

ALVARO F. M. AZEVEDO; JOAQUIM A. O. BARROS

Transparências apresentadas por Álvaro Azevedo nos cursos

"Aplicação do Método dos Elementos Finitos à Análise Estrutural"

Abril de 1993

"Aplicação do Método dos Elementos Finitos ao Projecto de Estruturas"

Maio de 1994

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Portugal

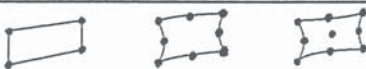
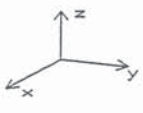
FEMIX 2.1

A - 1

Autores: Álvaro Azevedo e Joaquim Barros

Programa de análise linear de estruturas pelo método dos elementos finitos.

Tipo de estrutura	1 - Estado plano de tensão
	2 - Estado plano de deformação
	3 - Estado axissimétrico
	4 - Sólido tridimensional
	5 - Laje (Mindlin)
	6 - Casca (Ahmad)
	7 - Pórtico tridimensional
	8 - Treliça tridimensional

Tipo de estrutura	Tipo de elemento	Referencial
1,2,3,5		
4		
6		
7,8		

Acções em cada caso de carga		
Nós	Forças concentradas	
	Deslocamentos prescritos	
Elementos	Gravíticas	
	Distribuídas	Bordos
		Faces
	Térmicas (1,2,3,4,6)	
	Concentradas (7,8)	

Resolução do sistema de equações	- método directo (eliminação de Gauss)
	- método iterativo (gradientes conjugados)

O código computacional é constituído pelos seguintes programas:

- prefemix - leitura dos dados, validação e escrita num ficheiro não formatado.
- femix - cálculo de deslocamentos e reacções para os diversos casos de carga.
- posfemix - gravação de ficheiros formatados com os dados, resultados, malha, deformada, tensões/esforços principais, tensões/esforços nos nós e diagramas de esforços nas barras. Podem ser efectuadas combinações de casos de carga.
- drawmesh, graph2d, s3dcad, s3djoin, s3dsplit e pixtojet - geração de ficheiros de dados e visualização gráfica de dados e resultados.

A versão MSDOS deste software é um subconjunto da versão UNIX que se destina a trabalhos académicos. Na versão MSDOS o número de elementos é limitado.

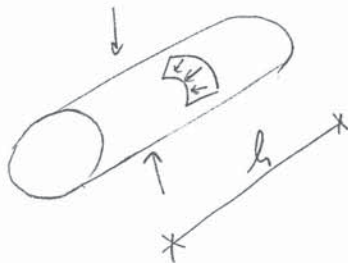
Estes programas não podem ser utilizados profissionalmente sem autorização dos autores.



Estado plano de tensão

($n_{type} = 1$)

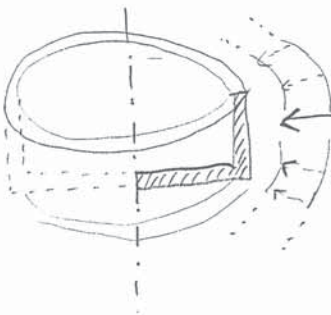
- espessura pequena
- forças no plano da estrutura
- Ex: viga parede



Estado plano de deformação

($n_{type} = 2$)

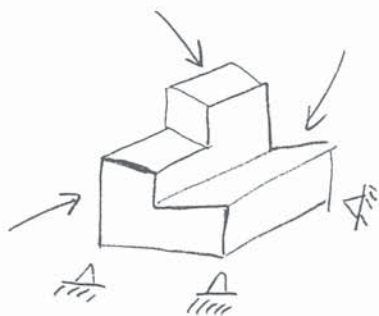
- espessura grande ou deformações segundo h impedidas
- forças paralelas ao plano médio
- Ex: barragem gravidade



Estado axissimétrico

($n_{type} = 3$)

- estrutura e ações simétricas em relação a um eixo
- Ex: depósito

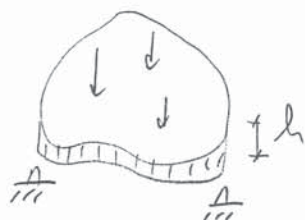


Sólido tridimensional

(ntype = 4)

→ estrutura e ações tridimensionais sem quaisquer restrições

→ Ex: maciço de fundações

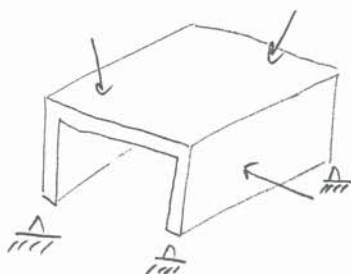


Laje

(ntype = 5)

→ espessura pequena

→ forças normais à superfície média



Casca

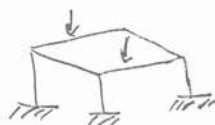
(ntype = 6)

→ estrutura laminar com uma superfície média qualquer

→ Ex: passagem inferior

Portico tridimensional

(ntype = 7)



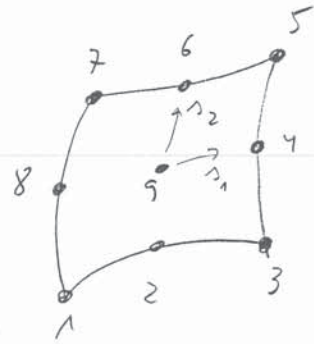
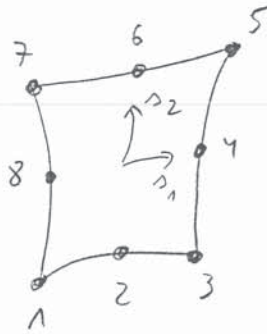
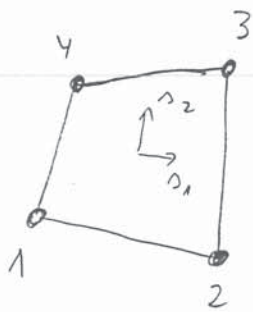
Treliça tridimensional

(ntype = 8)

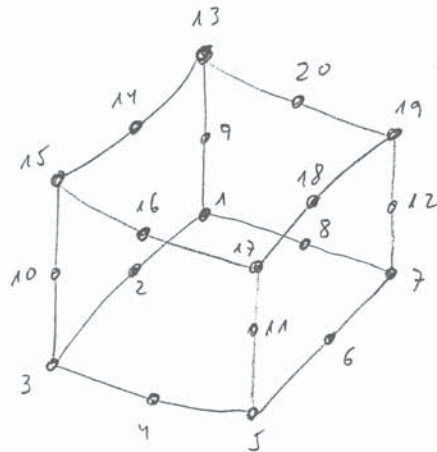
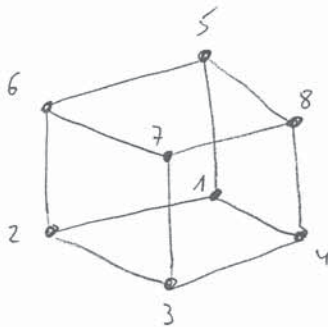


Elementos Finitos

A-4



Utilizados em estados planos de tensão, deformações e assimétricos em lajes e em cascas.



Utilizados em sólidos tridimensionais



Utilizado em pórticos e treliças tridimensionais

Coordenadas dos nós $\begin{cases} (x, y) \\ (x, y, z) \end{cases}$

ACÇÕES

A-5

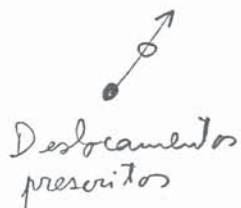
Em nós



Forças



Momentos



Deslocamentos prescritos

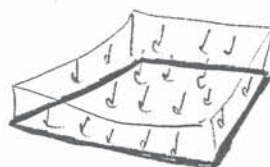


Rotações prescritas

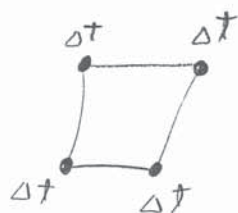
Em elementos



Graníticas



Distribuídas em bordas ou em faces



Térmicas



Concentradas em barras

Estrutura do programa

A-6

- PREFEMIX — leitura de um ficheiro formatado com os dados; validação dos dados; escrita num ficheiro não formatado (binário).

 - FEMIX — leitura do ficheiro binário; cálculo das matrizes de rigidez dos elementos; cálculo das forças nodais equivalentes às acções; resolução do sistema de equações; escrita dos deslocamentos e reacções em ficheiros binários.

 - POSFEMIX — leitura dos dados, deslocamentos e reacções; apresentação dos resultados sob diversas formas.
-

Programas auxiliares — geração e manipulação de malhas; visualização de dados e resultados.

Resolução do sistema de equações

A - 7

métodos { directo (eliminação de Gauss)
 iterativo (gradientes conjugados)

Método directo — eliminação de Gauss com armazenamento da semi-banda em memória central.

- ao numerar os nós é necessário ter em consideração a minimização da semi-banda.
- conduz a erros pequenos.
- boa performance para malhas de pequenas e médias dimensões.

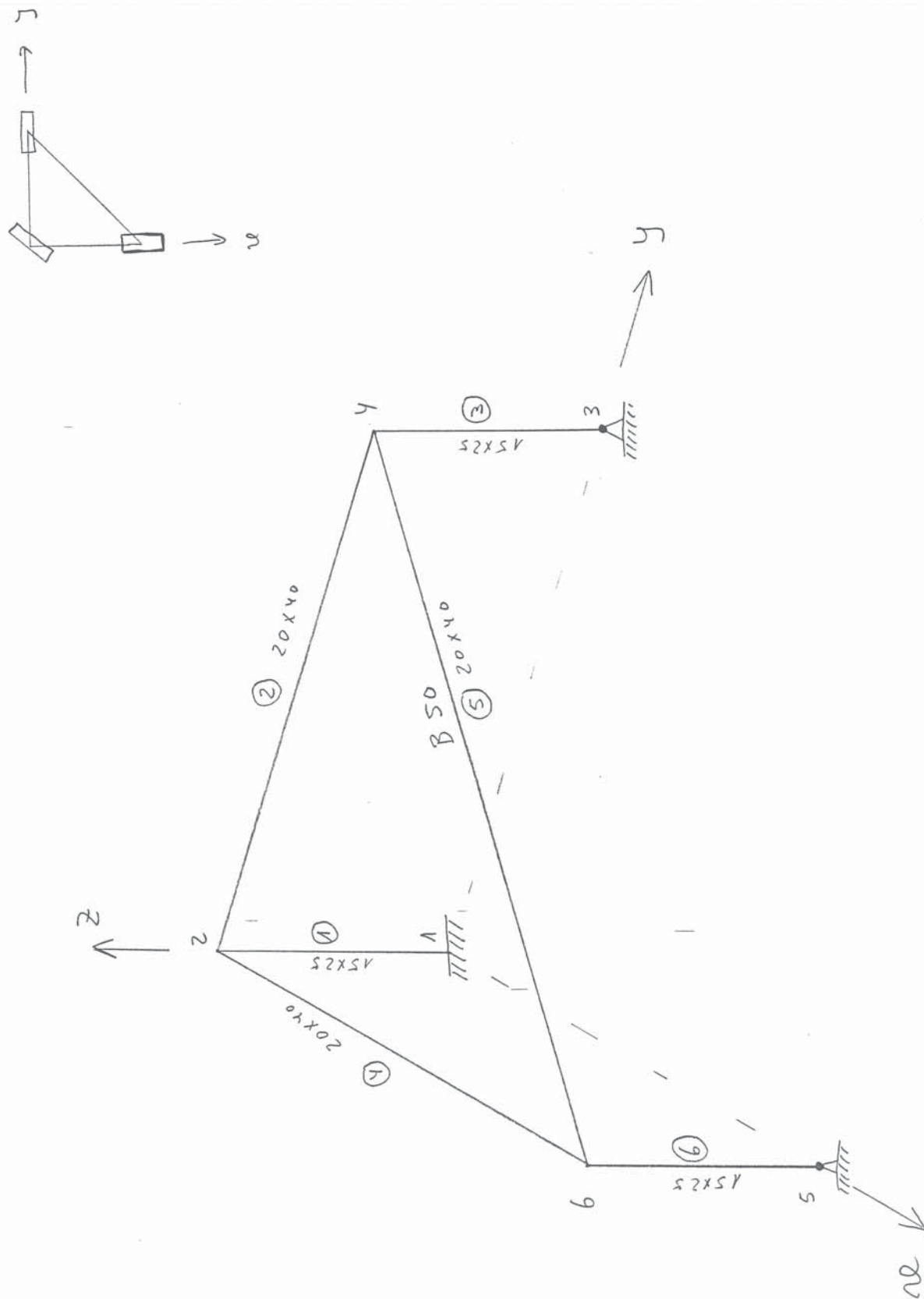
Método iterativo — gradientes conjugados pré-condicionado com armazenamento dos termos não nulos do triângulo superior.

- a numeração dos nós não afecta o tempo de resolução nem a quantidade de memória necessária.
- o erro pretendido é seleccionado pelo utilizador.
- é aconselhável para malhas de grandes dimensões ou quando a memória central for insuficiente para a resolução pelo método directo.

- DRAWMESH — visualizações de malhas como wire frame ou com eliminação das superfícies escondidas
- GRAPH 2D — visualizações de curvas bidimensionais
- S3DCAD —
 - geração e manipulação de malhas
 - importação e exportação de ficheiros DXF
 - exportação de ficheiros de dados para o FEMIX
- S3DJOIN — adição de malhas para visualização conjunta
- S3DSPLIT — separação de malhas
- PIXTO $\left\{ \begin{matrix} PRN \\ LAS \\ JET \end{matrix} \right\}$ — transformações de imagens provenientes dos programas drawmesh e graph2d em sequências de comandos para impressoras de agulhas, laser e jato de tinta a cores

A-9

EXEMPLO: PÓRTICO 3D



Main title of the problem
 Portico 3d (3 pilares + 3 vigas em triangulo) (MN,m)

A-10

Main parameters

```

6 # nelem (n. of elements in the mesh)
6 # npoin (n. of points in the mesh)
3 # nvfix (n. of points with fixed degrees of freedom)
2 # ncase (n. of load cases)
2 # nmats (n. of sets of material properties)
4 # nspen (n. of sets of element nodal properties)
7 # ntype (problem type)
2 # nnode (n. of nodes per element)
2 # ngaus (n. of Gauss points in the integration rule) (element stiffness)
2 # ngstr (n. of Gauss points in the integration rule) (stresses)
3 # ndime (n. of geometric dimensions)
6 # ndofn (n. of degrees of freedom per node)
4 # nprop (n. of material properties used in the formulation)
5 # npren (n. of element nodal properties used in the formulation)
  
```

Material properties index, element nodal properties index and
 ### list of the nodes of each element

```

# ielem matno ielnp      lnods ...
1      1      1      1      2 # pilar
2      1      4      2      4 # viga
3      1      2      3      4 # pilar
4      1      4      2      6 # viga
5      2      4      4      6 # viga      B50
6      1      3      5      6 # pilar
  
```

Coordinates of the points

```

# ipoin  coord-x  coord-y  coord-z
1      0.0      0.0      0.0
2      0.0      0.0      4.0
3      0.0      7.0      0.0
4      0.0      7.0      4.0
5      7.0      0.0      0.0
6      7.0      0.0      4.0
  
```

Points with fixed degrees of freedom and fixity codes (1-fixed;0-free)

```

# ivfix nofix      ifpre ...
1      1      1 1 1 1 1 1
2      3      1 1 1 0 0 0
3      5      1 1 1 0 0 0
  
```

Sets of material properties

(Young modulus, Poisson ratio, mass per unit volume and thermic coeff.)

```

# imats—  young  poiss  dense  alpha
1  20000.0  0.15  2500e-6  0.0
2  35000.0  0.15  2500e-6  0.0 # B50
  
```

Sets of element nodal properties

(Cross section area, torsional and flexural inertia and
 ### local coordinate system definition in degrees)

```

# ispen
1
# inode      barea      binet      bin2l      bin3l  bangl(deg)
1      0.0375      5e-5      1.953e-4      7.031e-5  -45.0 # 15x25
2      0.0375      5e-5      1.953e-4      7.031e-5  -45.0
# ispen
2
# inode      barea      binet      bin2l      bin3l  bangl(deg)
1      0.0375      5e-5      1.953e-4      7.031e-5  90.0 # 15x25
2      0.0375      5e-5      1.953e-4      7.031e-5  90.0
# ispen
3
# inode      barea      binet      bin2l      bin3l  bangl(deg)
  
```

A - 11


```

1      0.0375      5e-5      1.953e-4      7.031e-5      0.0      # 15x25
2      0.0375      5e-5      1.953e-4      7.031e-5      0.0
# ispen
4
# inode      barea      binet      bin21      bin31      bangl(deg)
1      0.08      2.5e-4      1.067e-3      2.667e-4      0.0      # 20x40
2      0.08      2.5e-4      1.067e-3      2.667e-4      0.0

# =====

### Title of the first load case
Peso proprio + carga distribuida

### Load parameters
0 # nplod (n. of point loads in nodal points)
1 # ngrav (gravity load flag: 1=yes;0=no)
0 # nedge (n. of edge loads) (F.E.M. only)
0 # nface (n. of face loads) (F.E.M. only)
0 # ntemp (n. of points with temperature variation) (F.E.M. only)
1 # nudis (n. of uniformly distributed loads) (3d frames and trusses only)
0 # nepoi (n. of element point loads) (3d frames and trusses only)
0 # nprva (n. of prescribed and non zero degrees of freedom)

### Gravity load (gravity acceleration)
### (global coordinate system)
# gravi-x gravi-y gravi-z      gravi-tx gravi-ty gravi-tz
0.0      0.0      -9.8      0.0      0.0      0.0

### Uniformly distributed load in 3d frame or truss elements (loaded element
### and load value) (local coordinate system)
# iudis      loelu      udisl-x udisl-y udisl-z      udisl-tx udisl-ty udisl-tz
1      5      0.0      0.0      -0.07      0.0      0.0      0.0

# =====

### Title of the second load case
Peso proprio + carga concentrada

### Load parameters
0 # nplod (n. of point loads in nodal points)
1 # ngrav (gravity load flag: 1=yes;0=no)
0 # nedge (n. of edge loads) (F.E.M. only)
0 # nface (n. of face loads) (F.E.M. only)
0 # ntemp (n. of points with temperature variation) (F.E.M. only)
0 # nudis (n. of uniformly distributed loads) (3d frames and trusses only)
1 # nepoi (n. of element point loads) (3d frames and trusses only)
0 # nprva (n. of prescribed and non zero degrees of freedom)

### Gravity load (gravity acceleration)
### (global coordinate system)
# gravi-x gravi-y gravi-z      gravi-tx gravi-ty gravi-tz
0.0      0.0      -9.8      0.0      0.0      0.0

### Element point load in 3d frame or truss elements (loaded element, distance
### to the left end and load value) (global coordinate system)
# iepoi loelp xepoi      epoil-x epoil-y epoil-z      epoil-tx epoil-ty epoil-tz
1      5 4.9497      0.0      0.0      -0.5      0.0      0.0      0.0

END_OF_FILE

```


A - 12

Portico 3d (3 pilares + 3 vigas em triangulo) (MN,m)

Load case n. 1

Peso proprio + carga distribuida

*** Nodal displacements:
(global coordinate system)

Point number (ipoin)
X displacement (delta-x)
Y displacement (delta-y)
Z displacement (delta-z)
Theta-X rotation (delta-tx)
Theta-Y rotation (delta-ty)
Theta-Z rotation (delta-tz)

ipoin	delta-x delta-tx	delta-y delta-ty	delta-z delta-tz
...			
2	0.03658574 -0.00738338	0.03658574 0.00738338	-0.00010446 0.00000000
...			

*** Generalized forces at the bar extremities:
(local coordinate system)
(same sign convention for both extremities)

Element number (ielem)
Node number (inode)
X axial force (Nx)
Y shear force (Vy)
Z shear force (Vz)
X torsion moment (Tx)
Y bending moment (My)
Z bending moment (Mz)

ielem	inode	Nx Tx	Vy My	Vz Mz
...				
5	1	0.02550686 0.00000000	0.00000000 -0.13292037	0.35618383 -0.00002219
5	2	-0.02550686 0.00000000	0.00000000 0.13292037	0.35618383 0.00002219
...				

*** Reactions:
(global coordinate system)

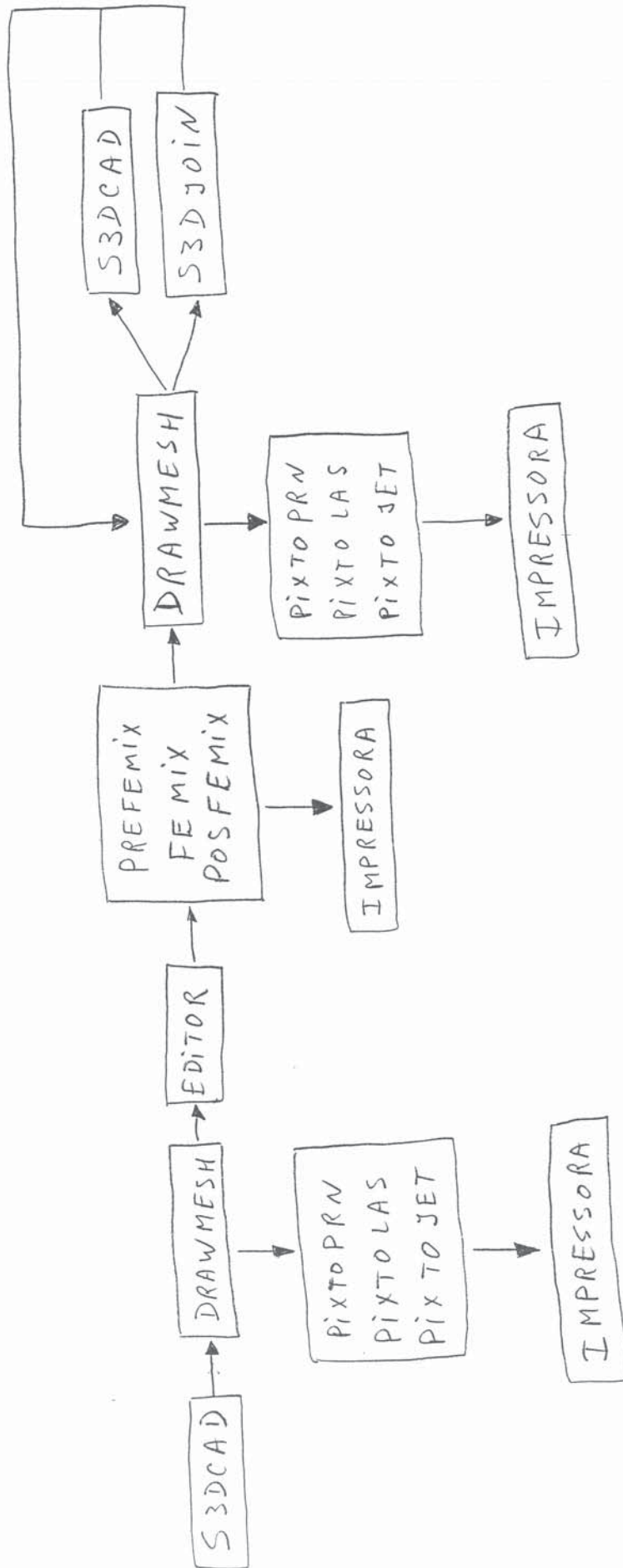
Reaction count (itfix)
Number of the point (kpoin)
Number of the degree of freedom (kdofn)
Reaction value (react)

itfix	kpoin	kdofn	react
...			
12	5	3	0.3647043535
...			

Load case n. 2
Peso proprio + carga concentrada

• • •

Diagrama de sequência de um cálculo com elementos finitos
utilizando o programa FEMIX e programas auxiliares



A-14

Quadro D.1 - Ficheiros que podem ser lidos ou escritos pelos diversos programas.

Programa	Lê	Escreve
prefemix	*_gl.dat (F)	*_gl.bin (N)
femix	*_gl.bin (N) *_tmp (N)	*.tmp (N) *_di.bin (N) *_re.bin (N) [*_ih.g2d] (F)
posfemix	[_gl.bin] (N) [_di.bin] (N) [_re.bin] (N) [_st.bin] (N) [_cm.dat] (F)	[_st.bin] (N) [_gl.lpt] (F) [_rs.lpt] (F) [_me.s3d] (F) [_dm.s3d] (F) [_ps.s3d] (F) [_di.pva] (F) [_st.pva] (F) [_sg.s3d] (F)
s3dcad	[_s3d] (F) [_dxf] (F) [_dw.dat] (F)	[_s3d] (F) [_dxf] (F) [_gl.dat] (F)
drawmesh	*.s3d (F) [_cfg] (F) [_*.pva] (F)	[_pix] (N) [_cfg] (F)
graph2d	*.g2d (F) [_def] (F)	[_pix] (N) [_def] (F)
s3djoin	*.s3d (F)	*.s3d (F)
s3dsplit	*.s3d (F)	*.s3d (F)
pixtojet	*.pix (N)	*.jet (N)

- * - Nome variável
- F - Ficheiro formatado
- N - Ficheiro não formatado
- [] - Opcional

A-15

Quadro D.2 - Significado das extensões dos ficheiros.

jobname_AB.XYZ

AB → conteúdo

XYZ → tipo de ficheiro

Conteúdo	Descrição
dw	divisions and weights - divisões e pesos
gl	geometry and loads - geometria e cargas
di	displacements - deslocamentos
re	reactions - reacções
rs	results - resultados (deslocamentos, tensões/esforços, reacções)
me	mesh (undeformed) - malha indeformada
dm	deformed mesh - malha deformada
ps	principal stresses - tensões/esforços principais
st	stresses - tensões/esforços
sg	stress graphics - diagramas de esforços em barras
cm	combination matrix - matriz com os coeficientes das combinações
ih	iteration history - evolução do erro ao longo do ciclo iterativo

Tipo de ficheiro	Descrição
.s3d	formato específico do programa drawmesh (*)
.g2d	formato específico do programa graph2d (**)
.dat	ficheiro formatado contendo diversos tipos de dados
.bin	ficheiro não formatado (binário) (não pode ser alterado com um editor)
.lpt	ficheiro destinado a ser enviado para uma impressora
.pva	ficheiro complementar para a visualização de campos escalares com o programa drawmesh (*)
.tmp	ficheiro temporário que é automaticamente apagado pelo programa (se a execução for interrompida deve ser apagado pelo utilizador)

(*) ver o manual do programa drawmesh

(**) ver o manual do programa graph2d

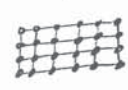
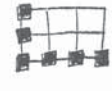
- ① - gl. lpt → gravação dos dados num ficheiro destinado a ser impresso
- ② - rs. lpt → gravação dos resultados num ficheiro destinado a ser impresso
- ③ - me. s3d → gravação de um ficheiro s3d com a malha indeformada
- ④ - dm. s3d → gravação de um ficheiro s3d com a malha deformada
- ⑤ - ps. s3d → gravação de um ficheiro s3d com as tensões principais
- ⑥ - di. pva → gravação de um ficheiro pva com uma componente dos deslocamentos dos nós.
- ⑦ - st. pva → gravação de um ficheiro pva com uma componente das tensões nos nós
- ⑧ - sg. s3d → gravação de um ficheiro s3d com os diagramas de esforços nas barras.

- A descrição da geometria da malha encontra-se num ficheiro com a extensão .s3d
- Por defeito a malha é visualizada como um wire frame.
- Em seguida podem-se seleccionar as seguintes opções:
 - v - mudar o ponto de vista
 - mm, MM - colocar marcas ou números nos nós
 - ms, MS - colocar marcas ou números nos nós especiais
 - me - colocar números nos elementos
 - número - mudar de layer
 - w - efectuar zoom's
 - l - retirar as linhas do wire frame
 - s - eliminar as superfícies escondidas
 - c - visualizar campos escalares recorrendo a uma escala de cores
 - di - seleccionar o modo dithering (simulação da cor recorrendo a uma quadricula monocromática)
 - cl - sobrepor as isocurvas do campo escalar
 - D - exportar a imagem gráfica para um ficheiro .pix

NOTA: em qualquer situação a tecla H fornece um écran de help.

- Manipulação de malhas de elementos finitos.
- Baseia-se na estrutura dos ficheiros s3d.
- Pode importar/exportar ficheiros DXF com polylines, points e text.
- Pode exportar ficheiros _gl.dat (apenas a geometria é considerada) (acções e propriedades são gravadas com valores por defeito).

Exemplos de comandos (de um total de 25)

- | | | | | | | |
|-----|---------------------------|---|---|---|---|---|
| com | - create a simple mesh |  |  |  |  |  |
| gen | - generate a refined mesh |  | | | | |
| ele | - eliminate elements |  | | | | |
| snd | - special node detector |  | | | | |
| ren | - renumber | | | | | |
| gld | - write a _gl.dat file | | | | | |
| wri | - write a .s3d file | | | | | |
| end | - terminar | | | | | |

help - ecrã com informações relativas aos diversos comandos

Utilização de 2 buffers (a e b)

A-19

- É possível manipular independentemente duas malhas e em seguida adicioná-las.
- Os diversos comandos atuam sobre a malha do buffer corrente.
- Exemplos:
 - rea m1 → ler malha no ficheiro "m1.s3d"
 - ccf → o buffer b passa a buffer corrente
 - rea m2 → ler o ficheiro "m2.s3d" para o buffer b
 - rot ... → rotate
 - mov ... → move
 - ccf → regresso ao buffer a
 - mer → merge (a malha do buffer b é adicionada à do buffer a)
($a+b \rightarrow a$) (em b não há alterações)
 - wri new → gravar a malha do buffer corrente no ficheiro "new.s3d"
 - end

Comandos

A-20

- btr - transformar cada brick em 6 elementos de casca (as faces interiores podem ser eliminadas)
- cya - repetir uma malha em torno de um eixo
- dxi - ler as polylines de um ficheiro DXF
- dxo - gravar a malha do buffer corrente num ficheiro DXF (pode incluir numerações e marcas nos nós)
- elp - eliminar os nós que não pertencem a nenhum elemento (deve ser executado após a eliminação de elementos)
- gen - refinar a malha (se as divisões não forem todas iguais, têm de se especificar os respectivos pesos num ficheiro auxiliar de extensão - dw. dat)
- mir - mirror - a malha do buffer corrente é transformada na respetiva imagem num espelho. Se se pretender que a malha anterior permaneça, têm de se recorrer a um buffer auxiliar.

paa - repetir uma malha segundo
os 3 eixos

A-21

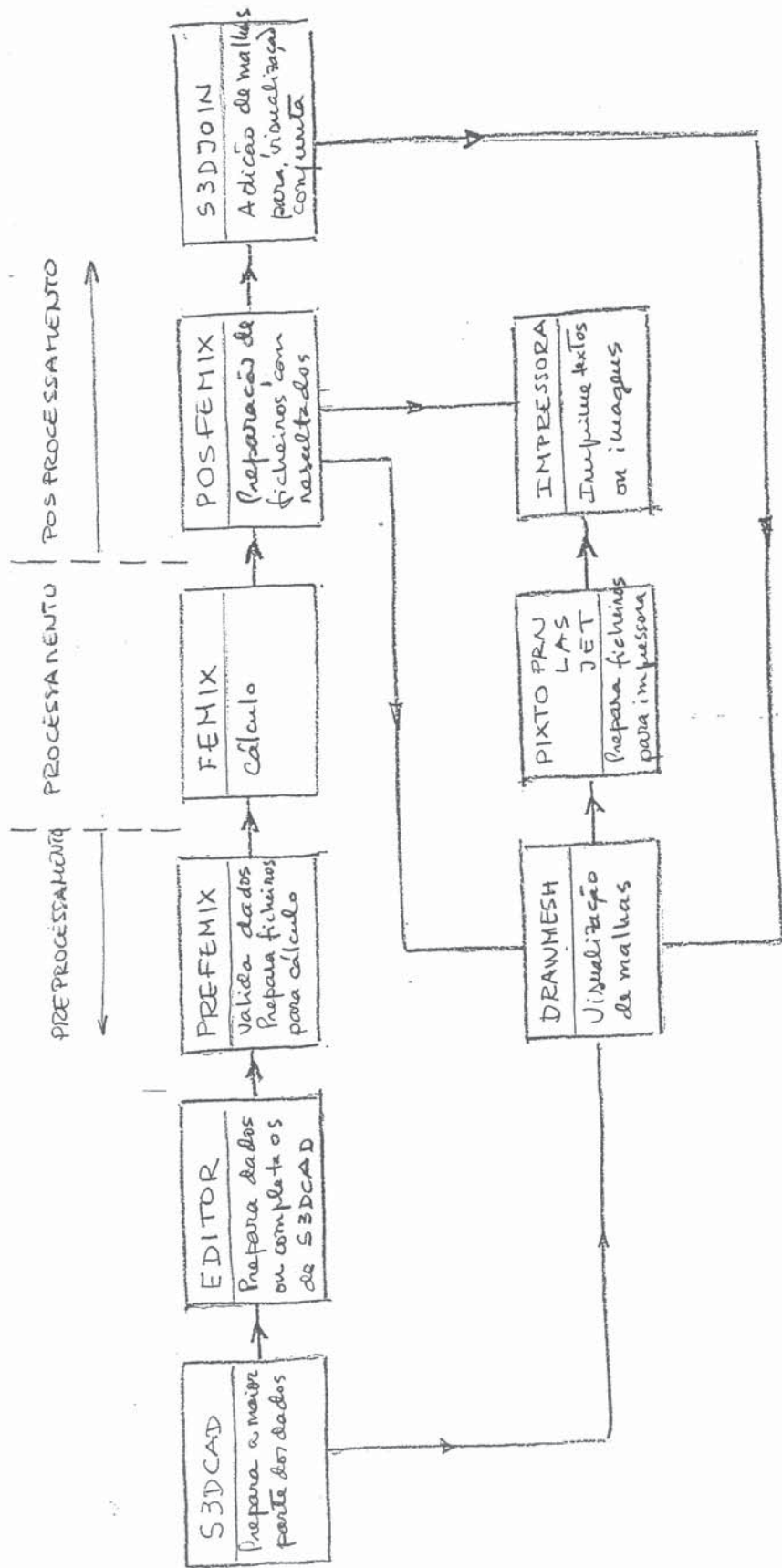
ren - renumerar os elementos, nós e nós
especiais. O utilizador tem de
indicar segundo que eixos é que
a malha apresenta mais nós. Esta
indicação destina-se à minimização
da semi banda.

Execução em modo não interativo

- Colocar todos os comandos e argumentos
num ficheiro chamado por exemplo resp
- Executar o s3dcad com o seguinte comando:

s3dcad < resp -> _screen

ESTRUTURA DO PROGRAMA E SEQUÊNCIA DO CÁLCULO



OUTROS PROGRAMAS AUXILIARES:

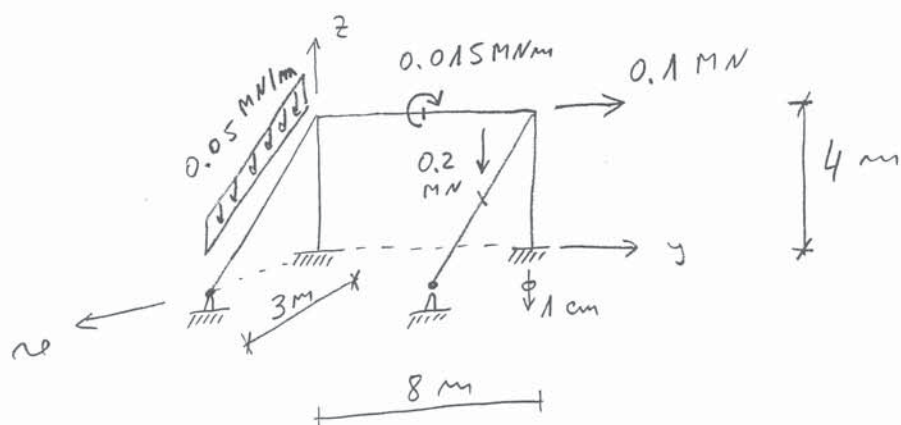
GRAPH2D - Visualização de curvas bidimensionais

S3DSPLIT - Separação de malhas

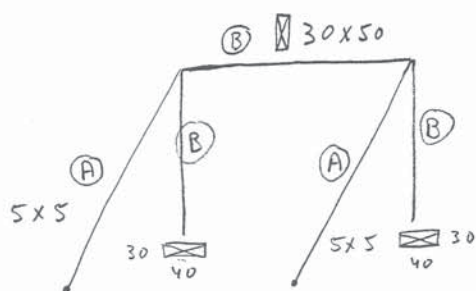
Ex. 1

Calcular o seguinte pórtico 3D:

A-23



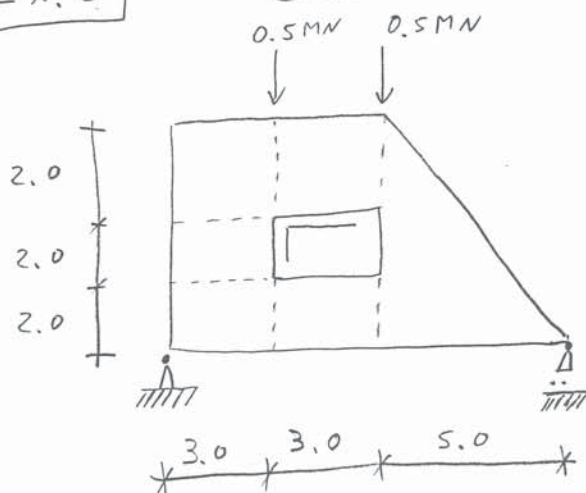
Considerar o peso próprio



- { A - Aço (A235)
- { B - Betão (B25)

Ex. 2

Calcular a seguinte viga parede:



- { Espessura = 0.40m
- { Betão (B25)

Considerar o peso próprio

S3DCAD EM MODO BATCH

A-24

- Colocar os comandos de geração da malha num ficheiro com extensão .rsp (Ex: laje.rsp)
- Executar em seguida o seguinte comando:

```
TYPE LAJE.RSP | SPLITW | S3DCAD > LAJE.OUT
```

- Se ocorrer uma situação de erro deve ser consultado o ficheiro LAJE.OUT que contém o output da correspondente sessão interactiva.

-
- Na construção do ficheiro com extensão .rsp deve ser consultada a lista dos comandos e respectivos argumentos. Se persistir alguma dúvida relativa ao significado dos argumentos, deve ser simulada uma sessão interactiva.

```
=====
===== s3dcad 2.0 =====
===== February 1992 =====
=====
```

COMMANDS AND ARGUMENTS:

```
bts y
bts n

ccf

csm 1 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2
csm 2 1.2 3.4
csm 3 1.2 3.4 5.6
csm 4 1.2 3.4
csm 5 1.2

cue 1 1.2 3.4
cue 2 1.2 3.4
cue 3 1.2 3.4

cya 9 n 31 41 51
cya 9 c 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2 45

dxi new

dxo new 1 y y y y y y 0.05 0.05 0.05 0.05
dxo new 1 n y y y y y y 0.05 0.05 0.05 0.05
dxo new p y y y y y y y 0.05 0.05 0.05 0.05
dxo new p n y y y y y y y 0.05 0.05 0.05 0.05
dxo new 1 y n n n n n n
dxo new 1 n n n n n n n
dxo new p y n n n n n n
dxo new p n n n n n n

ele 34 56 0

elp

end

gen 1 2 10
gen 1 3 10
gen 2 4 10 10
gen 2 8 10 10
gen 2 9 10 10
gen 3 8 10 10 10
gen 3 20 10 10 10

gld new 1 1
gld new 1 2
gld new 2 1
gld new 2 2
gld new 3 1
gld new 3 2
gld new 4
gld new 5 1
gld new 5 2
gld new 6
gld new 7
gld new 8
```

(CONTINUA)

(CONTINUAÇÃO)

A-26

mer

```
mir 1 n 12 34 56
mir 2 n 12 34 56
mir 3 n 12 34 56
mir 0 n 12 34 56
mir 1 c 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2 3.4 5.6 7.8
mir 2 c 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2 3.4 5.6 7.8
mir 3 c 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2 3.4 5.6 7.8
mir 0 c 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2 3.4 5.6 7.8
```

mov 1.2 3.4 5.6

paa 9 6 8 1.2 3.4 5.6

rea new

```
ren 3 2 1 y y y 1e-5
ren 3 2 1 n n n 1e-5
```

```
rot n 31 41 45
rot c 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2 45
```

shr 0.8

```
snd 2 0.0001 n 31 41 0
snd 3 0.0001 n 31 41 51 0
snd 2 0.0001 c 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2 0
snd 3 0.0001 c 1.2 3.4 5.6 7.8 9.0 1.2 3.4 5.6 7.8 0
```

stf y

stf n

sys (operating system command)

wri new

wrp 1

wrp 2

wrp 3

=====

A-27

```
# Ex 1 (portico 3D)

csm 1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 4.0
ccf # goto buffer b

csm 1 3.0 0.0 0.0 0.0 0.0 4.0
mer # buffer b is added to buffer a

csm 1 0.0 0.0 4.0 0.0 6.0 4.0
mer # buffer b is added to buffer a

csm 1 3.0 6.0 0.0 0.0 6.0 4.0
mer # buffer b is added to buffer a

csm 1 0.0 6.0 0.0 0.0 6.0 4.0
mer # buffer b is added to buffer a

ccf # goto buffer a

gen 1 2 4 # each bar is replaced by 4 bars
ren 2 3 1 y y y 1e-5
snd 3 0.0001 c 0.0 0.0 0.0 10.0 0.0 0.0 0.0 10.0 0.0 0
wri ex1
gld ex1 7
end
```

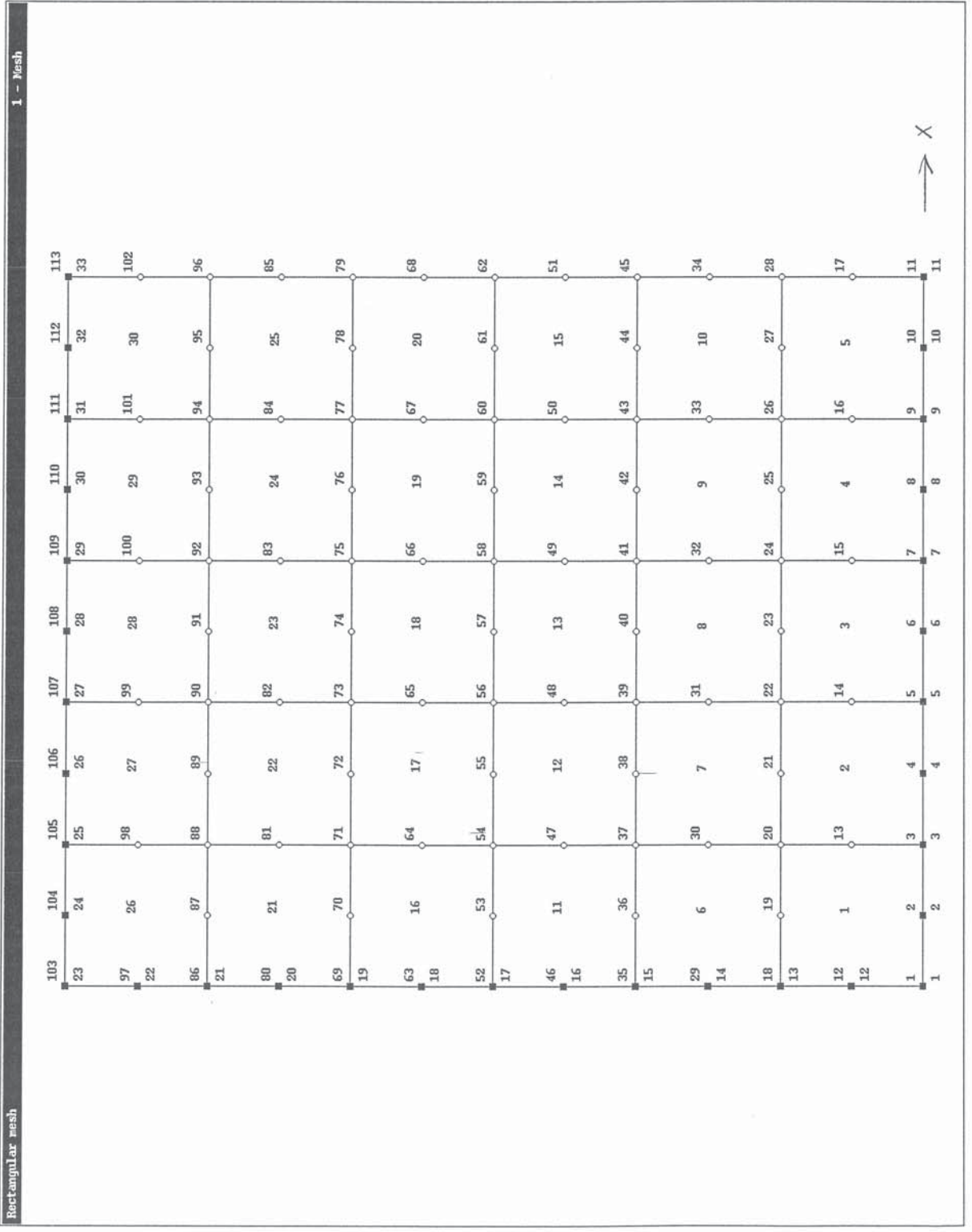
PÓRTICO 3D

{ ex1. s3d
ex1-gl.dat

A-28

L A J E 5.0 x 6.0

↑ Y



A-29

```
# Laje 5.0x6.0  
csm 2 5.0 6.0  
gen 2 8 5 6  
snd 2 0.0001 c 0.0 0.0 0.0 5.0 0.0 0.0 0  
snd 2 0.0001 c 0.0 0.0 0.0 0.0 6.0 0.0 0  
snd 2 0.0001 c 0.0 6.0 0.0 5.0 6.0 0.0 0  
ren 2 1 3 y y y 1e-5  
wri laje  
gld laje 5 1  
end
```

L A J E 5.0 x 6.0

{ laje.s3d
{ laje-gl.dat

A-30

Main title of the problem
Laje rectangular (MN,m)

Main parameters

30 # nelem (n. of elements in the mesh)
113 # npoin (n. of points in the mesh)
33 # nvfix (n. of points with fixed degrees of freedom)
1 # ncase (n. of load cases)
1 # nmats (n. of sets of material properties)
1 # nspen (n. of sets of element nodal properties)
5 # ntype (problem type)
8 # nnode (n. of nodes per element)
3 # ngaus (n. of Gauss points in the integration rule) (element stiffness)
2 # ngstr (n. of Gauss points in the integration rule) (stresses)
2 # ndime (n. of geometric dimensions)
3 # ndofn (n. of degrees of freedom per node)
4 # nprop (n. of material properties used in the formulation)
1 # npren (n. of element nodal properties used in the formulation)

Material properties index, element nodal properties index and

list of the nodes of each element

# ielem	matno	ielnp	lnods ...								
1	1	1	1	2	3	13	20	19	18	12	
2	1	1	3	4	5	14	22	21	20	13	
3	1	1	5	6	7	15	24	23	22	14	
4	1	1	7	8	9	16	26	25	24	15	
5	1	1	9	10	11	17	28	27	26	16	
6	1	1	18	19	20	30	37	36	35	29	
7	1	1	20	21	22	31	39	38	37	30	
8	1	1	22	23	24	32	41	40	39	31	
9	1	1	24	25	26	33	43	42	41	32	
10	1	1	26	27	28	34	45	44	43	33	
11	1	1	35	36	37	47	54	53	52	46	
12	1	1	37	38	39	48	56	55	54	47	
13	1	1	39	40	41	49	58	57	56	48	
14	1	1	41	42	43	50	60	59	58	49	
15	1	1	43	44	45	51	62	61	60	50	
16	1	1	52	53	54	64	71	70	69	63	
17	1	1	54	55	56	65	73	72	71	64	
18	1	1	56	57	58	66	75	74	73	65	
19	1	1	58	59	60	67	77	76	75	66	
20	1	1	60	61	62	68	79	78	77	67	
21	1	1	69	70	71	81	88	87	86	80	
22	1	1	71	72	73	82	90	89	88	81	
23	1	1	73	74	75	83	92	91	90	82	
24	1	1	75	76	77	84	94	93	92	83	
25	1	1	77	78	79	85	96	95	94	84	
26	1	1	86	87	88	98	105	104	103	97	
27	1	1	88	89	90	99	107	106	105	98	
28	1	1	90	91	92	100	109	108	107	99	
29	1	1	92	93	94	101	111	110	109	100	
30	1	1	94	95	96	102	113	112	111	101	

Coordinates of the points

# ipoin	coord-x	coord-y	# meters
1	0.00000000	0.00000000	
2	0.50000000	0.00000000	
3	1.00000000	0.00000000	
4	1.50000000	0.00000000	
5	2.00000000	0.00000000	
6	2.50000000	0.00000000	
7	3.00000000	0.00000000	
8	3.50000000	0.00000000	
9	4.00000000	0.00000000	
10	4.50000000	0.00000000	

11	5.00000000	0.00000000
12	0.00000000	0.50000000
13	1.00000000	0.50000000
14	2.00000000	0.50000000
15	3.00000000	0.50000000
16	4.00000000	0.50000000
17	5.00000000	0.50000000
18	0.00000000	1.00000000
19	0.50000000	1.00000000
20	1.00000000	1.00000000
21	1.50000000	1.00000000
22	2.00000000	1.00000000
23	2.50000000	1.00000000
24	3.00000000	1.00000000
25	3.50000000	1.00000000
26	4.00000000	1.00000000
27	4.50000000	1.00000000
28	5.00000000	1.00000000
29	0.00000000	1.50000000
30	1.00000000	1.50000000
31	2.00000000	1.50000000
32	3.00000000	1.50000000
33	4.00000000	1.50000000
34	5.00000000	1.50000000
35	0.00000000	2.00000000
36	0.50000000	2.00000000
37	1.00000000	2.00000000
38	1.50000000	2.00000000
39	2.00000000	2.00000000
40	2.50000000	2.00000000
41	3.00000000	2.00000000
42	3.50000000	2.00000000
43	4.00000000	2.00000000
44	4.50000000	2.00000000
45	5.00000000	2.00000000
46	0.00000000	2.50000000
47	1.00000000	2.50000000
48	2.00000000	2.50000000
49	3.00000000	2.50000000
50	4.00000000	2.50000000
51	5.00000000	2.50000000
52	0.00000000	3.00000000
53	0.50000000	3.00000000
54	1.00000000	3.00000000
55	1.50000000	3.00000000
56	2.00000000	3.00000000
57	2.50000000	3.00000000
58	3.00000000	3.00000000
59	3.50000000	3.00000000
60	4.00000000	3.00000000
61	4.50000000	3.00000000
62	5.00000000	3.00000000
63	0.00000000	3.50000000
64	1.00000000	3.50000000
65	2.00000000	3.50000000
66	3.00000000	3.50000000
67	4.00000000	3.50000000
68	5.00000000	3.50000000
69	0.00000000	4.00000000
70	0.50000000	4.00000000
71	1.00000000	4.00000000
72	1.50000000	4.00000000
73	2.00000000	4.00000000
74	2.50000000	4.00000000
75	3.00000000	4.00000000
76	3.50000000	4.00000000

77	4.00000000	4.00000000
78	4.50000000	4.00000000
79	5.00000000	4.00000000
80	0.00000000	4.50000000
81	1.00000000	4.50000000
82	2.00000000	4.50000000
83	3.00000000	4.50000000
84	4.00000000	4.50000000
85	5.00000000	4.50000000
86	0.00000000	5.00000000
87	0.50000000	5.00000000
88	1.00000000	5.00000000
89	1.50000000	5.00000000
90	2.00000000	5.00000000
91	2.50000000	5.00000000
92	3.00000000	5.00000000
93	3.50000000	5.00000000
94	4.00000000	5.00000000
95	4.50000000	5.00000000
96	5.00000000	5.00000000
97	0.00000000	5.50000000
98	1.00000000	5.50000000
99	2.00000000	5.50000000
100	3.00000000	5.50000000
101	4.00000000	5.50000000
102	5.00000000	5.50000000
103	0.00000000	6.00000000
104	0.50000000	6.00000000
105	1.00000000	6.00000000
106	1.50000000	6.00000000
107	2.00000000	6.00000000
108	2.50000000	6.00000000
109	3.00000000	6.00000000
110	3.50000000	6.00000000
111	4.00000000	6.00000000
112	4.50000000	6.00000000
113	5.00000000	6.00000000

Points with fixed degrees of freedom and fixity codes (1-fixed;0-free)

#	ivfix	nofix	ifpre	...
	1	1	1	1
	2	2	1	1
	3	3	1	1
	4	4	1	1
	5	5	1	1
	6	6	1	1
	7	7	1	1
	8	8	1	1
	9	9	1	1
	10	10	1	1
	11	11	1	1
	12	12	1	1
	13	18	1	1
	14	29	1	1
	15	35	1	1
	16	46	1	1
	17	52	1	1
	18	63	1	1
	19	69	1	1
	20	80	1	1
	21	86	1	1
	22	97	1	1
	23	103	1	1
	24	104	1	1
	25	105	1	1
	26	106	1	1

27	107	1	1	1
28	108	1	1	1
29	109	1	1	1
30	110	1	1	1
31	111	1	1	1
32	112	1	1	1
33	113	1	1	1

Sets of material properties

(Young modulus, Poisson ratio, mass per unit volume and thermic coeff.)

# imats	young	poiss	dense	alpha				
1	29000.0	0.20	2500e-6	0.0	#	MPa	adim.	Kt/m3

Sets of element nodal properties

ispen

1

inode thickness

1	0.15	#	meters
2	0.15		
3	0.15		
4	0.15		
5	0.15		
6	0.15		
7	0.15		
8	0.15		

=====

Title of the first load case

Peso proprio

Load parameters

0	#	nplod	(n. of point loads in nodal points)
1	#	ngrav	(gravity load flag: 1=yes;0=no)
0	#	nedge	(n. of edge loads) (F.E.M. only)
0	#	nface	(n. of face loads) (F.E.M. only)
0	#	ntemp	(n. of points with temperature variation) (F.E.M. only)
0	#	nudis	(n. of uniformly distributed loads) (3d frames and trusses only)
0	#	nepoi	(n. of element point loads) (3d frames and trusses only)
0	#	nprva	(n. of prescribed and non zero degrees of freedom)

Point loads in nodal points (loaded point and load value)

(global coordinate system)

#	iplod	lopod	pload-z	pload-tx	pload-ty
1	6		-0.1	0.3	0.0
2	7		-0.4	0.0	0.4

Gravity load (gravity acceleration)

(global coordinate system)

#	gravi-z	gravi-tx	gravi-ty		
	-9.8	0.0	0.0	#	m/s2

Edge load (loaded element, loaded points and load value)

(local coordinate system)

#	iedge	loele			
1	2				
#	lopoe	qn	qmb	qmt	
#	11	0.1	2.5	2.5	
#	12	0.3	2.5	3.9	
#	13	0.2	2.5	3.9	
#	iedge	loele			
#	2	2			
#	lopoe	qn	qmb	qmt	
#	13	1.0	2.0	3.9	
#	10	2.0	3.0	3.9	
#	8	3.0	4.0	3.9	

A-34

Face load (loaded element, loaded points and load value)

(local coordinate system)

iface loelf

1 1

lopof qn qs2 qs1

1 1.0 1.0 3.9

4 1.0 1.0 3.9

6 1.0 1.0 3.9

7 1.0 1.0 3.9

8 1.0 1.0 3.9

5 1.0 1.0 3.9

3 1.0 1.0 3.9

2 1.0 1.0 3.9

iface loelf

2 2

lopof qn qs2 qs1

6 1.0 1.0 3.9

9 1.0 1.0 3.9

11 1.0 1.0 3.9

12 1.0 1.0 3.9

13 1.0 1.0 3.9

10 1.0 1.0 3.9

8 1.0 1.0 3.9

7 1.0 1.0 3.9

Thermal load (loaded point and temperature variation)

itemp lopot tempn

Prescribed variables (point, degree of freedom and prescribed value)

(global coordinate system)

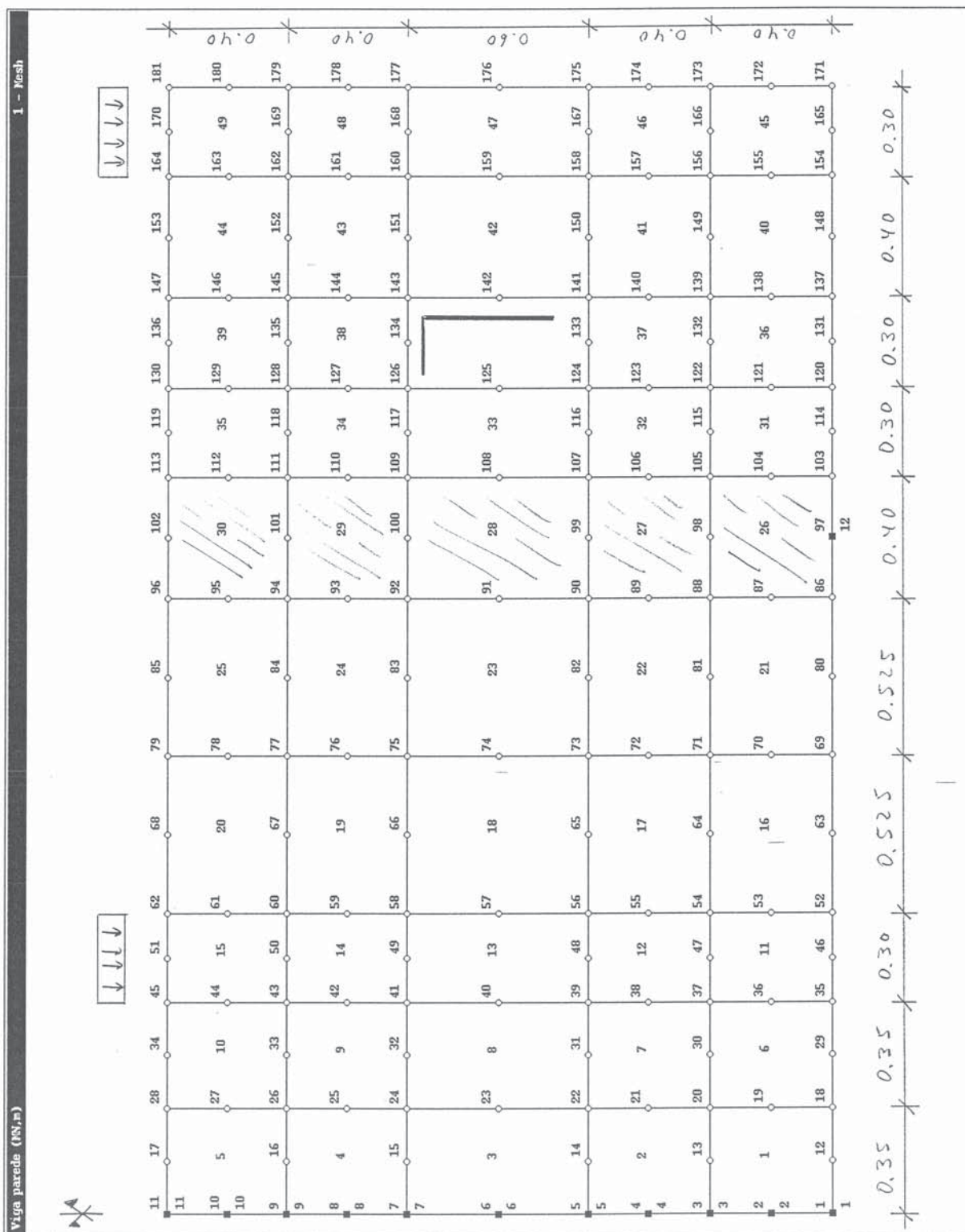
iprva nnodp ndofp prval

1 13 1 0.02

2 11 1 -0.01

END_OF_FILE

↑
×



A-36

```
csm 2 3.75 2.2
wri vipar
rea vipar
gen # using file vipar_dw.dat
ren 1 2 3 y y y 1e-5
ele 38 38 0
snd 2 0.0001 c 0.00 0.00 0.00 0.00 2.20 0.00 0
snd 2 0.0001 c 2.24 0.00 0.00 2.26 0.00 0.00 0
ren 1 2 3 y y y 1e-5
wri vipar
gld vipar 1 1
end
```

VIGA PAREDE

{ vipar.s3d
vipar-gl.dat

vipar_dw.dat

A-37

Main title of the divisions and weights
Viga parede (refinamento da malha)

Generation parameters

2 # ngtyp (n. of local dimensions) (lines=>1 ; surfaces=>2 ; solids=>3)

8 # nnodg (n. of nodes of the generated elements)

Divisions of each element in each direction

ielem nels1 nels2

1 10 5

Weights of each element in each direction or

END_OF_FILE

ielem

1

iels1 weis1

1 0.35

2 0.35

3 0.30

4 0.525

5 0.525

6 0.40

7 0.30

8 0.30

9 0.40

10 0.30

iels2 weis2

1 0.40

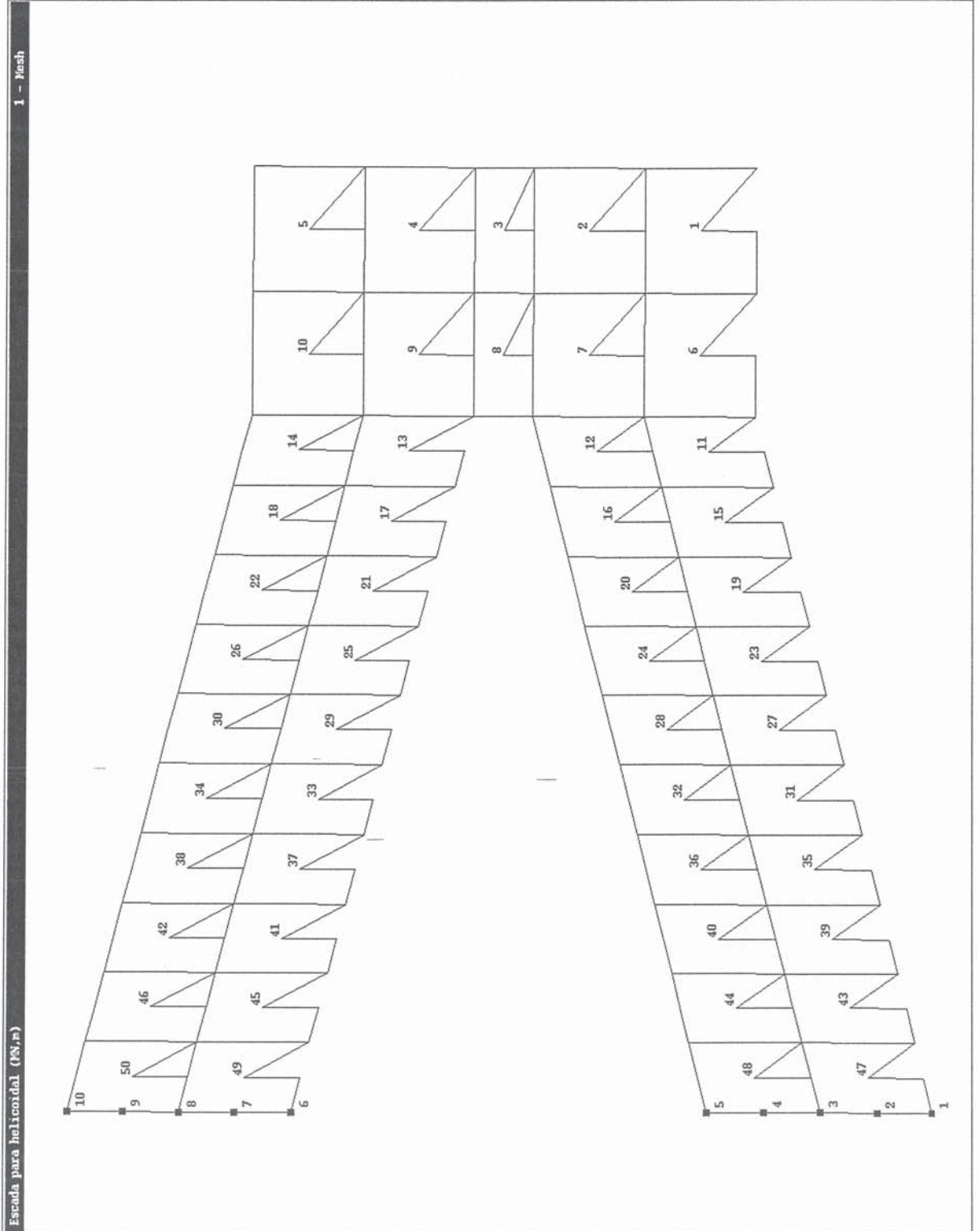
2 0.40

3 0.60

4 0.40

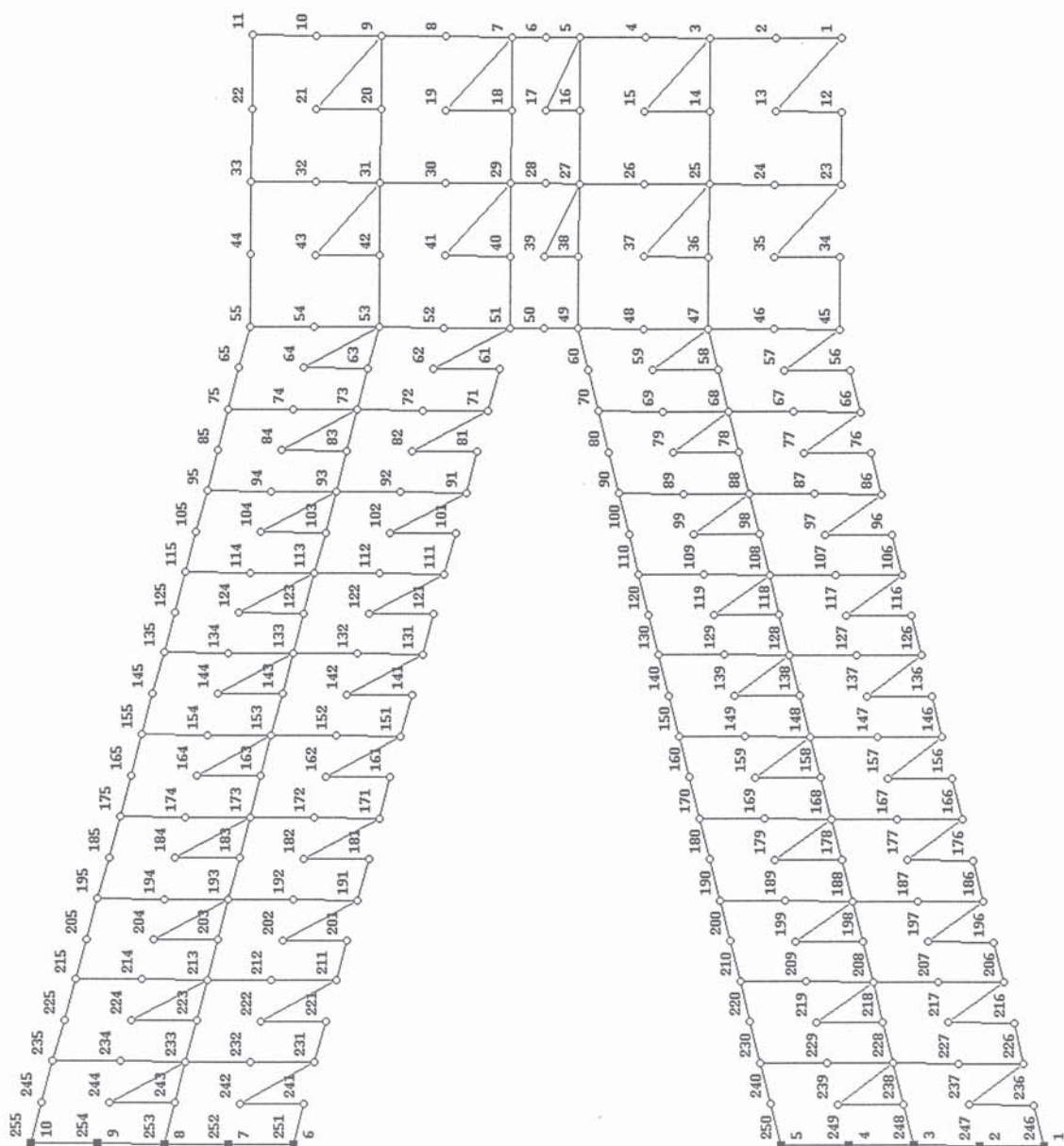
5 0.40

END_OF_FILE



A-39

Escada para helicoidal (8N,8) 1 - Mesh



A-40

ESCADA

PARA-HELICOIDAL

Primeiro lanco

csm 2 1.5 4.827463
rot c 0 0 0 1 0 0 -29.538782
mov -1.7 0.75 0.0
gen 2 9 2 10

ccf

Segundo lanco

csm 2 1.5 4.827463
rot c 0 0 0 1 0 0 29.538782
mov 0.2 0.75 0.0
gen 2 9 2 10

mer

Patamar esquerdo

csm 2 1.5 1.5
gen 2 9 2 2
mov -1.7 -0.75 0.0

mer

Patamar direito

csm 2 1.5 1.5
gen 2 9 2 2
mov 0.2 -0.75 0.0

mer

Patamar central

csm 2 0.4 1.5
gen 2 9 1 2
mov -0.2 -0.75 0.0

mer

ccf

snd 3 0.0001 c 0.0 4.95 0.0 1.0 4.95 0.0 - 0.0 4.95 1.0 0
ren 2 1 3 y y y 1e-5
wri escph
end

{ escph.s3d
escph-gl.dat