

FRAME WORK

EXEMPLO Académico 2D

por João M. Coutinho Rodrigues, Dep. Eng. Civil, FCTUC - Nov/2000

**AMBIENTE INTERACTIVO
DE CÁLCULO PARA
ENGENHARIA CIVIL**

**Cálculo de Esforços e
Deformações em Estruturas,
Dimensionamento e
Desenho de Betão Armado**

Integra ambiente de desenho e folha de cálculo

Windows™ e MacOS™

1. Exemplificação	5
1.1 Criação de um exemplo académico (2D).....	5
1.1.1 Abrir o programa	5
1.1.2 Os dados da estrutura a criar	5
1.1.3 Criar a estrutura	6
- Abrir Estruturas	
- Organizar dados	
- Alterar dimensões	
- Definir materiais	
- Definir materiais	
- Definir acções e combinações	
- Criar pórticos	
- Visualizar a estrutura	
1.1.4 Alterar a forma da estrutura	9
- Abrir pórtico	
- Eliminar Nós/Barras	
- Criar barra	
- Deslocar nós	
- Alterar apoios	
- Guardar	
1.1.5 Introduzir acções distribuídas	11
- Convenções de sinais	
- Abrir barra(s)	
- Introduzir acções	
- Voltar	
1.1.6 Introduzir acções concentradas	12
- Convenções de sinais	
- Abrir nó(s)	
- Introduzir acções	
- Voltar	
- Guardar	
1.1.7 Visualizar Geometria	13
- Escolher Pórticos-Gráficos	
- Usar botões	
1.1.8 Visualizar Acções/Combinações	14
- Seleccionar acção/combinção	
1.1.9 Visualizar esforços e deformações	14
- Convenção de sinais	
- Botão Esf/Deform	
- Seleccionar Combinação	
- Usar botões	
- O cálculo é automático	

- Voltar	
1.1.10 Acções Cinemáticas Discretas	17
- Abrir pórtico	
- Abrir barra(s)	
- Botão Impor Deformações	
- Marcar barra	
- Botão Criar	
- Definir a deformação	
- Definir várias deformações	
- Eliminar deformações	
- Marcar a caixa	
- Voltar	
- Guardar	
- Sair dos pórticos	
- Visualizar resultados	
1.1.11 Ver gráficos a partir da estrutura	21
- Abrir Lista de Estruturas	
- Abrir estrutura	
- Botão Cálculos	
- Escolher Gráfico, Pórtico, Combinação	
- Botão Desenhar Gráfico	
1.1.12 Listagens com Resultados	22
1.2 Dimensionamento e desenho de betão armado.....	24
1.3 O ambiente de desenho.....	26

Figura 1-1.Estrutura a criar - forma.....	5
Figura 1-2.Estrutura a criar - carga.....	5
Figura 1-3.Quadro para definição da estrutura a criar.....	6
Figura 1-4.Dimensões de base.....	7
Figura 1-5.Vãos alterados.....	7
Figura 1-6.Pórticos da estrutura	8
Figura 1-7.Esquema inicial com dimensões	8
Figura 1-8.Esquema com orientações das barras	8
Figura 1-9.Lista dos pórticos.....	9
Figura 1-10.Pórtico para edição	9
Figura 1-11.Esquema com 2 nós seleccionados	10
Figura 1-12.Configuração após eliminação de 2 nós	10
Figura 1-13.Configuração após criação de nova barra.....	10
Figura 1-14.Valor de deslocamento a impor a nós seleccionados.....	10
Figura 1-15.Configuração após deslocamento de nó	10
Figura 1-16.Diálogo p/ edição de nós - zona das restrições c/ encastramento	11
Figura 1-17.Diálogo p/ edição de nós - zona das restrições c/ apoio duplo	11
Figura 1-18.Diálogo p/ edição de nós - zona das restrições c/ apoio simples	11
Figura 1-19.Convenção de sinais p/ cargas distribuídas (acções) em barras	11
Figura 1-20.Diálogo para edição de barras - zona das acções.....	12
Figura 1-21.Convenção de sinais p/ cargas concentradas (acções) em nós	12
Figura 1-22.Diálogo para edição de nós - zona das acções	12
Figura 1-23.Geometria com orientações das barras	13
Figura 1-24.Zona p/ seleccionar a acção a visualizar.....	14
Figura 1-25.Esquema com a acção (carga da estrutura).....	14
Figure 1-26.Sinais dos Esforços	14
Figura 1-27.Ver esforços - zona das combinações, <i>NN</i> , <i>VV</i> , <i>MM</i>	15
Figura 1-28.Ver esforços - botões <i>NN</i> , <i>VV</i> , <i>MM</i> activos	15
Figura 1-29.Diagrama de <i>MM</i>	16
Figura 1-30.Diagrama de <i>VV</i>	16
Figura 1-31.Diagrama de <i>NN</i>	16
Figura 1-32.Esquema com reacções de apoio	16
Figura 1-33.Deformada (deformações ampliadas 400x)	17
Figura 1-34.Pormenor ampliado.....	17
Figura 1-35.Botão Impor Deformações.....	18

Figura 1-36. Quadro p/ imposição de deformações em barras	19
Figura 1-37. Botão Impor Deformações.....	19
Figura 1-38. Considerar Acções Cinemáticas Discretas - Estrutura	20
Figura 1-39. Deformada devida a carga e à deformação imposta	21
Figura 1-40. Diagrama de MM.....	21
Figura 1-41. Botão Cálculos da Estrutura	22
Figura 1-42. Escolher gráfico no menu	22
Figura 1-43. Listagem com esforços em barras.....	22
Figura 1-44. Vista parcial do desenho de vigas e pilares de um pórtico	24
Figura 1-45. Vista parcial de cálculo e desenho de sapata	25
Figura 1-46. Vista parcial de cálculo e desenho de muro de suporte	26

1 Exemplificação

1.1 Criação de um exemplo académico (2D)¹

1.1.1 Abrir o programa

Abrir o programa entrando como **Utilizador** sem ser necessária qualquer *password*.

1.1.2 Os dados da estrutura a criar

Suponhamos que se pretende definir a estrutura representada na Figura 1-1 e Figura 1-2.

Figura 1-1. Estrutura a criar - forma

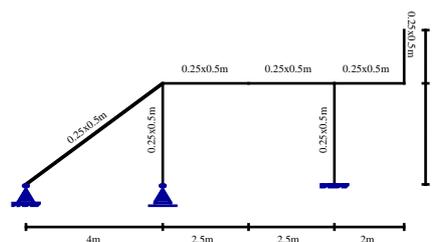
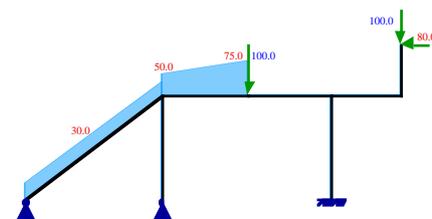


Figura 1-2. Estrutura a criar - carga



O programa na sua versão profissional está vocacionado para o dimensionamento de estruturas correntes em betão armado. Daí o facto de ser necessário especificar os tipos de materiais das barras, embora isso possa não ser relevante para um caso académico de cálculo de esforços e deformações.

Pela mesma razão as “cargas” são organizadas em “acções” e estas são agregadas em “combinações de acções”². Para um exemplo académico pode bastar o uso de um

2. Sobre este assunto ver, por exemplo, o artº 9º do *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes* - Dec.-Lei 235/83.

1. O programa tem um manual de utilização onde são expostas as suas características de forma mais abrangente.

único sistemas de “cargas”, ou seja, uma única acção, e considerar uma combinação composta por essa acção única multiplicada por um factor unitário¹.

1. Neste texto será usada intencionalmente uma linguagem orientada para alunos que podem ainda não ter apreendido todos os conceitos subjacentes à utilização de um programa profissional de cálculo de estruturas.

Quanto às secções das barras (na prática designadas por pilares se próximas da vertical ou vigas se próximas da horizontal) são propostos pelo programa valores por omissão. Pretendendo-se simular barras de igual área e inércia pode indicar-se a mesma secção para vigas e pilares. Note-se que tudo isso pode ser facilmente alterado posteriormente.

1.1.3 Criar a estrutura

Abriu Estruturas. Escolher no menu **DADOS** o comando *Estruturas*.

Organizar dados. No quadro (Figura 1-3) devem ser preenchidos os seguintes campos com os dados a seguir indicados (que podem ser posteriormente alterados):

1. Nome *Exemplo Académico*;
2. Nº de Vãos em Largura 4;

3. Dimensão dos Vãos 2.5;
4. Nº de Andares 1;
5. Dimensão dos Andares 3;
6. Secções de Vigas: 0.25 x 0.50;
7. Secções de Pilares ... 0.25 x 0.50;
8. Tipo de Aço A400;
9. Tipo de Betão B20;

Figura 1-3. Quadro para definição da estrutura a criar

The screenshot shows the 'Estruturas: 1 em 1' software interface. The window title is 'Estruturas: 1 em 1'. It features a menu bar with 'File', 'Edit', 'Text', 'Object', 'Arrange', 'Layout', and 'Database'. The main area is a grid for defining the structure. On the left, there are several panels: 'Geometria Global' with fields for 'Vãos em Largura' (4), 'Andares' (1), and 'Vãos em Profundidade' (0); 'Secções' with 'Vigas' (0.250 x 0.500 m) and 'Pilares' (0.250 x 0.500 m); 'Materiais' with 'Aço' (A400) and 'Betão' (B20); and 'Criar Comboio de Pórticos p/ Análise Sísmica' with 'Frontal' and 'Lateral' buttons and 'Bielas' (1.0, 100.0, 0.010). At the bottom, there are buttons for 'Cancelar', 'Eliminar', 'Plantas Cotadas', 'Cálculos', and 'Guardar'.

Introduzir dimensões Preenchem-se os campos referentes à geometria global com os valores representados na Figura 1-4 (em largura indica-se o vão mais repetido).

Figura 1-4. Dimensões de base

Geometria Global	número	dimensão	
Vãos em Largura:	4	2.500 m	Editar Vãos
Andares:	1	3.000 m	
Vãos em Profundidade:	0	0.000 m	

Alterar dimensões. Premindo o botão **Editar Vãos**, podem ser alterados o número e as medidas individuais de vãos e andares. Após premir esse botão devem ser alteradas as dimensões apenas do 1º e 4º vãos para os valores representados na Figura 1-5.

Figura 1-5. Vãos alterados

Vãos em Largura	
4	
Número	Dimensão
1	4.000
2	2.500
3	2.500
4	2.000

Premir o botão **Voltar** para regressar ao quadro de criação da estrutura.

Definir materiais. Se a intenção fosse o dimensionamento de uma estrutura de betão armado deveriam ser indicadas as secções mais usadas nos pilares e nas vigas. Neste caso, como esses campos não podem ficar vazios, se se pretender que as barras tenham todas igual área e inércia, definir 0.25x0.50m tanto para vigas como para pilares.

Definir materiais. De modo idêntico, para os tipos de materiais a usar já aparecem seleccionados A400 e B20 e podem continuar esses valores. O programa admite a indicação de qualquer dos tipos de materiais definidos regulamentarmente e tem uma base de dados com todas as suas características para usar em dimensionamento. Poderia ser introduzido em qualquer desses campos o carácter @ e premida a tecla **Tab** para o programa apresentar a lista completa das possibilidades de tipos de materiais e aí escolher-se os tipos desejados.

Definir acções e combinações. Os botões **Acções** e **Combinações** permitiriam seleccionar as acções a considerar nesta estrutura e as respectivas combinações. É obrigatório haver pelo menos uma acção (para introduzir cargas na estrutura) e uma combinação (para efectuar o respectivo cálculo). Por omissão está seleccionada uma só acção designada genericamente por “Carga” e uma combinação designada por “Carga única” (por ter na sua constituição apenas a acção “Carga” multiplicada por 1.0, a menos que o utilizador altere isso). Neste caso não alterar nada.

A caixa “Criar Vigas de Fundação” permite criar a estrutura com os respectivos nós da base ligados por barras entre si. Manter essa caixa desmarcada neste caso.

Criar pórticos. Premir o botão **Criar/Reajustar Pórticos** para serem criados todos os pórticos da estrutura (numa estrutura 3D seriam

criadas 2 famílias de pórticos perpendiculares entre si - os frontais e os laterais).

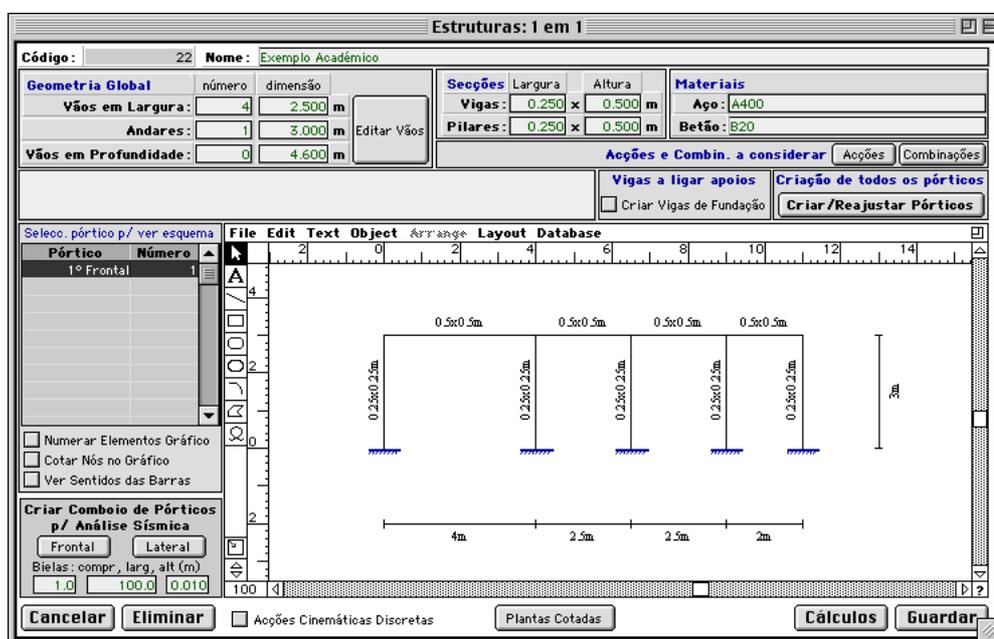
Aparece visível na lista dos pórticos pertencentes à estrutura o 1º (e único) pórtico frontal criado - Figura 1-6.

Figura 1-6. Pórticos da estrutura



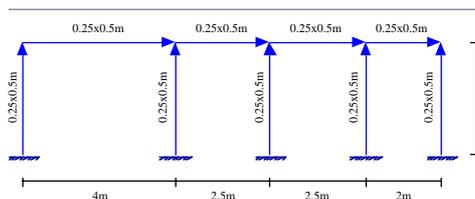
Visualizar a estrutura. Seleccionando nesta lista o pórtico com o rato é desenhado o seu esquema - Figura 1-7.

Figura 1-7. Esquema inicial com dimensões



Para ver os números de nós e barras, coordenadas de nós ou a orientação das barras (esq-dir) basta marcar as respectivas caixas Figura 1-8.

Figura 1-8. Esquema com orientações das barras



Agora torna-se necessário reconfigurar a estrutura para obter a forma pretendida. Isso é feito actuando directamente sobre o pórtico. Premir o botão **Guardar**. É mostrada a lista das estruturas onde já consta a que acabou de ser criada.

Premir aí o botão **Voltar** para regressar ao nível de entrada no programa.

1.1.4 Alterar a forma da estrutura

A edição é efectuada ao nível de cada pórtico da estrutura. Neste caso ela tem apenas um pórtico (frontal) mas esse princípio mantém-se.

Abrir pórtico. No menu DADOS escolher *Pórticos*. Aparece a lista de todos os pórticos criados - Figura 1-9. Abrir aí o pórtico frontal desta estrutura com duplo-clic (“Estrutura Académica: Pórtico Frontal nº 1”). Neste caso, os designados pórticos laterais não interessam (seriam vistas laterais ao nível de cada pilar do pórtico frontal).

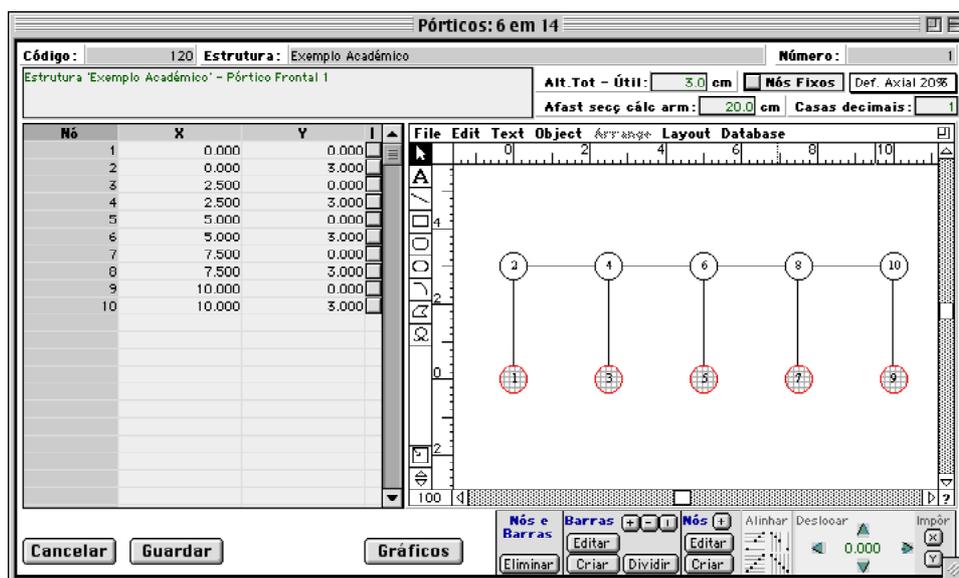
Figura 1-9. Lista dos pórticos

Código	Estrutura
120	Estrutura: Exemplo Académico: Pórtico Frontal nº 1

É desenhado o pórtico numa nova janela (Figura 1-10) onde tudo agora pode ser alterado:

1. posição dos nós, suas condições de apoio e movimentos impostos;
2. criar ou eliminar barras ou nós;
3. criar, alterar ou eliminar barras;
4. introduzir cargas em barras ou nós;
5. introduzir deformações localizadas em barras (acções cinemáticas discretas), etc.

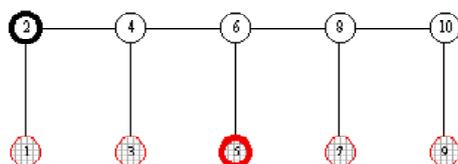
Figura 1-10. Pórtico para edição



Eliminar Nós/Barras. Para eliminar barra ou nós basta seleccioná-los e premir o botão **Eliminar** ao fundo. Ao eliminar um nó serão eliminada todas as barras a ele ligadas.

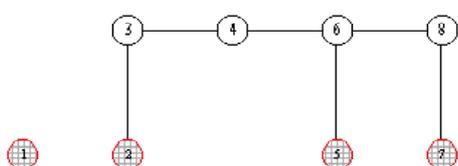
Vamos eliminar os nós 2 e 5 em simultâneo (as barras a eles ligadas também serão eliminadas). Mantendo a tecla **Shift** premida, seleccionem-se esses 2 nós com um único clic do rato sobre cada um deles - Figura 1-11.

Figura 1-11. Esquema com 2 nós seleccionados



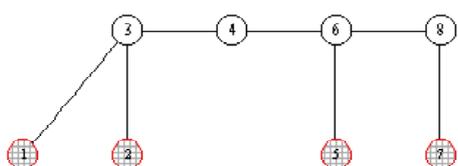
Premir o botão **Eliminar** existente ao fundo na zona **Nós e Barras** e confirmar premindo o botão **Prosseguir** no alerta apresentado. O resultado está na Figura 1-12.

Figura 1-12. Configuração após eliminação de 2 nós



Criar barra. Criar nova barra a ligar os nós 1 e 3: seleccionar esses 2 nós com o rato e premir o botão **Criar** ao fundo na zona **Barras**. O resultado está na Figura 1-13.

Figura 1-13. Configuração após criação de nova barra



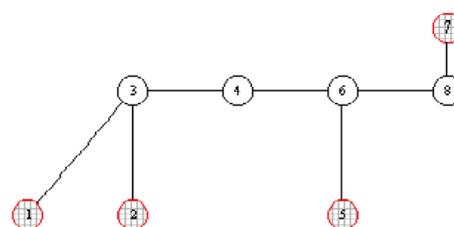
Deslocar nós. Vamos deslocar o nó 7 para nova posição. Primeiro seleccionar o nó com um clic do rato. Introduzir o valor 4.5 entre as 4 setas verdes ao fundo - Figura 1-14.

Figura 1-14. Valor de deslocamento a impor a nós seleccionados



Premir a seta orientada para cima. O nó deslocar-se-á 4.5m para cima.

Figura 1-15. Configuração após deslocamento de nó



Outro modo de alterar a posição de um nó consiste em seleccioná-lo com um clic e alterar as suas coordenadas que passam a estar visíveis ao fundo da lista dos nós à esquerda do esquema. Nessa lista também se podem seleccionar vários nós marcando as respectivas caixas, mas as coordenadas só aparecem visíveis no caso de estar apenas um nó seleccionado.

Alterar apoios. Podem ser criadas ligações ao exterior em qualquer nó de uma estrutura. Neste caso vamos apenas alterar as ligações ao exterior de alguns nós. Os nós 1, 2, 5 e 7 têm uma simbologia diferente dos outros por terem ligações ao exterior (noutros esquemas serão usados os símbolos habituais). Neste caso todos são encastramentos.

Para retirar as ligações ao exterior do nó 7 desseleccionar todos os objectos da estrutura com um clic na área do respectivo esquema mas fora

de qualquer barra ou nó, e dar duplo-clic sobre o nó 7. Abre-se um diálogo onde pode ser editado esse nó (ou todos os nós que estivessem seleccionados no esquema), introduzindo forças concentradas ou alterando as condições de apoio.

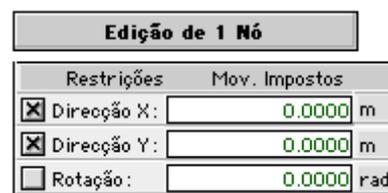
Figura 1-16. Diálogo p/ edição de nós - zona das restrições c/ encastramento



Desmarcar as 3 restrições - o nó deixa de ter encastramento para ser livre.

De forma semelhante, para transformar o nó 1 em apoio duplo desseleccionar todos os objectos da estrutura com um clic na área do respectivo esquema mas fora de qualquer barra ou nó e dar duplo-clic sobre o nó 1. No diálogo de edição desse nó desmarcar as a restrição à Rotação. O apoio deixa de ser encastramento para ser duplo - Figura 1-17.

Figura 1-17. Diálogo p/ edição de nós - zona das restrições c/ apoio duplo



Finalmente, de forma semelhante, se transformaria o nó 2 em apoio simples (restringido na vertical) - Figura 1-18.

Figura 1-18. Diálogo p/ edição de nós - zona das restrições c/ apoio simples



Note-se que a simbologia dos nós alterados passou a ser diferente, permitindo distinguir os encastramentos dos apoios duplos e simples. Podem-se criar apoio e

Premir o botão **Voltar**.

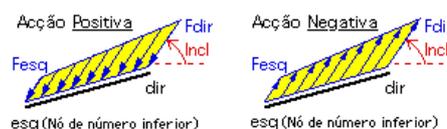
Guardar. Enquanto não se premir o botão **Guardar** as alterações não estão aceites definitivamente e podem-se cancelar.

1.1.5 Introduzir acções distribuídas

Para introduzir acções distribuídas na estrutura editam-se as barras (acções distribuídas constantes, triangulares ou trapezoidais).

Convenções de sinais. As convenções de sinais são explicitadas no quadro de edição de barras - Figura 1-19.

Figura 1-19. Convenção de sinais p/ cargas distribuídas (acções) em barras



Abrir barra(s). Para introduzir a carga trapezoidal a variar de 50 a 75 kN na barra entre os nós 3 e 4 efectuar

duplo-clic sobre ela. Poderiam ser seleccionadas várias barras e efectuar duplo-clic sobre uma delas para introduzir, de uma só vez, acções iguais em todas elas.

Introduzir acções. No diálogo apresentado introduzir os valores 50 à esquerda e 75 na extremo direito - Figura 1-20. Sendo orientada de cima para baixo (relativamente ao sistema de eixos local da barra) é positiva; sendo vertical, a sua inclinação é de 90°, valor preenchido por omissão.

Figura 1-20. Diálogo para edição de barras - zona das acções

Acção	Fesq-kN/m	Fdir-kN/m	Incl - °
Carga	50.0000	75.0000	90.00

Para introduzir a carga uniforme de 30 kN na barra entre os nós 1 e 3 efectuar duplo-clic sobre ela. No diálogo apresentado introduzir os valores 30 à esquerda e premir **Tab** (aparece também 30 na extremo direito). Esta carga, sendo orientada de cima para baixo (relativamente ao sistema de eixos local da barra) é positiva; sendo vertical, a sua inclinação é de 90°, valor preenchido por omissão.

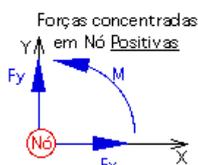
Voltar. Premir o botão **Voltar**.

1.1.6 Introduzir acções concentradas

Para introduzir acções concentradas na estrutura editam-se os nós (F_x , F_y e M).

Convenções de sinais. As convenções de sinais são explicitadas no quadro de edição de nós - Figura 1-21.

Figura 1-21. Convenção de sinais p/ cargas concentradas (acções) em nós



Abrir nó(s). Para introduzir a carga concentrada de 100 kN vertical no nó 4 efectuar duplo-clic sobre ele. Poderiam ser seleccionados vários nós e efectuar duplo-clic sobre um deles para introduzir, de uma só vez, acções iguais em todos eles.

Introduzir acções. No diálogo apresentado (Figura 1-22) introduzir o valor -100 na coluna F_y (negativo por ser orientado para baixo no sistema de eixos global). Premir o botão **Voltar**.

Figura 1-22. Diálogo para edição de nós - zona das acções

Acção	Fx - kN	Fy - kN	M - kN.m
Carga	0.0000	-100.0000	0.00

Para introduzir a carga concentrada horizontal de 80 kN no nó 4 efectuar duplo-clic sobre ele. No diálogo apresentado introduzir o valor -80 na coluna F_x (negativo por ser orientado para a direita no sistema de eixos global) e -80 na coluna F_y - 100 (negativo por ser orientado para a esquerda no sistema de eixos global).

Voltar. Premir o botão **Voltar**.

Se existissem acções referentes a sismos ou ventos elas poderiam ser calculadas automaticamente pelo programa (vers profissional).

Guardar. Premir o botão **Guardar** - só agora é que ficam guardadas as acções introduzidas e volta-se à lista dos pórticos.

1.1.7 Visualizar Geometria

Poderão agora ser visualizados sob a forma gráfica, em diversas páginas e num ambiente que permite alterar as figuras, desenhar e escrever sobre elas:

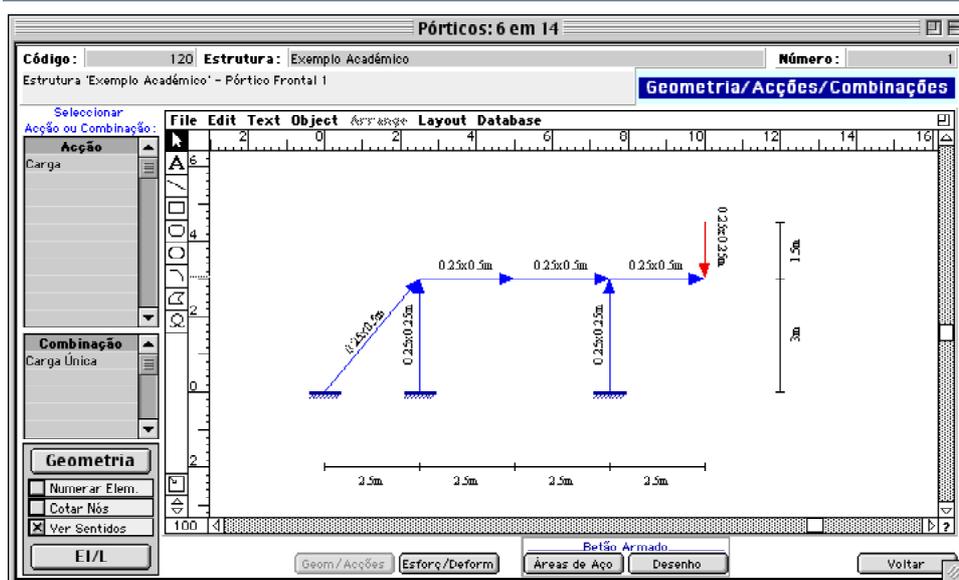
1. geometria
2. acções
3. combinações de acções
4. esforços e reacções de apoio
5. deformadas
6. cálculos de aço para betão armado (vers profissional)
7. desenhos de pormenor de betão armado (vers profissional).

Escolher Pórticos-Gráficos. Neste momento deve estar visível a lista dos pórticos. Marcar na lista dos pórticos o pórtico em questão com um clic e escolher *Pórticos-Gráficos* no menu CÁLCULOS.

Entra-se na página de visualização da geometria, acções e combinações de acções.

Usar botões. Marcar a caixa **Ver sentidos** e premir o botão **Geometria**. O resultado está na Figura 1-23. Note-se que há uma barra invertida (no esquerdo situado do lado direito) que, por isso, aparece com cor diferente.

Figura 1-23. Geometria com orientações das barras



Premindo o botão **EI/L** podem ver-se estes factores para cada barra. Seleccionando a acção “Carga” na lista das acções pode ver-se uma

representação desta. O mesmo para a combinação (neste caso igual à carga).

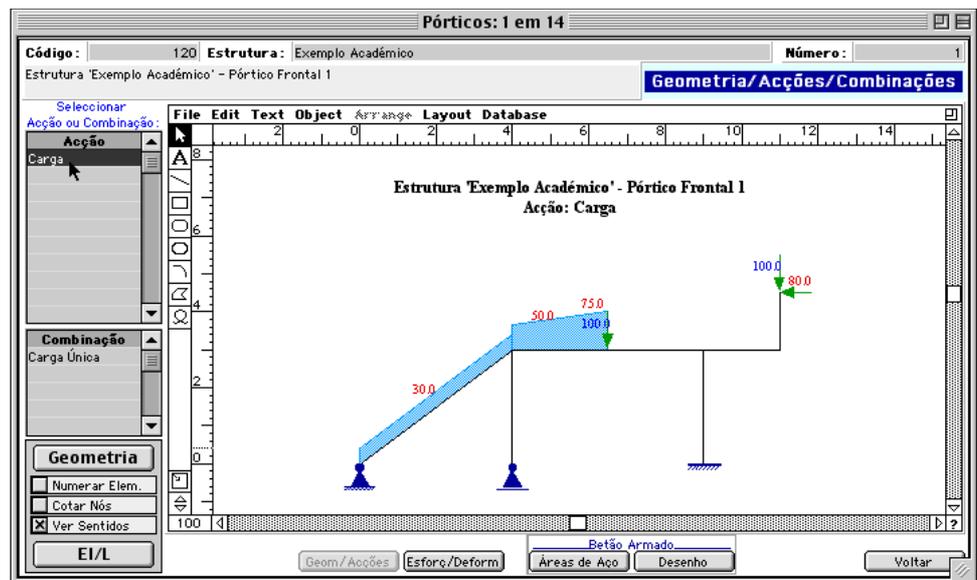
1.1.8 Visualizar Acções/Combinações

Seleccionar acção/combinação. Basta nesta página seleccionar a acção (ou a combinação de acções) pretendida (Figura 1-24) para ser desenhado o respectivo esquema - Figura 1-25.

Figura 1-24. Zona p/ seleccionar a acção a visualizar



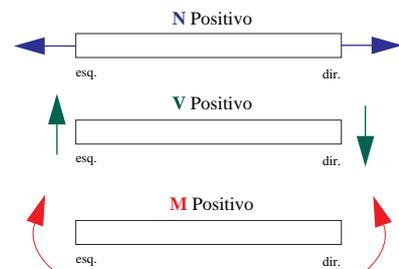
Figura 1-25. Esquema com a acção (carga da estrutura)



1.1.9 Visualizar esforços e deformações

Convenção de sinais. É a habitualmente usada para os esforços - Figura 1-26

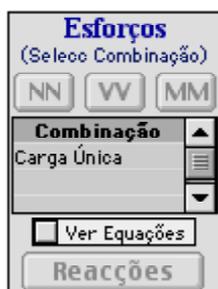
Figure 1-26. Sinais dos Esforços



Botão Esf/Deform. Premir o botão **Esf/Deform**. Entra-se na página de visualização de deformações, esforços (*NN*, *VV*, *MM*) que podem ser representados para qualquer combinação de acções isoladamente ou mesmo para o conjunto das eventuais várias combinações existentes no problema (por exemplo envolventes de esforços, ou conjunto de deformadas).

Seleccionar Combinação. Para visualizar um diagrama de esforços para uma combinação há que seleccionar essa combinação, com o rato, na respectiva lista - Figura 1-27.

Figura 1-27. Ver esforços - zona das combinações, *NN*, *VV*, *MM*



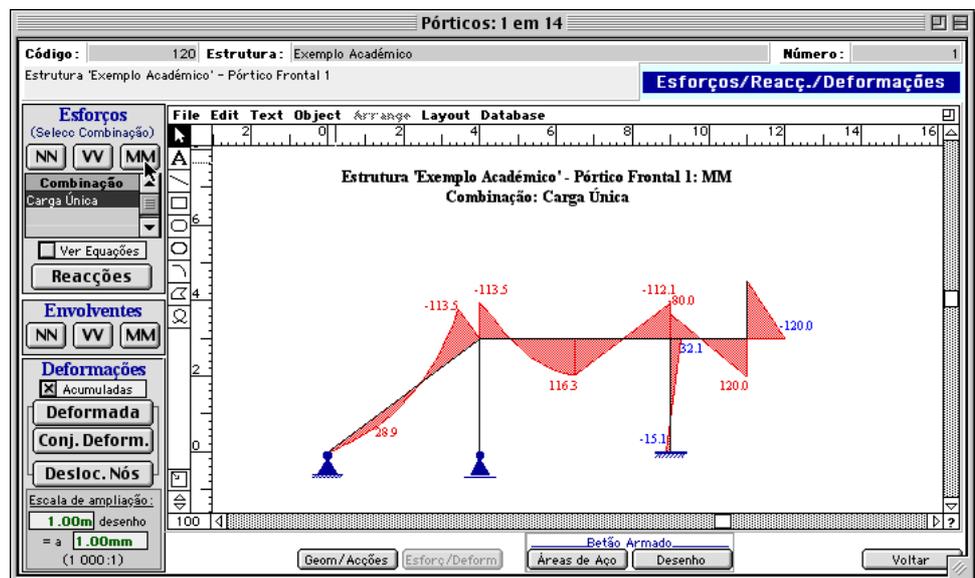
Usar botões. Após estar seleccionada uma combinação (poderia haver várias na estrutura) ficam activos os botões que permitem obter os diagramas de esforços, reacções de apoio e deformada para essa combinação - Figura 1-28.

Figura 1-28. Ver esforços - botões *NN*, *VV*, *MM* activos



Basta carregar num desses botões para se ver o resultado na janela. Pressionando o botão **MM** é apresentado o diagrama dos momentos flectores - Figura 1-29.

Figura 1-29. Diagrama de MM



De modo semelhante, os botões VV e NN permitem obter diagramas respectivos- Figura 1-30 e Figura 1-31.

Figura 1-30. Diagrama de VV

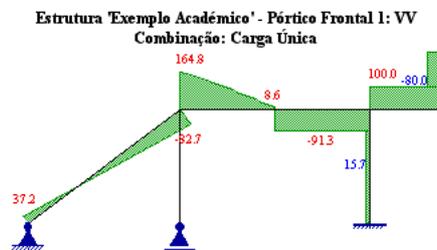
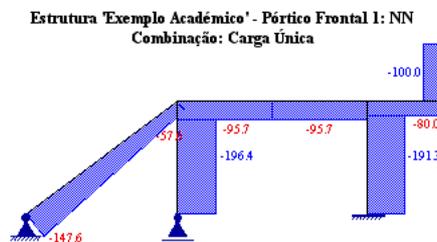


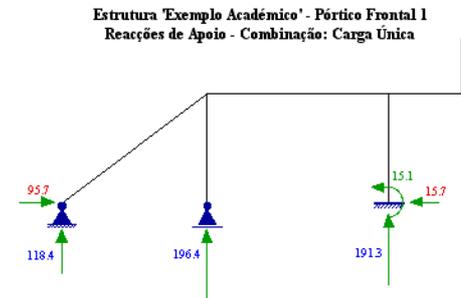
Figura 1-31. Diagrama de NN



Claro, o botão Reacções permite obter o resultado representado na

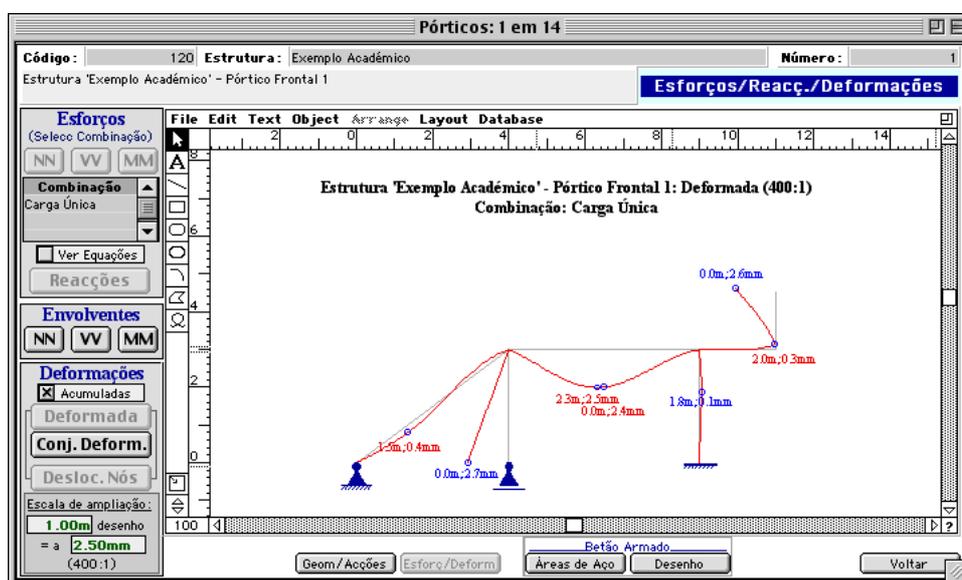
Figura 1-32. Os vectores têm tamanhos proporcionais aos respectivos valores.

Figura 1-32. Esquema com reacções de apoio



Para obter a deformada da estrutura, seleccionar a combinação e premir o botão **Deformada**- Figura 1-33. Note-se que o factor de ampliação da deformada pode ser definido neste quadro (valores a verde ao fundo, lado esquerdo). Junto de cada barra aparece assinalada com um círculo a secção que sofreu a máxima deformação e o valor desta.

Figura 1-33. Deformada (deformações ampliadas 400x)



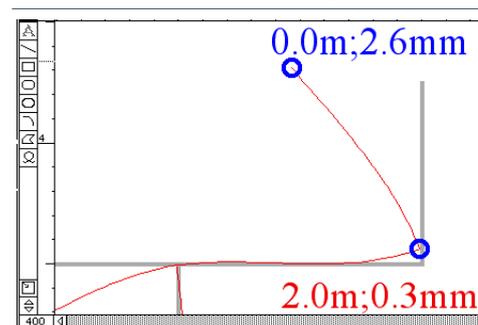
Qualquer figura pode ser ampliada ou reduzida usando os botões  existentes junto ao canto inferior esquerdo do desenho. A % da ampliação/redução aparece por baixo - com um clic sobre essa % ela passa sempre a 100%. Um pormenor da ampliação é mostrado na Figura 1-34.

O cálculo é automático. Note-se que o procedimento de cálculo de esforços de um dado pórtico é desencadeado automaticamente pelo programa sempre que se pede a visualização de resultados relativos a esse pórtico e se verifica que os esforços não estão calculados. Contudo, o utilizador pode forçar o cálculo de todos os pórticos da estrutura (no

caso da vers profissional pode haver vários pórticos na mesma estrutura) usando o botão **Calcular Estrutura** existente na página a que se acede com o botão **Cálculos** do quadro da Estrutura (Figura 1-41, pág 22).

Voltar. Premindo o botão Voltar regressa-se à lista dos pórticos.

Figura 1-34. Pormenor ampliado



1.1.10 Acções Cinemáticas Discretas

O programa admite a introdução de 3 tipos de deformações localizadas em secções das barras:

1. tipo u_1 , angular;

2. tipo u_2 , corte;

3. tipo u_3 , axial.

Podem ser impostas várias deformações em qualquer barra.

É também através da edição das barras (nos pórticos) que se podem introduzir essas deformações.

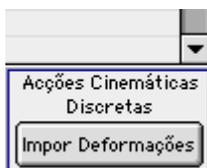
Abrir pórtico. Estando a visualizar a lista dos pórticos no ecrã (se não, no nível de entrada escolher *Pórticos* no menu DADOS), abrir o pórtico em questão (“Estrutura Académica: Pórtico Frontal nº 1”) com duplo-clic do rato.

Abrir barra(s). Suponhamos que se pretende impor uma deformação do tipo corte a meio da barra entre os nós 4 e 6. Efectuar um duplo clic sobre a barra a editar - é mostrado o quadro de edição das acções e dimensões onde existe o botão **Impor Deformações** - Figura 1-35.

Poderiam ser seleccionadas várias barras e efectuar duplo-clic sobre uma delas para introduzir, de uma só vez, deformações em todas elas.

Botão Impor Deformações. Premir o botão **Impor Deformações**.

Figura 1-35. Botão Impor Deformações.



É mostrado um novo quadro onde podem ser introduzidas as deformações localizadas na barra - Figura 1-36. Na lista do lado esquerdo constam as barras em edição (pode ser mais do que uma se forem seleccionadas várias antes de entrar na sua edição).

Marcar barra. Primeiro é necessário marcar aí a barra com um clic do rato, após o que fica activo o botão **Criar** situado à direita da outra lista.

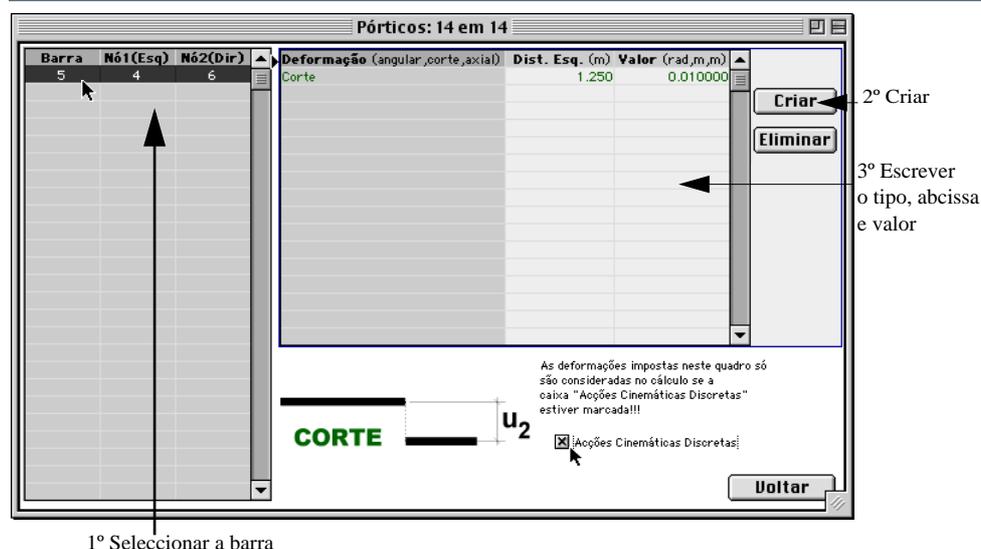
Botão Criar. Premindo esse botão é criada por omissão uma deformação do tipo u_1 , aparecendo a palavra “Angular”, a uma distância correspondente a metade do comprimento da barra e de valor nulo. Pode-se agora alterar essa deformação.

Definir a deformação. Os 3 campos (a verde) que definem a deformação, dispostos em 3 colunas, podem ser alterados. Assim:

1. na primeira coluna pode escrever-se apenas qualquer uma das palavras “Angular”, “Corte” ou Axial” (ou apenas as primeiras duas letras e pressionar **Tab**) e em baixo aparece automaticamente um desenho esquemático da deformação que está a ser imposta - escrever “Corte”;
2. na coluna do meio pode alterar-se a distância ao extremo esquerdo, medida em m (positiva e não superior ao comprimento da barra) - manter 1.25;
3. Na terceira coluna deve ser introduzido o valor da deformação (em *radianos* se angular, em m se corte ou axial) - escrever 0.01 para definir 1cm.

Acaba de ser imposta uma deformação de corte a 1.25m do extremo esquerdo da barra e com o valor de 0.01m.

Figura 1-36. Quadro p/ imposição de deformações em barras

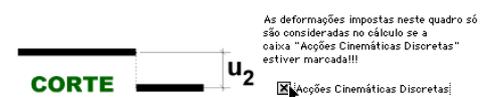


Definir várias deformações. Numa barra podem ser introduzidas tantas deformações quantas as que se pretendam. Basta para tal pressionar sucessivamente o botão **Criar**.

Eliminar deformações. O botão **Eliminar** permite eliminar uma deformação já introduzida, depois de a seleccionar com o rato.

Marcar a caixa. Para que as deformações sejam efectivamente consideradas nos cálculos é necessário agora que o utilizador dê uma indicação nesse sentido. Com efeito, as deformações localizadas só serão consideradas no cálculo de esforços e deformações se for marcada a caixa **Acções Cinemáticas Discretas** que existe na página de introdução das deformações (Figura 1-37).

Figura 1-37. Botão Importar Deformações.



Assim, após se terem introduzido deformações em barras de uma estrutura elas podem ser ou não consideradas nos cálculos conforme a caixa esteja ou não marcada, podendo-se assim obter resultados para comparação de esforços e deformações só para cargas ou para cargas e deformações.

Na versão profissional a caixa afecta sempre todos os pórticos da mesma estrutura.

Note-se que o botão **Acções Cinemáticas Discretas** existe também no quadro de definição da estrutura (Figura 1-38).

Para ter acesso a esse botão em qualquer altura, pode-se então escolher *Estruturas* no menu **DADOS**, abrir a estrutura "Exemplo Académico" com duplo-clíc, e

marcar a caixa **Acções Cinemáticas Discretas** - Figura 1-38 - e premir o botão **Guardar**.

Figura 1-38. Considerar Acções Cinemáticas Discretas - Estrutura



Este é apenas outro procedimento alternativo - a partir daí as deformações impostas serão também efectivamente consideradas nos cálculos.

Voltar. Para terminar pressionar o botão **Voltar** - regressa-se à página de edição do pórtico.

Guardar. Aí premir o botão **Guardar** - só nessa altura passam a ficar guardadas as alterações. O botão **Cancelar** deixaria tudo como antes.

Sair dos pórticos. Fica-se na lista dos pórticos. Pressionar o botão **Voltar** para regressar ao nível de entrada.

Visualizar resultados. Marcar na lista dos pórticos o pórtico em questão com um clic e escolher *Pórticos-Gráficos* no menu CÁLCULOS. Entra-se na página de visualização da geometria, acções e combinações de acções.

Premir o botão **Esf/Deform**. Entra-se na página de visualização de

deformações e esforços (*NN*, *VV*, *MM*).

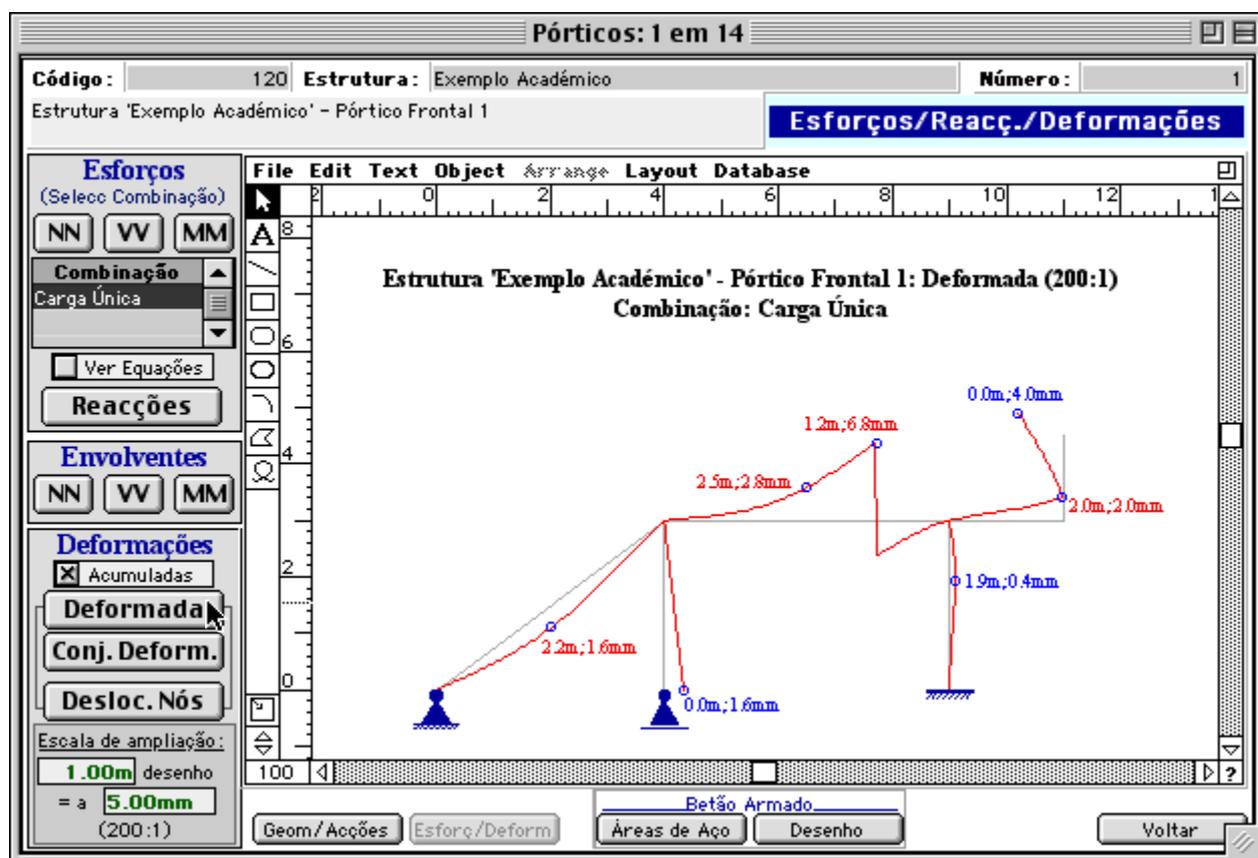
Para visualizar um diagrama de esforços para uma combinação há que seleccionar essa combinação, com o rato, na respectiva lista - ver Figura 1-27 e Figura 1-28, pág 15. Após estar seleccionada uma combinação (poderia haver várias na estrutura) ficam activos os botões que permitem obter os diagramas de esforços, reacções de apoio e deformada para essa combinação (e, neste caso, levando em conta as deformações impostas em barras).

Basta carregar num desses botões para se ver o resultado na janela.

Para obter a deformada da estrutura, seleccionar a combinação e premir o botão **Deformada**- Figura 1-39. Note-se de novo que o factor de ampliação da deformada pode ser definido neste quadro (valores a verde ao fundo, esquerda). Junto de cada barra aparece assinalada com um círculo a secção que sofreu a máxima deformação e o valor desta.

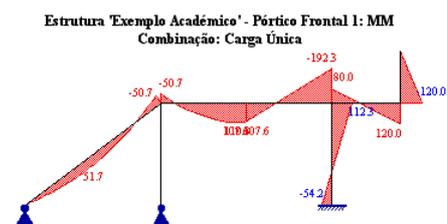
Na secção do corte este aparece bem evidente- repare-se que dado que neste caso a deformada está ampliada 200x, sendo o corte de 1cm (0.01m) ele aparece no gráfico ampliado 200x, isto é com uma grandeza de $0.001 \times 200 = 2\text{m}$ na escala dos comprimentos.

Figura 1-39. Deformada devida a carga e à deformação imposta



Pressionando o botão **MM** é apresentado o diagrama dos momentos flectores, etc. - Figura 1-40.

Figura 1-40. Diagrama de MM



1.1.11 Ver gráficos a partir da estrutura

Todos os gráficos com acções, combinações, esforços, reacções, deformadas, etc podem ser também conseguidos directamente a partir da Estrutura (em vez de ser a partir do Pórtico).

Abrir Lista de Estruturas. Escolher no menu DADOS o comando *Estruturas*.

Abrir estrutura. Abrir a estrutura pretendida com duplo-clic. Aparece o quadro de criação da estrutura.

Botão Cálculos. Premir o botão **Cálculos** - Figura 1-41.

Figura 1-41. Botão Cálculos da Estrutura

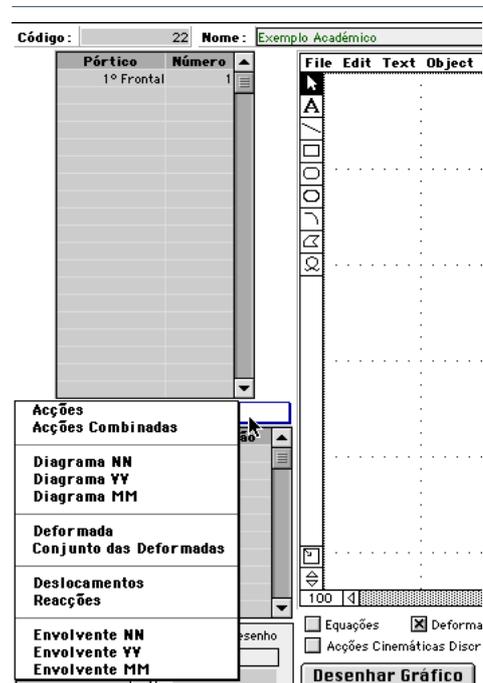


Escolher Gráfico, Pórtico, Combinação.

Entra-se numa outra página da estrutura onde se pode escolher num menu o tipo de gráfico a desenhar, selecciona-se com o rato o pórtico (pode haver vários num caso 3D), escolhe-se a acção ou combinação.

Botão Desenhar Gráfico. Prime-se o botão **Desenhar Gráfico** e aparece o respectivo esquema.

Figura 1-42. Escolher gráfico no menu



1.1.12 Listagens com Resultados

Os resultados dos cálculos podem ser também vistos em tabelas apresentadas em folha de cálculo programável incorporada no programa.

Marcar na lista dos pórticos o pórtico em questão com um clic e escolher *Pórticos-Listas* no menu CÁLCULOS. Entra-se na página de visualização das acções, esforços e cálculos de betão armado (versão profissional).

Após estar seleccionada uma combinação (poderia haver várias na estrutura) ficam activos os botões

que permitem obter as listagens com cargas, esforços, etc.:

1. Botão **Forças Nós** permite ver listagem com as acções concentradas em nós;
2. Botão **Forças Barras** permite ver listagem com as acções distribuídas em barras;
3. Botão **Desloc. Nós** permite ver listagem com os deslocamentos sofridos pelos nós;
4. Botão **Esf Barras** permite ver listagem com os esforços nas barras - Figura 1-43.

Todas as listagens podem ser impressa ou exportadas para folha de cálculo (Menu FILE, comando *Save As...* e usar formato SYLK).

Figura 1-43. Listagem com esforços em barras

Frame - Criação de um exemplo académico (2D)

Pórticos: 1 em 14

Código: 120 Estrutura: Exemplo Académico Número: 1
Estrutura 'Exemplo Académico' - Pórtico Frontal 1

File Edit Cells General Database

Seleccionar Combinação: Carga Única

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Esforços nas Extremidades das Barras para a Combinação 'Carga Única': Estrutura 'Exemplo Académico' - Pórtico Frontal 1												
2													
3	Barras	Nó Esq	NN (kN)	VV (kN)	MM (kN.m)	Nó Dir	NN (kN)	VV (kN)	MM (kN.m)	Mmín (kN.m)	Mmín (kN.m)	Mmáx (kN.m)	Mmáx (kN.m)
4	1	2	-196.41	0.00	0.00	3	-196.41	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00
5	2	5	-191.39	15.76	-15.13	6	-191.39	15.76	32.16	0.00	-15.13	3.00	32.16
6	3	7	-100.00	-80.00	0.00	8	-100.00	-80.00	-120.00	1.50	-120.00	0.00	0.00
7	4	3	-95.76	164.85	-113.53	4	-95.76	8.60	116.31	0.00	-113.53	2.50	116.31
8	5	4	-95.76	-91.39	116.31	6	-95.76	-91.39	-112.16	2.50	-112.16	0.00	116.31
9	6	6	-80.00	100.00	-80.00	8	-80.00	100.00	120.00	0.00	-80.00	2.00	120.00
10	7	1	-147.67	37.29	0.00	3	-57.67	-82.70	-113.53	5.00	-113.53	1.55	28.97
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													

N18

Resultados por Combinação Betão Voltar

1.2 Dimensionamento e desenho de betão armado

O programa (vers. profissional), permite calcular peças de betão armado e desenhar os respectivos pormenores de uma forma interactiva.

Figura 1-44. Vista parcial do desenho de vigas e pilares de um pórtico

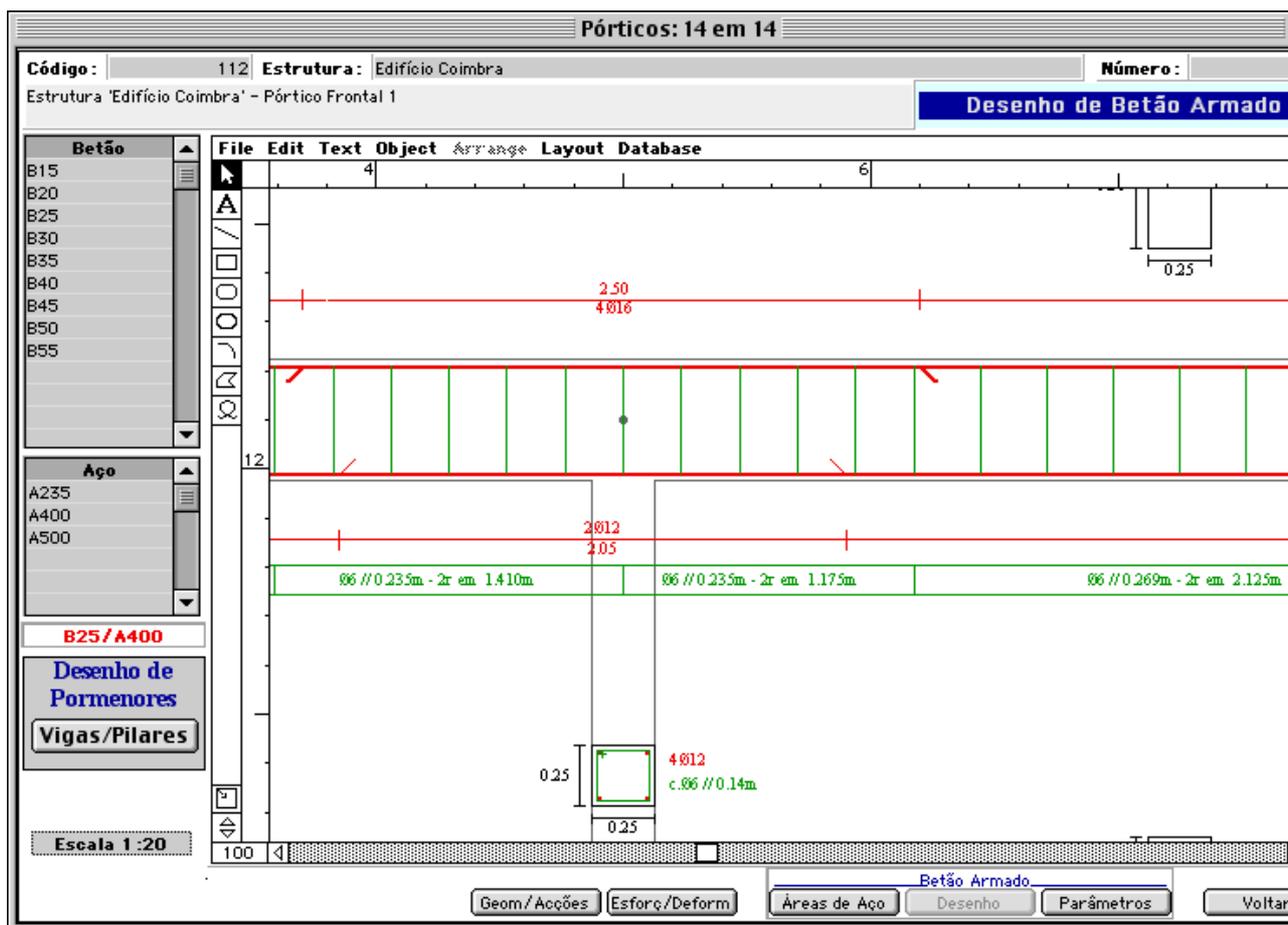


Figura 1-45. Vista parcial de cálculo e desenho de sapata

Pórticos: 1 em 14

Estrutura: Edifício Coimbra

N + ppSapata 717.342 kN

N= 668.134 kN M Perpendicular

M= 0.000 kNm 50.000 kNm

c= 0.250 m

h-d=5 cm

Altura Mín Sapata

h= 0.450 m 0.400 m

Betão

B15

B20

B25

B30

Aço

A235

A400

A500

B25/A400

0.250 m

B= 1.800 m

A₁= 5.546

A₂= 6.014

1.800 m

Alt.Tot - Útil:

5.0 cm

Tensões no Solo:

Mínima	Máxima	Zona Activa
0.240 MPa	0.240 MPa	2.988 m2

Resistências

Betão (tau1)	Aço (fsyd)	Solo
0.650 MPa	348.000 MPa	0.250 MPa

OK

Sair Tensões Constantes

File Edit Text Object Arrange Layout Database

0.45

1.80

1.80

100

Apoios

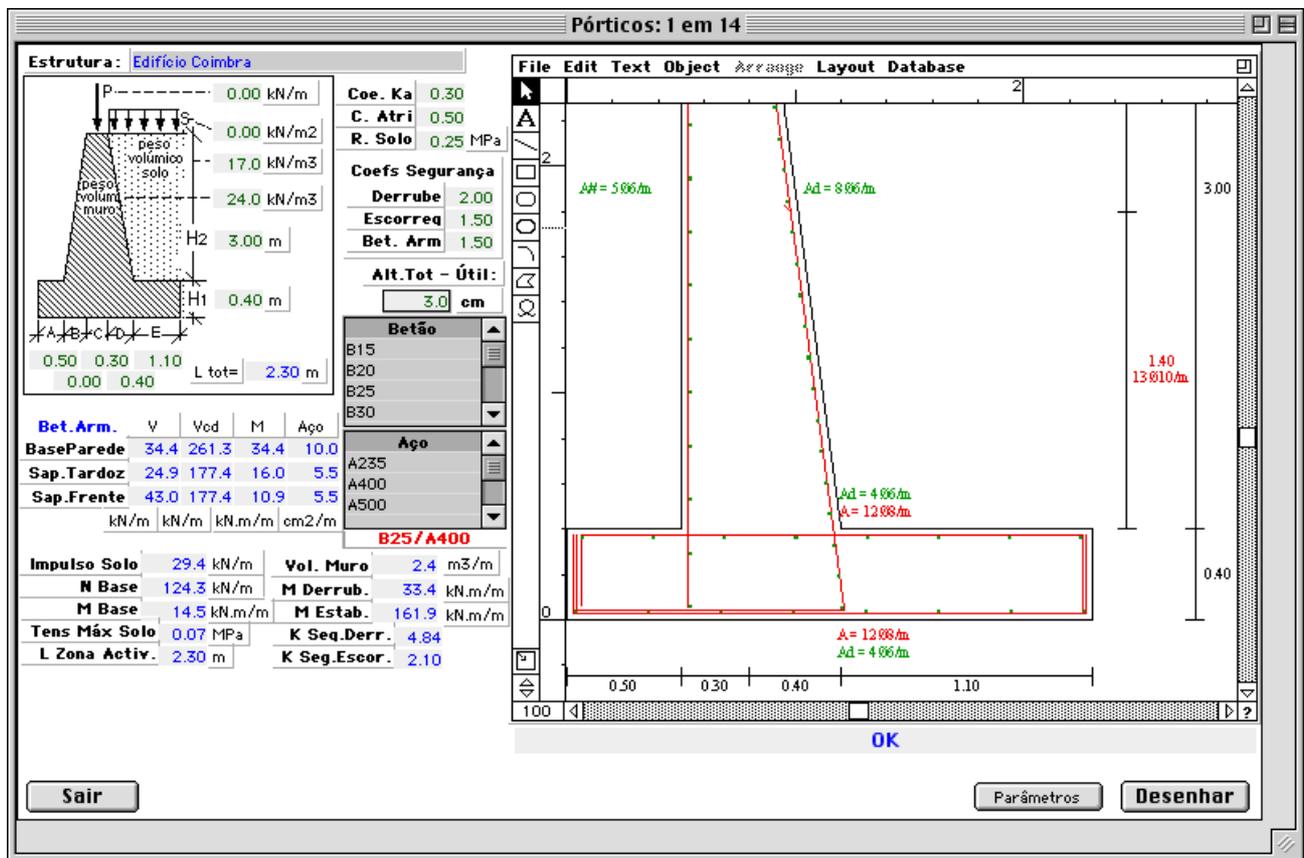
1	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>
3	<input checked="" type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>

Combinação

- Perm+Sobr
- Sismo Dir Pórticos Frontais
- Sismo Dir Pórticos Laterais
- Sismo Esq Pórticos Frontais
- Sismo Esq Pórticos Laterais

Parâmetros Desenhar

Figura 1-46. Vista parcial de cálculo e desenho de muro de suporte



1.3 O ambiente de desenho

O programa é dotado de um ambiente de desenho onde todos os gráficos produzidos são visualizados e podem ser facilmente editados: alterar os objectos, eliminar, criar novos objectos, escrever texto, alterar cores e padrões, re-escalonar

os objectos, etc. Todos os desenhos podem ser transferidos para outros programas (como editores de texto) por uma simples operação de *Copiar* e (*Copy*) *Colar* (*Paste*). Tudo isso é explicado no manual do programa.

Quadro 1-47. Características de *FrameWork* - O programa de cálculo mais poderoso, rápido e fácil de usar !

CARACTERÍSTICAS GERAIS	DEMO	PROFISSIONAL
Definição e gestão da informação das estruturas	2D	3D
Tamanho máximo da estrutura		
- nr nós:	10	ilimitado
- nr barras	1 por cada par dos 10 nós	ilimitado
- nr acções	ilimitado	ilimitado
- nr combinações	ilimitado	ilimitado
- nr nós restringidos	10	ilimitado
- nr deformações impostas em secções de barras.	ilimitado	ilimitado
Propriedades de materiais (aços, betões), disposições regulamentares (parâmetros para cálculo de sismos e ventos, disposições sobre armaduras, cancelhos do continente e ilhas e respectivos parâmetros p/ sismos, etc.) e outros elementos (como espectros de resposta p/ sismos) incluídos.	Não	Sim
Definição livre das acções e combinações e seu armazenamento em base de dados interna para posterior reutilização.	Sim	Sim
Possibilidade de redefinição da geometria da estrutura: criação de novas barras ou nós, eliminação de barras ou nós, deslocamento de nós para novas coordenadas, partição de barras, alteração de secções de barras, etc. Criação de formas não regulares. Tudo actuando sobre esquemas gráficos no ecrã.	Sim, excepto criação de novos nós e partição de barras.	Sim
Geração automática de comboios de pórticos p/ análise sísmica da estrutura.	Não	Sim
Livre definição de condições de apoio em qualquer nó da estrutura e sua visualização nos esquemas gráficos.	Sim	Sim
Introdução de acções concentradas em nós e distribuídas em barras (constantes, triangulares ou trapezoidais), com a possibilidade de efectuar a afectação simultânea a um conjunto de nós ou barras.	Sim	Sim
Geração automática de acções sísmicas e de ventos.	Não	Sim
Visualização gráfica da geometria da estrutura, devidamente cotada e com as dimensões das secções, e de diagramas EI/L.	Sim	Sim
Visualização gráfica das acções.	Sim	Sim
Visualização gráfica das combinações de acções.	Sim	Sim
Visualização gráfica de reacções de apoio.	Sim	Sim
Visualização gráfica de diagramas de esforços, equações e valores extremos.	Sim	Sim
Visualização gráfica de diagramas com envolventes de esforços.	Sim	Sim
Visualização gráfica de deformadas.	Sim	Sim
Visualização gráfica de diagramas c/ a variação de áreas teóricas de aço ao longo das peças de betão armado. Cálculo da densidade do aço.	Não (apenas simulação)	Sim
Visualização gráfica dos desenhos de pormenor de betão armado.	Não (apenas simulação)	Sim
Cálculo interactivo de sapatas e visualização gráfica dos respectivos desenhos de pormenor de betão armado.	Não (apenas simulação)	Sim
Cálculo interactivo de muros de suporte e visualização gráfica dos respectivos desenhos de pormenor de betão armado.	Não (apenas simulação)	Sim
Visualização de acções e combinações em folha de cálculo integrada.	Sim	Sim
Visualização de esforços e deslocamentos em folha de cálculo integrada.	Sim	Sim
Visualização de valores de envolventes e cálculos de betão armado em folha de cálculo integrada.	Não (apenas simulação)	Sim
Cálculo de lajes aligeiradas e visualização em folha de cálculo integrada.	Só para vãos até 2.99m	Sim
Cálculo de lajes de escadas.	Não (apenas simulação)	Sim
Utilização em aplicações profissionais	INTERDITO	Sim