Vista**. Escolha **Vista 2D dum plano** e clique sobre três nós do pórtico frontal, surge então a janela da Fig. 2.41.



Fig. 2.41

Posteriormente surge a janela que corresponde ao pórtico de topo (Fig. 2.42).

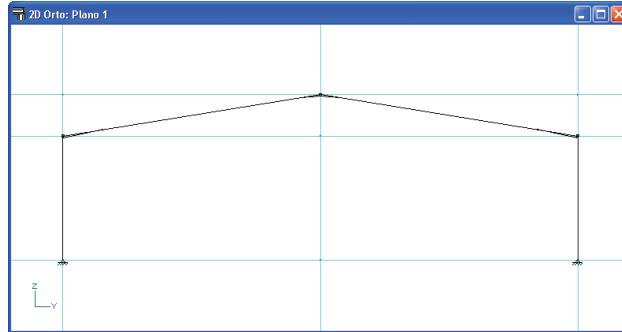


Fig. 2.42

Pode visualizar os perfis à escala, seleccione **Barra** e **Perf. Real**, o que lhe permite obter o desenho da estrutura tal como na Fig. 2.43. Se premir em pode seleccionar outras vistas.

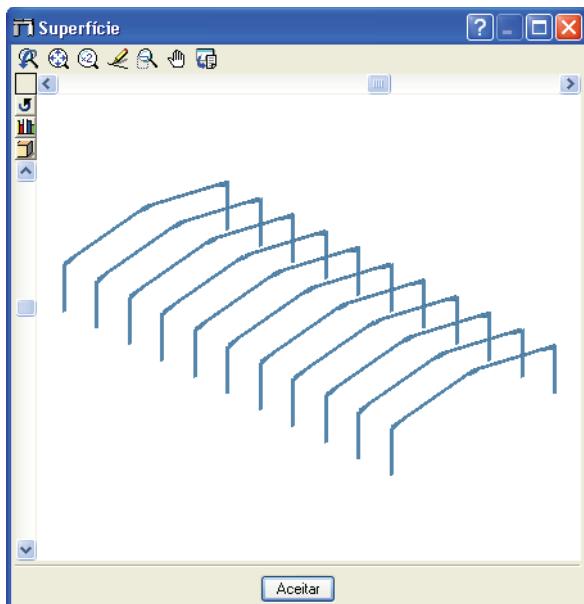


Fig. 2.43

A opção **Janela** permite-lhe, uma vez criados vários planos, visualizá-los de várias formas e activá-los ou escondê-los.

Seleccione a opção **Janela** e clique sobre **3D**, de seguida crie também um plano dum pórtico central. Se em **Janela** seleccionar **Mosaico**, poderá ver no ecrã os planos

criados e dispô-los da forma que achar mais conveniente (Fig. 2.44).

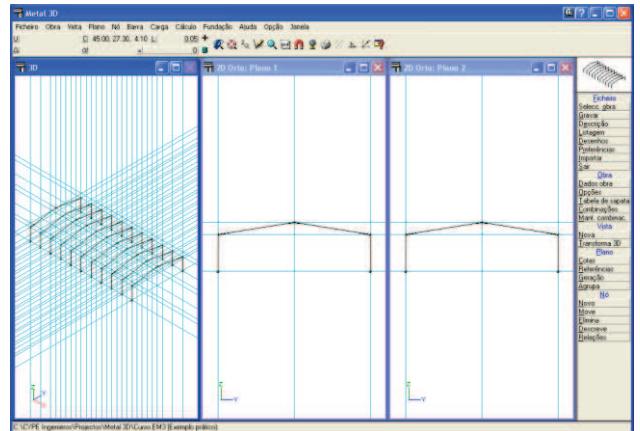


Fig. 2.44

Na opção **Vista** pode, para além de criar planos, escolher outras perspectivas da estrutura, o que se torna fundamental para o desenho de uma estrutura complexa.

Por motivos de simplificação analisa-se agora os nós com vínculo ao exterior.

No menu **Obra>Dados obra**, poderá, caso o pretenda, definir outros materiais e alterar a tensão do terreno.

Para a descrição dos apoios, previamente definidos como biarticulados, seleccione **Fundação>Placas de Amarração** e irá aparecer a janela da Fig. 2.45, seleccione a opção **Gerar**, o programa assim gera as placas de amarração para todos os nós com vínculo ao exterior.



Fig. 2.45

Após a definição das placas de amarração para os nós respectivos, deve seleccionar **Fundação>Fundação**, irá aparecer a janela da Fig. 2.46, depois deve seleccionar a opção **Gerar sapatas** para que o programa gere sapatas para os nós com vínculo ao exterior.

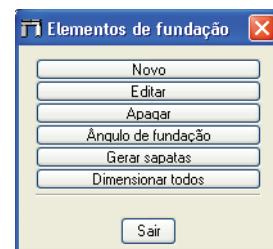


Fig. 2.46

Para dimensionar as Sapatas e Placas de amarração, basta premir **Fundação>Dimensionar**.

Para analisar os resultados do dimensionamento da fundação, deve premir em **Fundação>Placas de amarração>Editar**, depois deve seleccionar a placa de amarração que pretende consultar ou alterar (por exemplo a placa de amarração do pilar de topo esquerdo), após seleccionar a sapata aparece a janela da janela da Fig. 2.47.

Para analisar uma sapata, deve premir **Fundação>Fundação>Editar**, depois deve seleccionar a sapata que pretende consultar ou alterar. Após seleccionar a sapata aparece a janela da Fig. 2.48.

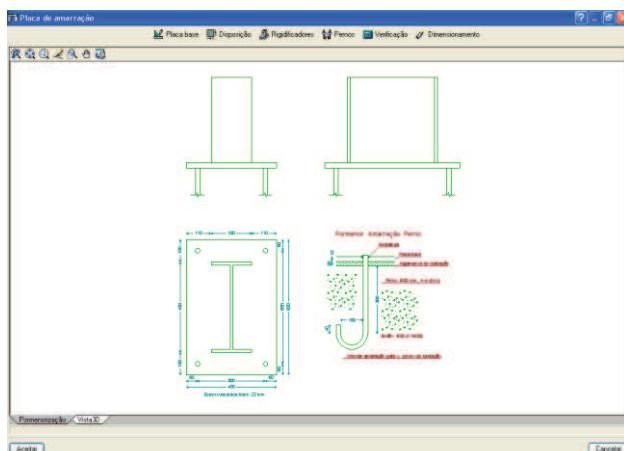


Fig. 2.47

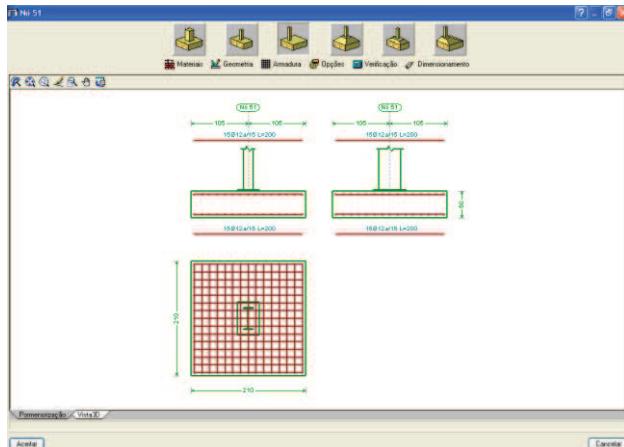


Fig. 2.48

De acordo com as figuras anteriores poderá alterar os resultados relativos a placas de amarração e sapatas, fazendo sempre uma verificação **Verificação**, para que o programa possa comprovar a alteração que foi feita.

Com a **Listagem** e **Desenhos**, no menu **Ficheiro**, podem obter-se as peças escritas e desenhadas da obra.

Para obter a listagem dos resultados de apenas uma barra, seleccione **Listagem**, seguido de **Listagem sobre elementos seleccionados** (Fig. 2.49), clique sobre a barra, carregue no botão direito do rato e na janela Fig. 2.50 escolha o que pretende listar.

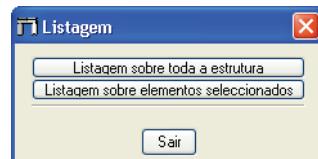


Fig. 2.49

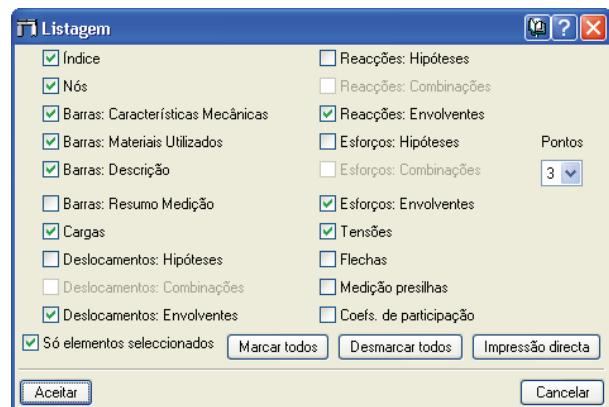


Fig. 2.50

Numa obra onde exista um número elevado de barras, pode obter-se, no caso da listagem completa, um volume de listagens muito elevado. Nesses casos deve analisar bem quais os resultados que realmente importam para a organização de um processo. A listagem das peças escritas pode ser feita para a impressora, configurada no Windows, ou para um ficheiro de extensão TXT, HTML, PDF ou RTF.

As peças desenhadas podem ser obtidas através de: **Composição de desenhos** ou **Janela activa** na opção **Desenhos** menu **Ficheiro** (Fig. 2.51).

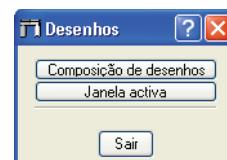


Fig. 2.51

Na primeira opção poderá visualizar os desenhos antes de imprimir, na segunda visualiza a composição do desenho na janela activa.

De um modo geral deve-se tirar sempre desenhos que contenham as referências dos nós, comprimento das barras e cotagem da estrutura. Estes elementos são imprescindíveis para que facilmente se possa localizar e identificar qualquer elemento.

O **Perfil Real** na primeira opção é possível obter-se no desenho de um plano 2D; sempre que se desenhar em 3D só aparecem os cortes transversais das secções das várias barras. Ou seja, para pormenorizar a estrutura deve criar planos e desenhá-los em 2D, seleccionando **Perfil Real**.

As peças desenhadas podem obter-se para DXF, DWG e impressora ou plotter.

Após a decisão da informação a sair nos desenhos, prima em **Aceitar** na janela de **Edição do desenho** e depois prima **Aceitar** na janela de **Seleção de desenhos** (Fig. 2.52), surgindo de seguida a janela **Composição de Desenhos** (Fig. 2.53), onde poderá fazer a gestão dos desenhos e dar posteriormente a ordem de saída dos desenhos para os diversos periféricos seleccionados.

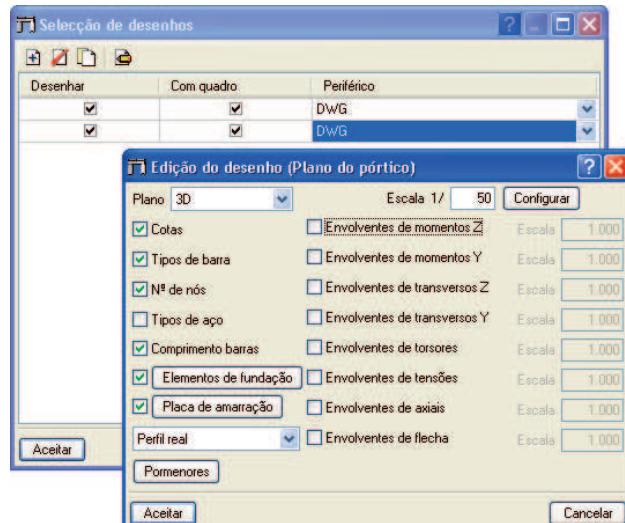


Fig. 2.52

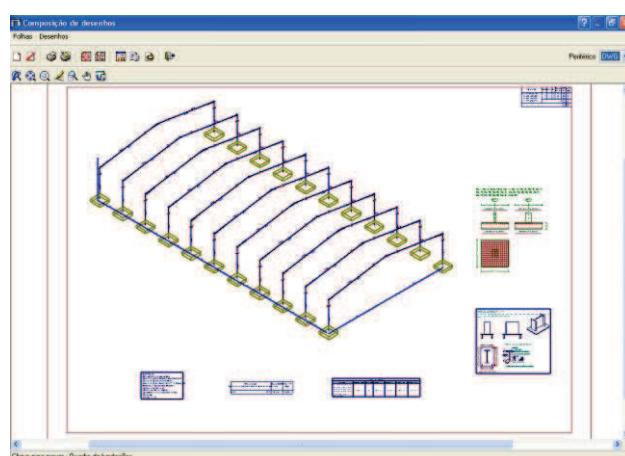


Fig. 2.53

3.2.5. Dimensionamento dos Pilares e vigas dos Pórticos de topo

A função principal destes pilares é receber as cargas resultantes da acção do vento que actua nas fachadas

de topo da nave. Embora se admita que a chapa se suporta por si só (esta foi a decisão tomada aquando da escolha do tipo de fixação para as chapas em relação às vigas), admite que há transmissão de cargas, vindas dos tapamentos das fachadas, para os pilares.

Inicie a introdução dos dados para o cálculo dos pilares.

Crie uma obra nova.

Seleccione **Vista, Nova** e crie um plano paralelo aos eixos **yz**, escolhendo **Vista 2D dum plano ortogonal ao eixo x, y ou z**. Para isso clique sobre os eixos **y** e **z**. De seguida seleccione a opção **Barra** e **Nova**, introduza uma barra vertical, com a opção **Plano** e **Cotas** dê-lhe a altura de 8.0 m, altura do pilar mais desfavorável. Com a opção **Barra** e **Descreve Perfil** escolha o IPE160 (Fig. 2.54), com a opção **Nó** e **Descreve**, coloque um apoio móvel no nó superior e um fixo no nó inferior, seleccionando também o cálculo da sapata e da placa de amarração, no nó inferior.

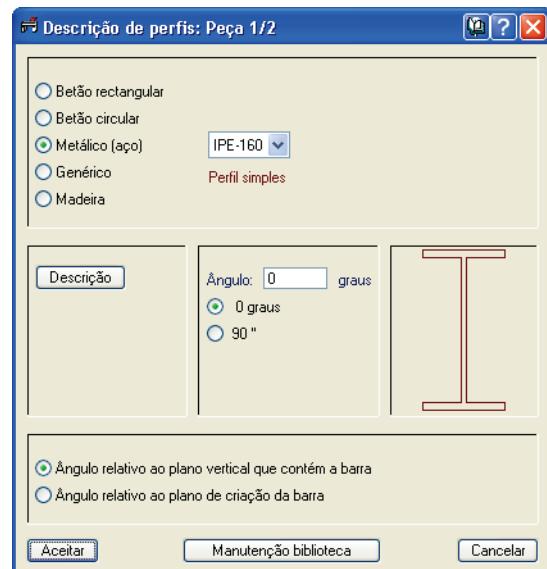


Fig. 2.54

Considere para cargas a actuar em cada um destes pilares, a carga horizontal resultante da acção do vento, igual a 4.4 kN/m. Este valor obteve-se admitindo um coeficiente de pressão interior de -0.3 e exterior de 0.7, o que totaliza o valor de 1.0. O valor característico da pressão dinâmica (P_k) é 0.7KN/m². Multiplicando 0.7x1.0 obtém-se um valor de pressão do vento de 0.7KN/m². Admitindo uma faixa de 6.25 m de largura, de largura de influência, resulta aproximadamente 4.4KN/m.

$$\delta = \delta_{\text{ext}} + \delta_{\text{int}}$$

$$F_{\text{Vento}} = P_k \times L_{\text{influência}}$$

Para que as combinações depois se realizem convenientemente, seleccione em **Carga, Número de**

Hipóteses e crie uma acção de vento, seguidamente seleccione-a em **Hipótese Vista**.

Para introduzir o valor anterior, em **Carga** seleccione **Nova** e clique sobre a barra, carregue no botão direito do rato e introduza o valor (Fig. 2.55).

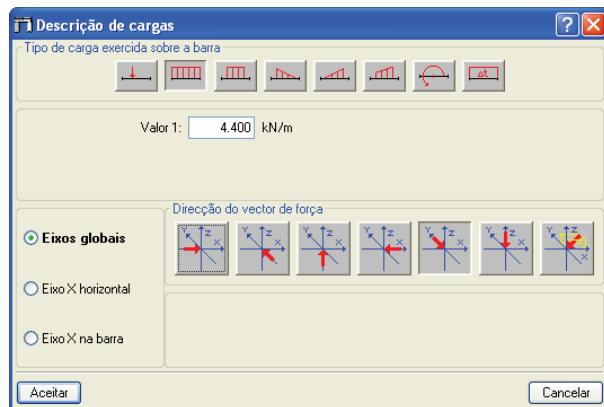


Fig. 2.55

Fazendo **Aceitar** obtém-se a janela da Fig. 2.56.

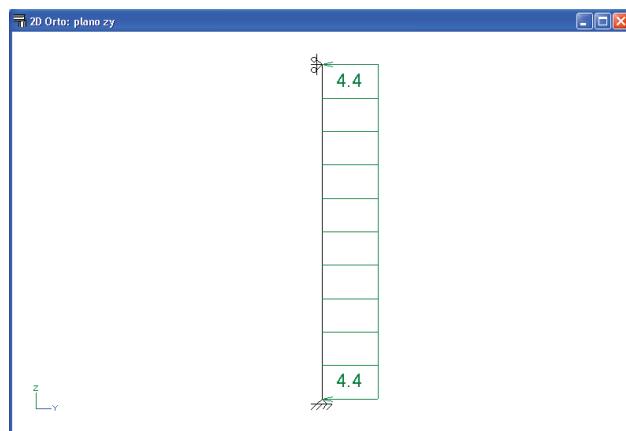


Fig. 2.56

Gere, também, o peso próprio na opção **Carga, Núm. Hipóteses** (Fig. 2.57).

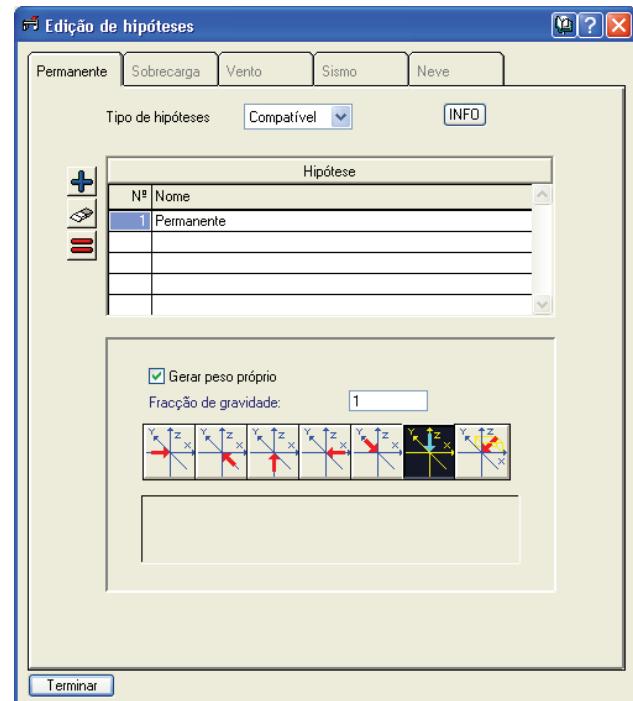


Fig. 2.57

Para efeitos de encurvadura considere o valor do coeficiente de encurvadura no plano mais fraco do perfil igual a 0,19, este valor resulta do quociente entre 1,5m e 8,0m, admitindo as madres laterais colocadas com um afastamento de 1,5m. Na outra direcção considere o valor de 1.

Relativamente ao bambeamento, considere a distância de travamento do banzo superior igual 1,5m.

Agora encontra-se em condições de executar o cálculo.

Terminado o cálculo passe à comprovação da barra; verificará que o primeiro perfil a resistir é o **IPE220**, escolha-o e calcule de novo, para ver se ele continua a resistir, apesar do aumento do peso próprio. Realmente o perfil verifica.

Consulte o resultado do cálculo da sapata (Fig. 2.58).

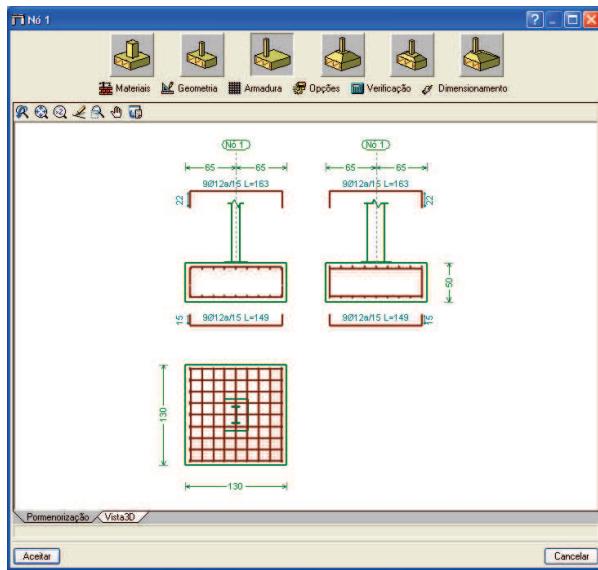


Fig. 2.58

Veja também o resultado das placas de amarração (Fig. 2.59).

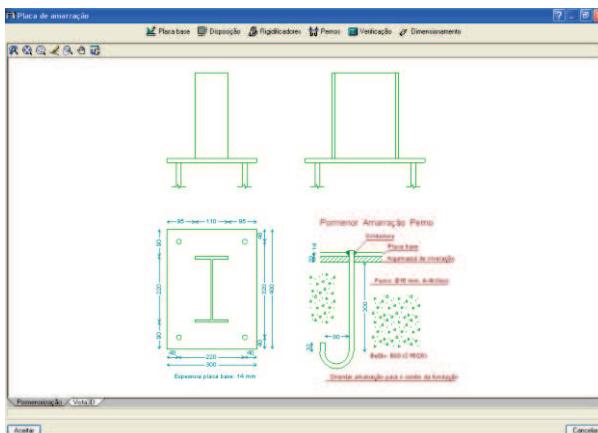


Fig. 2.59

Relativamente às madres de apoio das chapas, admite as mesmas madres das fachadas laterais, ou seja ZF 160x2, por uma questão de simplificação da estrutura.

3.2.6. Dimensionamento dos Contraventamentos

Pretende-se aqui chamar a atenção para a questão dos contraventamentos, que são elementos fundamentais para o funcionamento global das estruturas metálicas. Assim, indicam-se as directrizes para o dimensionamento de alguns contraventamentos, no sentido de criar modelos à parte da estrutura principal, de forma a obrigar elementos específicos a trabalhar à tracção, o que se torna impossível num cálculo linear tridimensional, pois tal só seria possível através de uma análise não linear.

3.2.6.1. Contraventamentos Horizontais

Considere um contraventamento horizontal frontal ao nível da cobertura, em cada um dos topo. Admita para modelo estrutural o da Fig. 2.60. A estrutura encontra-se simplesmente apoiada e as ligações dos nós são constituídas por rótulas.

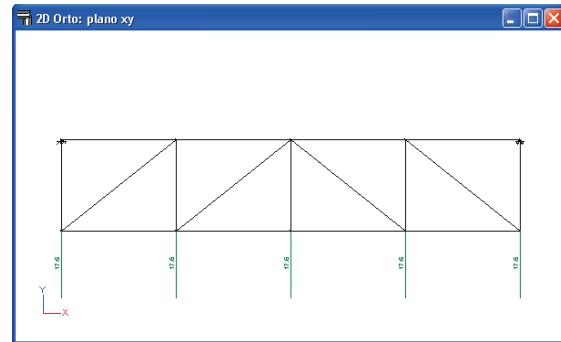


Fig. 2.60

O objectivo destes contraventamentos é o de transmitir as acções horizontais produzidas na cobertura, por actuação do vento nos pilares de topo, a contraventamentos verticais, que por sua vez as transmitem às fundações.

Neste modelo representam-se apenas as diagonais traccionadas.

Na realidade duplicar-se-ão as diagonais à parte do cálculo (Fig. 2.61).

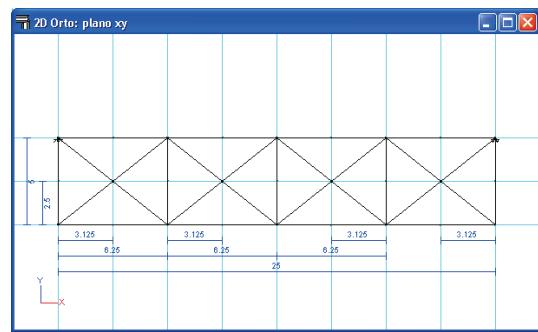


Fig. 2.61

Volte novamente à Fig. 2.60. As cargas pontuais introduzidas resultam do produto de $4.4 \times \frac{8.0}{2}$, o que dá 17,6 kN, em que 8,0 m é a altura do pilar mais desfavorável. Considere-se este valor de 17,6 kN a actuar em todos os nós, na realidade este valor decresce, uma vez que a altura dos pilares também decresce.

Nesta obra não se gera o peso próprio, descreva os seguintes perfis, de acordo com a figura 2.62, ou seja, perfis IPE-330 e tubos ocos circulares 33.7x3.2.

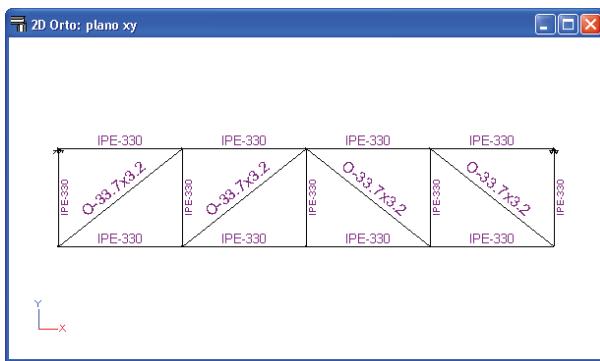


Fig. 2.62

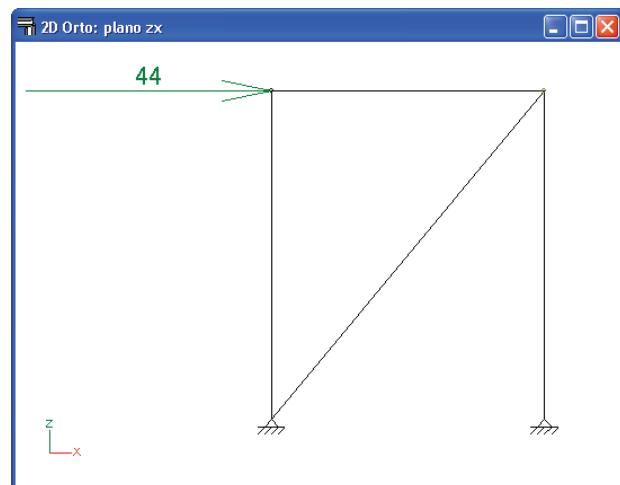


Fig. 2.64

3.2.6.2. Contraventamentos Verticais

Coloque um contraventamento vertical de cada lado em cada um dos topo.

Adopte, então o modelo da Fig. 2.63.

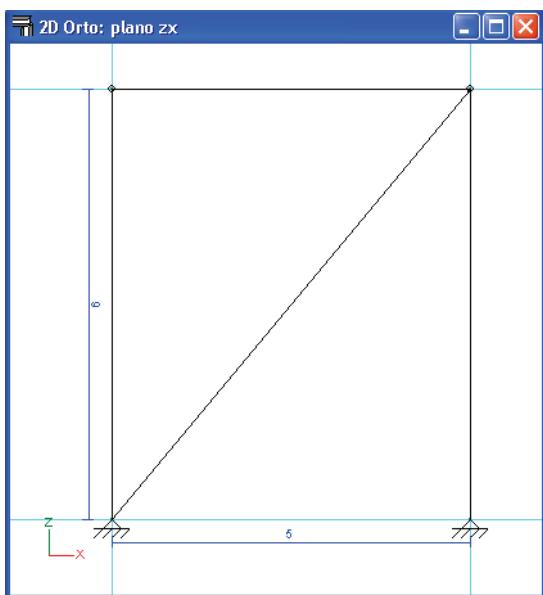


Fig. 2.63

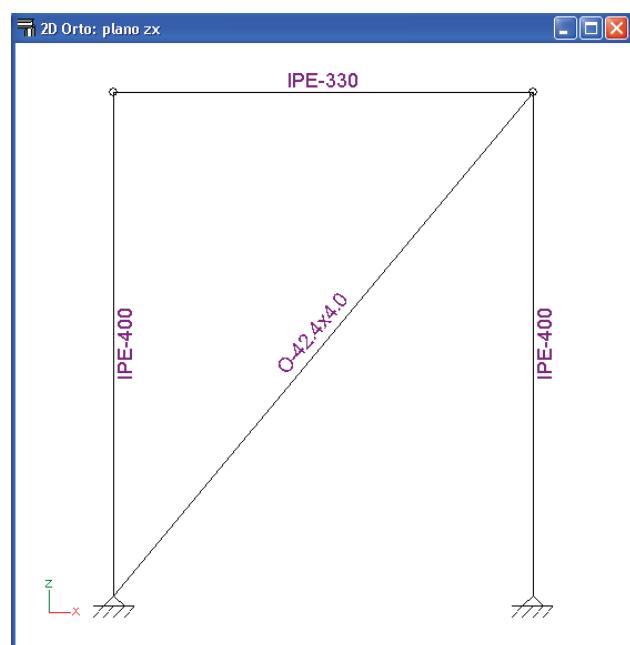


Fig. 2.65

O perfil do contraventamento vertical será um tubo circular 42.4x4.0.

4. Suporte de um Silo Metálico

4.1. Apresentação da estrutura

A estrutura serve de suporte a um silo metálico, destinado ao armazenamento de cimento Portland artificial.

O Suporte, com 10 m de altura, é constituído por quatro pilares metálicos, o apoio do silo é feito através de uma treliça que transmite a carga deste aos pilares Fig. 3.0.

Materiais utilizados:

- Fe 510
- B25

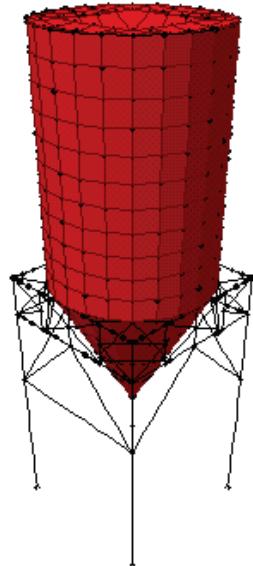


Fig. 3.0

4.2. Procedimentos de cálculo

Para a realização do cálculo utiliza-se o módulo **METAL 3D**.

Este tipo de estruturas, por ser tridimensional, obriga à criação de vários planos e à utilização da opção **Vista** e **Transforma 3D**, criando-se assim as perspectivas mais adequadas para a definição da estrutura. Obriga, portanto, a um exercício mental no sentido de criar as melhores condições para a execução de determinada tarefa.

4.3. Utilização do módulo Metal 3D

Entre no Programa e crie um novo ficheiro chamado **Silo**, através da opção **Ficheiro e Novo**.

Seleccione **Vista**, **Nova**, e **vista 2D dum Plano ortogonal ao eixo X, Y ou Z**, crie um plano na direcção XZ. Pode chamar-lhe **Plano 1**

Comece por introduzir o pórtico da figura 3.1 através da opção **Barra, Nova**.

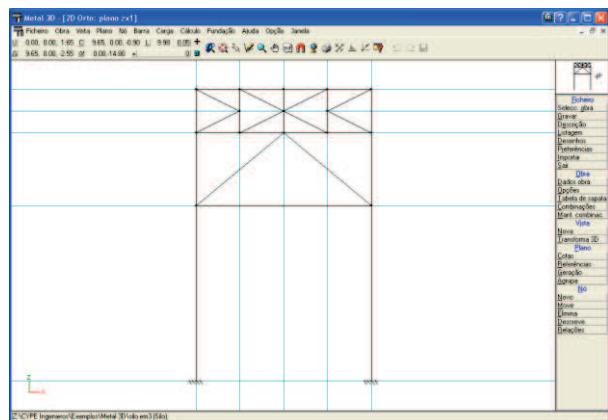


Fig. 3.1

Introduza as cotas como se representa na figura 3.2, através da opção **Planos, Cotas**.

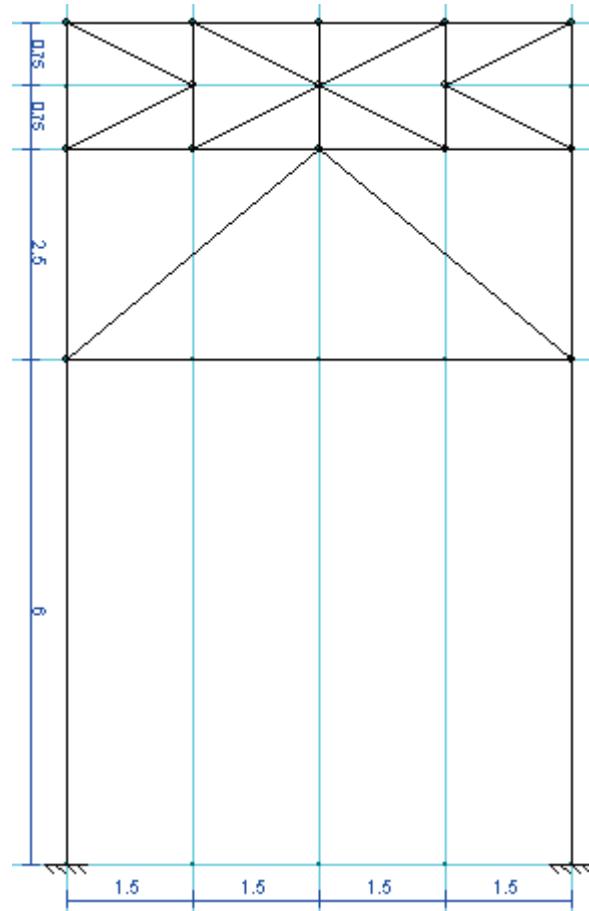


Fig. 3.2

Seleccione a opção **Janela** e clique sobre **3D**. Após ter a estrutura em **3D**, seleccione **Plano** e **Geração**, escolha **Gera Planos**. Clique sobre dois alinhamentos paralelos a **xx** e **zz**, ficando assim definido o plano do pórtico; surgirá, então, a janela da Fig.3.3, preencha-a tal como na figura.



Fig. 3.3

O resultado desta operação será a introdução de mais um pórtico de uma forma simples e imediata.

Para desenhar o pórtico na direcção perpendicular, pode seleccionar **Vista** e criar um plano da fachada do lado direito, utilize para isso a opção **Vista 2D dum Plano**, siga os procedimentos anteriores de forma a desenhar o pórtico da figura 3.4

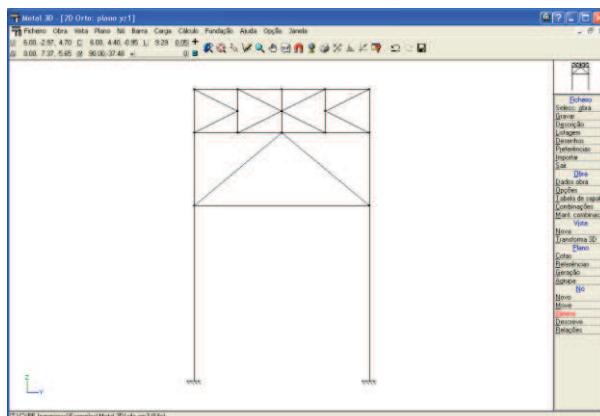


Fig. 3.4

Em seguida seleccione **Plano** e **Geração**, escolha **Gera Planos**. Clique sobre dois alinhamentos paralelos a **yy** e **zz**, de forma a criar mais um pórtico (Fig. 3.5)



Fig. 3.5

Utilizando a opção **Vista**, crie mais dois planos (**XOY**) respectivamente no cordão superior e inferior da treliça conforme Fig. 3.6, coloque quatro barras no plano esquerdo da figura de forma a servir de apoio ao Silo e no plano direito da figura de forma a contraventar a treliça neste plano.

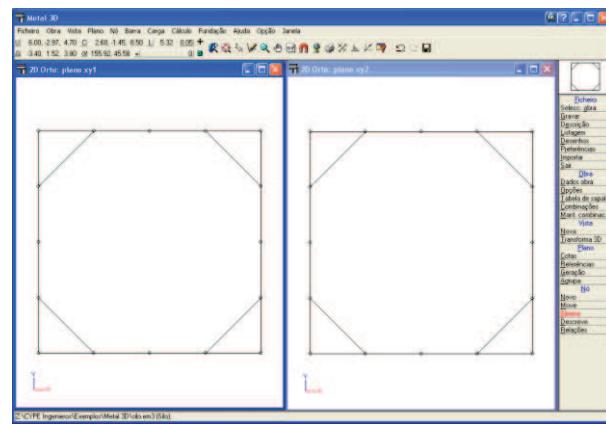


Fig. 3.6

O resultado final deverá ser o da figura 3.7

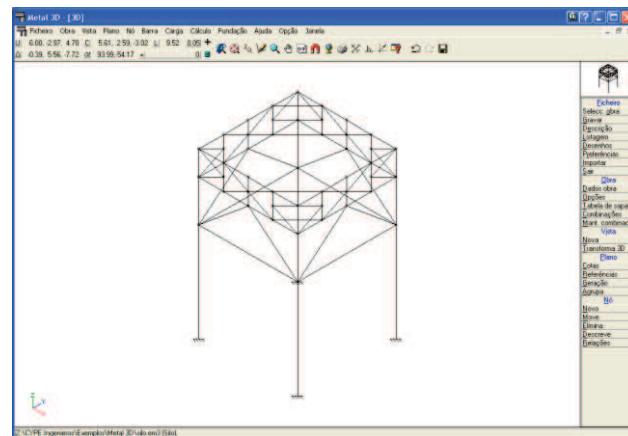


Fig. 3.7

Vamos passar à descrição das barras. Seleccione **Barra**, **Descreve perfil**, clique sobre cada uma, ou para facilitar fixe um ponto com o cursor e desloque-o. Ficaram seleccionadas todas as barras contidas na janela, se deslocou o cursor da esquerda para a direita, ou ficaram seleccionadas todas as barras total e parcialmente contidas na janela, se deslocou o cursor da direita para a esquerda. Carregue no botão direito do rato e escolha o perfil circular **Enformado O-168.3x8.0** Fig. 3.8.



Fig. 3.8

Desta forma, são descritos todos os perfis da estrutura metálica.

Seguidamente proceda da mesma forma para descrever os pilares, neste caso seleccione um HE-400B, Fig. 3.9.

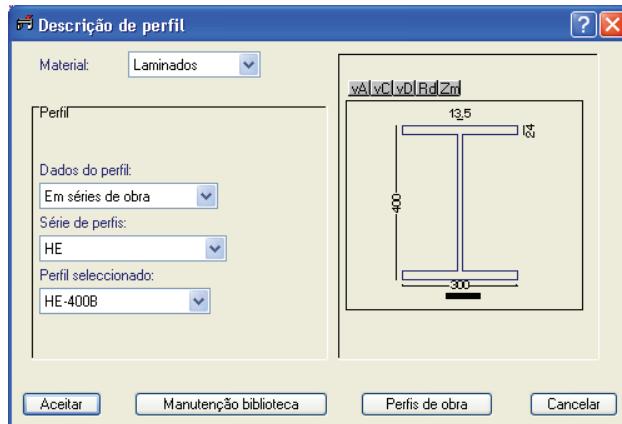


Fig. 3.9

Quando se utiliza a base de dados de perfis metálicos podemos utilizar os primeiros perfis de cada série como se pode verificar, visto que o Metal 3D possui uma opção que permite ao utilizador verificar todos os perfis de cada série utilizada, colocando o perfil que verifique as condições regulamentares impostas.

Seleccione a opção **Nó** e **Descreve**, abra uma janela com o rato de forma a captar todos os nós e escolha a ligação rotulada (Fig. 3.10).

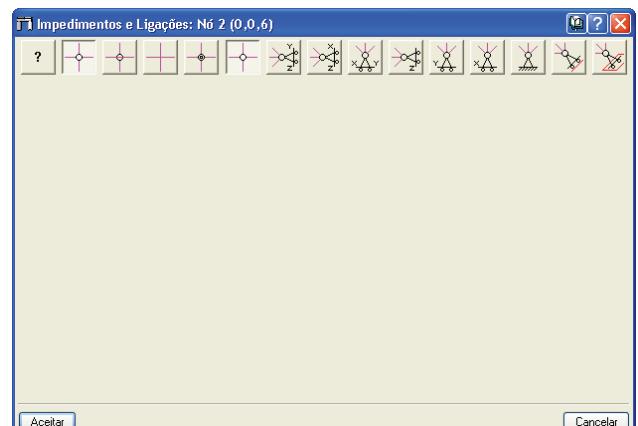


Fig. 3.10

Para os apoios dos pilares escolha encastramento (Fig. 3.11).

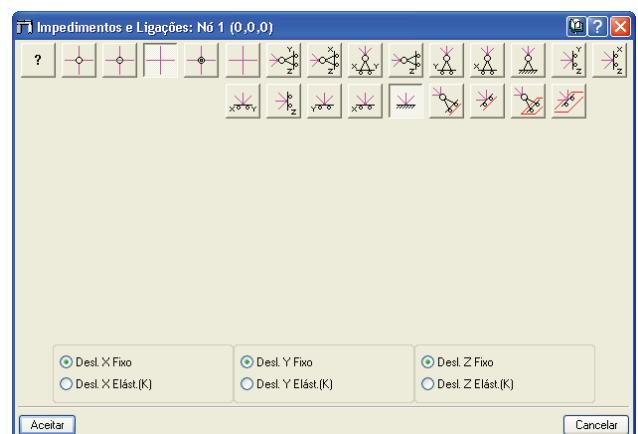


Fig. 3.11

Para introduzir as cargas, comece por gerar o peso próprio na opção **Carga**. Nesta mesma opção seleccione **Número de Hipóteses** e considere as hipóteses de **Permanente**, **Vento** e **Sismo** das figuras 3.12a, 3.12c, respectivamente.

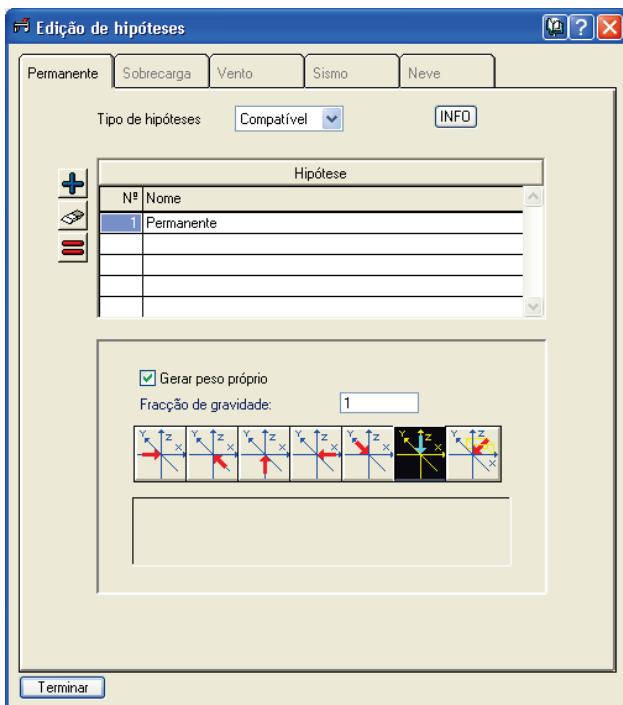


Fig. 3.12a

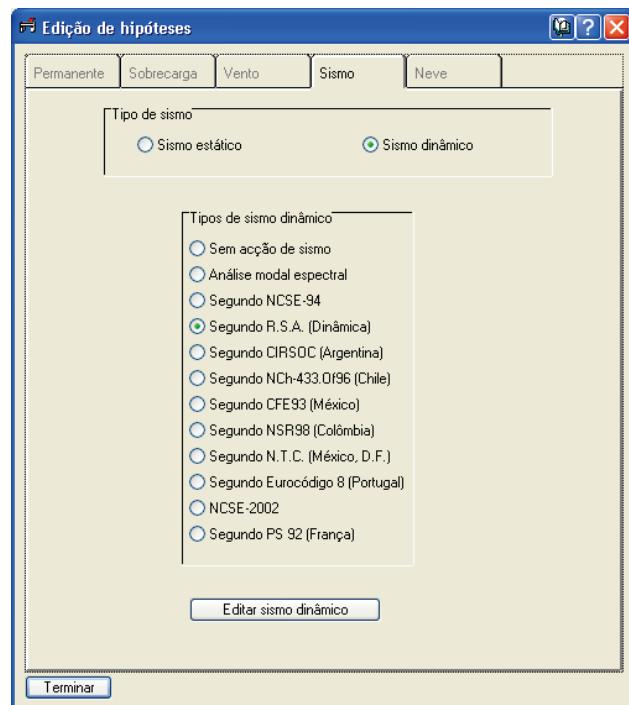


Fig. 3.12c

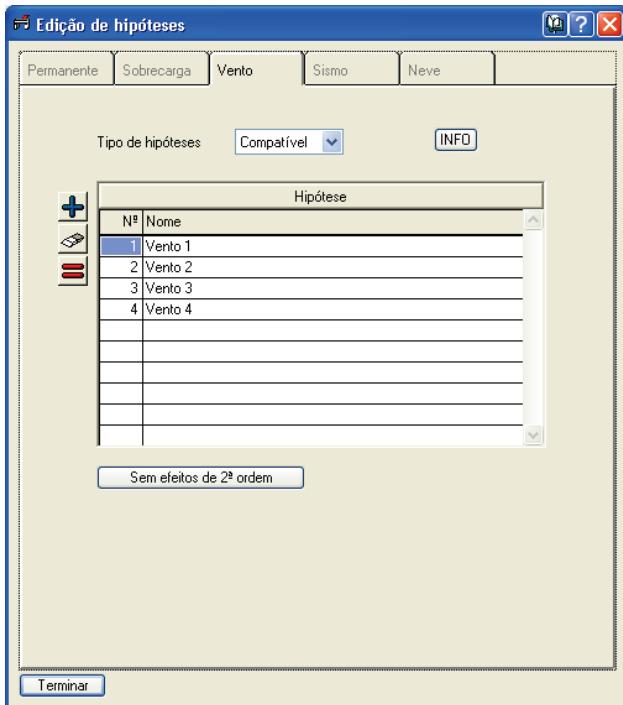


Fig. 3.12b

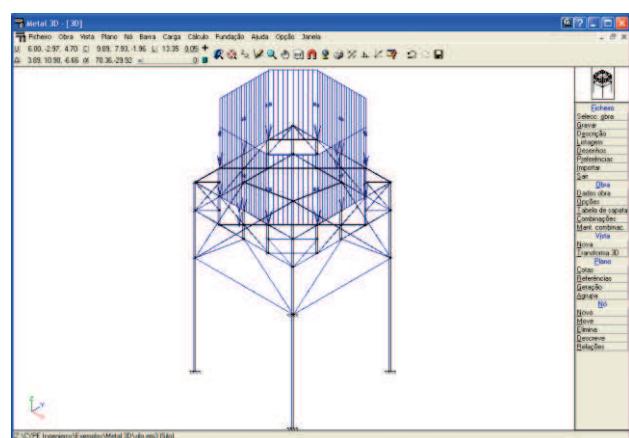


Fig. 3.13

No que diz respeito ao vento, concretamente ao vento nas fachadas da estrutura, consulte o Quadro I-1 do anexo I do R.S.A. e considere as dimensões do edifício, daqui pode retirar os coeficientes de pressão exterior e

fazer o respectivo dimensionamento da estrutura ao vento figura 3.14 a,b,c,d.

Relações geométricas

$$\frac{h}{b} = \frac{10}{6} = 1,67 \Rightarrow \frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$$

$$\frac{a}{b} = \frac{6}{6} = 1 \Rightarrow 1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$

Ações Globais			
$\alpha=0^\circ$		$\alpha=90^\circ$	
A	B	C	D
0,8	- 0,25	0,8	- 0,25

Coeficiente de pressão interior

$\delta_{pi} = -0,3$ (Vento perpendicular às fachadas permeáveis)

Valor Característico da pressão dinâmica

$$W_k = 0,90 \text{ kN/m}^2$$

$$Pv_A = 0,90 \cdot (1,1) = 0,99 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 0,99 \cdot 3,0 = 2,97 \text{ kN/m}$$

$$Pv_B = 0,90 \cdot (0,05) = 0,045 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 0,045 \cdot 3,0 = 0,135 \text{ kN/m}$$

$$Pv_C = 0,90 \cdot (1,1) = 0,99 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 0,99 \cdot 3,0 = 2,97 \text{ kN/m}$$

$$Pv_D = 0,90 \cdot (0,05) = 0,045 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 0,045 \cdot 3,0 = 0,135 \text{ kN/m}$$

Situação mais desfavorável $\rightarrow Pv_{EF} = 2,97 \text{ kN/m}$

Vento 1

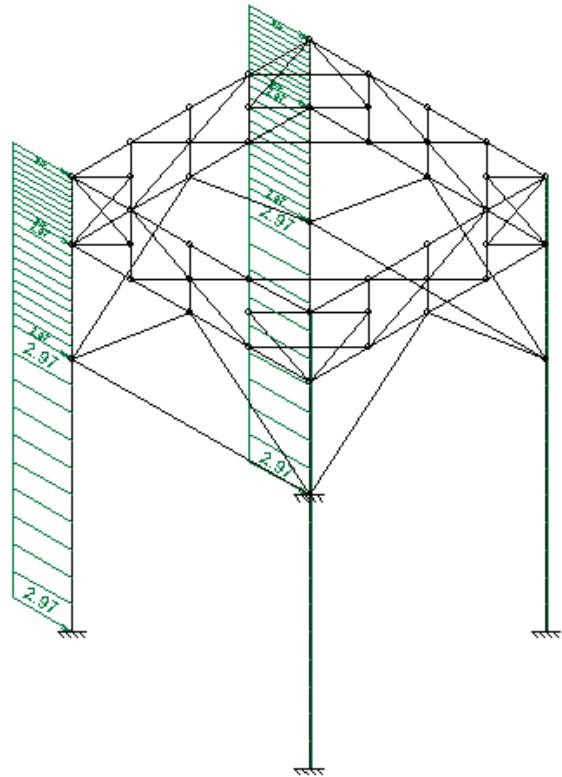


Fig. 3.14a

Vento 2

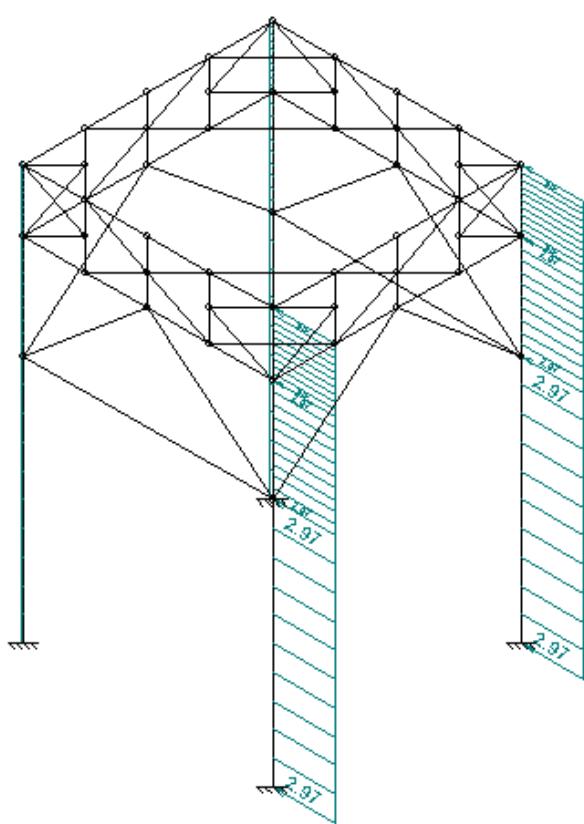


Fig. 3.14b

Vento 3

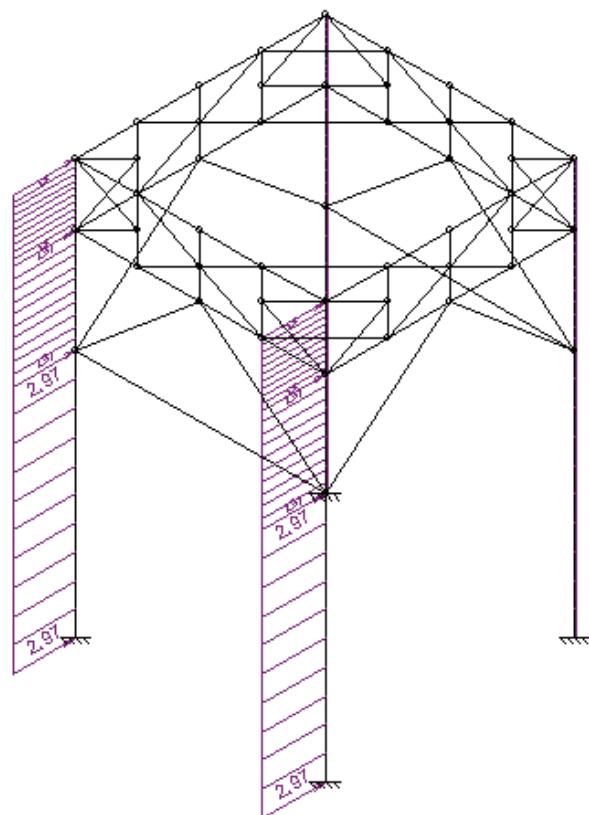


Fig. 3.14c

Vento 4

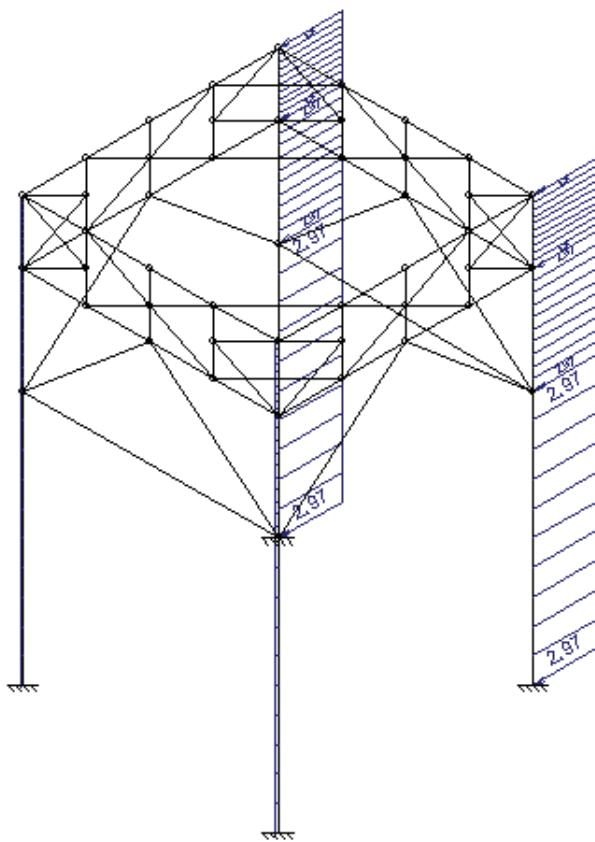


Fig. 3.14d

É necessário verificar os coeficientes de comprimento de encurvadura, uma vez que por defeito o programa coloca o valor 1.

Comece por utilizar a opção **Barra, Cálculo de comprimentos de encurvadura para barras isoladas** (Fig. 3.15). Seleccione os quatro pilares (1 tramo). Por fim, carregue no botão direito do rato e faça Aceitar. Esta opção pode ser utilizada na situação de haver dúvidas na atribuição dos valores dos comprimentos de encurvadura. Seleccione nos dois planos.

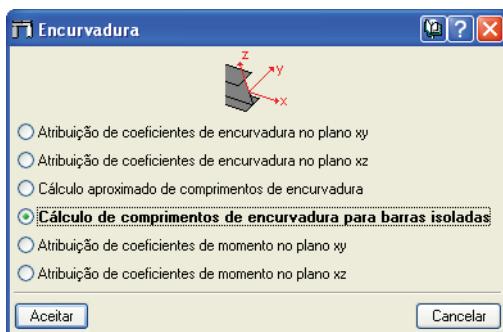


Fig. 3.15

Encontra-se finalmente em condições de iniciar o cálculo. Calcule a estrutura e faça a comprovação das barras.

Após o cálculo podemos fazer **Comprova barra** no menu Cálculo, como podemos observar as barras da estrutura que não verificam.

Para simplificar o trabalho de análise das barras, estas podem ser agrupadas entre si, ou seja, podemos por exemplo agrupar os quatro pilares e analisar apenas um, automaticamente o programa atribui os dados para os outros pilares. Podemos pois agrupar os pilares, os cordões superiores da trama em ambas as direcções, os cordões inferiores, as diagonais, os prumos e os contraventamentos verticais e horizontais.

O resultado final será:

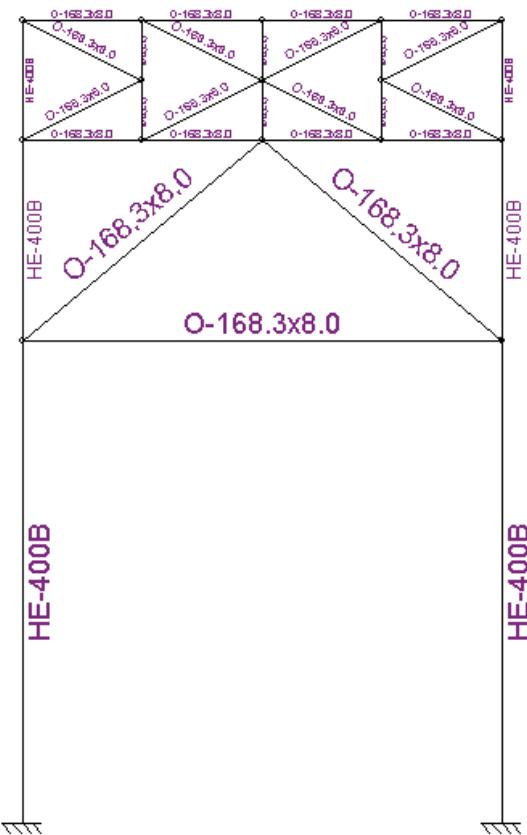


Fig. 3.16

Explore cada uma das opções do menu Cálculo para analisar devidamente os resultados. Desta análise, obterá os esforços ou envolventes nas barras, reacções de apoio etc...

No que diz respeito a peças desenhadas e escritas proceda da forma indicada como no caso da nave Industrial.

Generalidades

5. Ajudas no ecrã

Os programas de **CYPE Ingenieros** dispõem de ferramentas de ajuda no ecrã, através das quais o utilizador pode obter directamente do programa a informação necessária sobre o funcionamento dos menus dos diálogos e das suas opções.

Esta ajuda está disponível em quatro formas diferentes:

5.1. Tecla F1

A maneira de obter ajuda de uma opção é abrir o menu, colocar-se sobre a mesma e, sem chegar a executá-la, premir a tecla F1.

5.2. Ícone com o sinal de interrogação

Na barra de título da janela principal de cada programa existe um ícone com o sinal de interrogação . Pode obter ajuda específica de uma opção do programa da seguinte forma: faça clique sobre esse ícone; abra o menu que contém a opção cuja ajuda quer consultar; prima sobre a opção. E aparecerá uma janela com a informação solicitada. Esta informação é a mesma que se obtém com a tecla F1.

Pode desactivar a ajuda de três maneiras diferentes: prima o botão direito do rato, premindo o ícone com o sinal de interrogação, ou com a tecla **Esc**.

Também pode obter ajuda dos ícones da barra de ferramentas. Para isso prima sobre o ícone com o sinal de interrogação . Nesse momento os ícones que dispõem de informação ficarão com o bordo **azul**. A seguir, prima sobre o ícone do qual quer obter ajuda.

Na barra de título dos diálogos que se abrem ao executar algumas opções do programa existe também um ícone com o sinal de interrogação . Depois de premir sobre este ícone, as opções ou partes do diálogo que dispõem de ajuda ficarão com o bordo **azul**. Prima sobre aquela da qual deseja obter ajuda.

5.3. Ícone em forma de livro

Na barra de título de alguns quadros de diálogo aparece um ícone em forma de livro aberto  que oferece informação geral do quadro de diálogo onde aparece.

Em **Metal 3D**, especificamente, aparece este ícone na barra de título da janela principal. Se o seleccionar, poderá obter informação sobre o modo de funcionamento de **Metal 3D**.

5.4. Guia rápido

Pode-se consultar e imprimir a informação da tecla F1 com a opção **Ajuda > Guia rápido**. Alguns programas como **Cypelec** ou os incluídos em **Instalações do edifício** têm ecrãs diferentes seleccionáveis através de tarefas situadas na parte inferior de cada um dos programas.

As opções dos diálogos não estão reflectidas neste guia.

6. Perguntas e respostas

Na página web (<http://www.topinformatica.pt>), poderá encontrar a resolução das consultas mais frequentes, em constante actualização, recebidas pela **Assistência Técnica**.